



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL LOCAL Y REMOTO DE UN HOGAR,
MEDIANTE UN TELÉFONO INTELIGENTE CON SISTEMA OPERATIVO ANDROID 4.1.2**

Moisés Antonio Colón Cortez

Asesorado por el Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar

Guatemala, noviembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL LOCAL Y REMOTO DE UN HOGAR,
MEDIANTE UN TELÉFONO INTELIGENTE CON SISTEMA OPERATIVO ANDROID 4.1.2**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MOISÉS ANTONIO COLÓN CORTEZ

ASESORADO POR EL ING. CARLOS EDUARDO GUZMÁN SALAZAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva de los Ángeles
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL LOCAL Y REMOTO DE UN HOGAR,
MEDIANTE UN TELÉFONO INTELIGENTE CON SISTEMA OPERATIVO ANDROID 4.1.2**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 6 de marzo o de 2014.


Moisés Antonio Colón Cortez

Guatemala, 13 de octubre 2015

Señor

Coordinador Área de Electrónica

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Facultad de Ingeniería

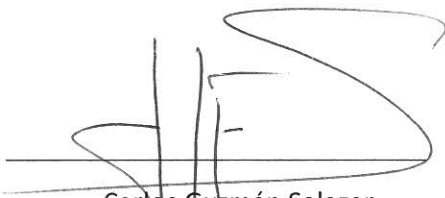
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Coordinador:

Hago de su conocimiento por este medio que he concluido la revisión del trabajo de graduación del estudiante **Moisés Antonio Colón Cortez**, cuyo carnet es 2009.15679, titulado **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL LOCAL Y REMOTO DE UN HOGAR, MEDIANTE UN TELÉFONO INTELIGENTE CON SISTEMA OPERATIVO ANDROID 4.1.2**. El trabajo ha cumplido con los objetivos que se propusieron, por lo que considero puede continuar con el trámite que la Universidad tiene para estos trabajos.

Así mismo, manifiesto que tanto el señor Colón Cortez como el suscrito, somos responsables del contenido del trabajo de graduación referido.

Un cordial saludo,



Carlos Guzmán Salazar
Asesor Nombrado
Ingeniero Electricista
Colegiado No.2762

CARLOS GUZMAN SALAZAR
Ingeniero Electricista
Col. No. 2762



Ref. EIME 67. 2015

Guatemala, 14 de OCTUBRE 2015.

Señor Director
Ing. Francisco Javier González López
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL LOCAL Y
REMOTO DE UN HOGAR, MEDIANTE UN TELÉFONO
INTELIGENTE CON SISTEMA OPERATIVO ANDROID 4.1.2.**
del estudiante Moisés Antonio Colón Cortez, que cumple con los
requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Área Electrónica



S/O



REF. EIME 67. 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; **MOISÉS ANTONIO COLÓN CORTEZ**, titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL LOCAL Y REMOTO DE UN HOGAR, MEDIANTE UN TELÉFONO INTELIGENTE CON SISTEMA OPERATIVO ANDROID 4.1.2.**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Francisco Javier González López



GUATEMALA, 30 DE OCTUBRE 2,015.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL LOCAL Y REMOTO DE UN HOGAR, MEDIANTE UN TELÉFONO INTELIGENTE CON SISTEMA OPERATIVO ANDROID 4.1.2**, presentado por el estudiante universitario: **Moisés Antonio Colón Cortez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, noviembre de 2015

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Gracias señor por todo lo que me has regalado y porque hasta aquí me has ayudado.
- Mis padres** Antonio Colón y Rosa Cortez, por su apoyo constante e incondicional, por su gran amor y por las enseñanzas brindadas durante todos los días de mi vida.
- Mi hermana** Vivian Colón, por el apoyo brindado y porque quiero inspirarla a que siga sus sueños y alcance los objetivos que se proponga.
- Mis amigos** Didier Tenas, Mynor Mendoza, Carlos Reyes, Juan Manuel Elías, Luis Garcia, Víctor Canahui, Álvaro Toledo, Yenifer Roblero, Lucrecia Marroquín, Sughey Tenas, porque en distintos momentos de mi vida me ayudaron y brindaron su amistad.
- Mis compañeros de estudio** Por compartir una de las etapas más importantes de mi vida y por ayudarme a cumplir un sueño.

AGRADECIMIENTOS A:

Facultad de Ingeniería

Por ser una importante influencia en mi carrera y vida profesional, así como por la oportunidad de trabajar en ella.

Laboratorios de Electrotecnia

Por su amistad y oportunidades brindadas a lo largo de mi carrera universitaria.

Amigos de proyectos

Por esos días y noches de arduo trabajo para terminar los proyectos.

Grupo STG de Guatemala, S. A.

Jorge Escobedo, Kelvin Martínez, Diego Chajón, Nilson Velásquez, Pablo Tánchez, Juan Miguel Sitavi, David Muñoz, Ludwing Fuentes y demás compañeros por la confianza brindada y la experiencia que me permitieron adquirir.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. ASPECTOS GENERALES DE UN SISTEMA DOMÓTICO.....	1
1.1. Origen de la domótica.....	1
1.2. Definición de domótica	1
1.3. Ventajas y aplicaciones de un hogar con sistema domótico.....	2
1.4. Sistema domótico	3
1.5. Clasificación de los sistemas domóticos.....	3
1.5.1. Tipología de un sistema domótico	3
1.5.2. Topología de un sistema domótico	6
1.5.3. Medios de transmisión de un sistema domótico	6
1.6. Componentes de un sistema domótico	7
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA LA COMUNICACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA	9
2.1. Redes telefónicas	9
2.1.1. Red telefónica fija	10
2.1.2. Red de telefonía móvil	12
2.1.2.1. Red móvil celular	12
2.1.3. GSM	15

	2.1.3.1.	Arquitectura de una red GSM.....	16
	2.1.3.2.	Servicios de GSM.....	18
2.2.		Sistema de marcación por tonos DTMF	21
	2.2.1.	Codificación DTMF	22
	2.2.2.	Recepción y decodificación DTMF	25
2.3.		<i>Bluetooth</i>	28
	2.3.1.	Arquitectura del sistema <i>bluetooth</i>	28
		2.3.1.1. Transreceptor de RF <i>bluetooth</i>	29
		2.3.1.2. Sistema de banda base <i>bluetooth</i>	30
		2.3.1.3. <i>Stack</i> de protocolos de <i>bluetooth</i>	31
	2.3.2.	Topología de red <i>bluetooth</i>	32
	2.3.3.	Modos de operación de <i>bluetooth</i>	34
3.		DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	37
	3.1.	Especificaciones del sistema	37
	3.2.	Estructura del sistema.....	39
	3.3.	Características del sistema	41
	3.4.	Modelo a escala del hogar	42
4.		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA	45
	4.1.	Desarrollo de la interfaz de control.....	45
		4.1.1. Eclipse Juno (4.2).....	45
		4.1.2. Aplicación Android TGMC	46
		4.1.2.1. Ventana principal.....	46
		4.1.2.2. Ventana de control remoto	47
		4.1.2.3. Ventana de control local.....	48
	4.1.3.	Programación de TGMC.....	49
	4.1.4.	Descripción de comandos utilizados en la programación de TGMC	52

4.2.	Desarrollo de la unidad de procesamiento de información....	54
4.2.1.	Microcontrolador PIC16F887	55
4.2.2.	Circuito de alimentación de la unidad de procesamiento de información.....	56
4.2.3.	Circuito para la programación del microcontrolador PIC16F887 desde la unidad de procesamiento de información.....	57
4.2.4.	Otros componentes de la unidad de procesamiento de información.....	58
4.2.5.	Conexiones del microcontrolador PIC16F887	58
4.2.6.	Circuito impreso de la unidad de procesamiento de información	60
4.2.7.	PCW COMPILER.....	62
4.2.8.	Programación del microcontrolador PIC16F887	62
4.2.9.	Descripción de los comandos utilizados en la programación del microcontrolador PIC16F887	64
4.2.10.	Parámetros de compilación en PCW COMPILER ..	65
4.3.	Desarrollo del módulo receptor para el control local.....	66
4.3.1.	Módulo <i>bluetooth</i> JY-MCU BT BOARD V1.04	66
4.3.1.1.	Alimentación del módulo <i>bluetooth</i>	67
4.3.1.2.	Transreceptor <i>bluetooth</i> HC-06	67
4.3.1.3.	Circuito conversor de niveles de voltaje	69
4.3.2.	Conexión entre el módulo JY-MCU BT BOARD V1.04 y la unidad de procesamiento de información	70
4.4.	Desarrollo del módulo receptor para el control remoto	72
4.4.1.	Recepción de llamadas telefónicas	72

4.4.1.1.	Respuesta automática de llamadas telefónicas	72
4.4.2.	Decodificador DTMF CM8870	74
4.4.2.1.	Estructura interna del decodificador DTMF CM8870	74
4.4.2.2.	Circuitos externos del decodificador DTMF CM8870	75
4.4.2.3.	Conexiones del decodificador CM8870	77
4.4.3.	Circuito impreso del módulo receptor para el control remoto	79
4.5.	Desarrollo de las unidades de recepción de señales externas	80
4.5.1.	Circuito sensor de temperatura	80
4.5.1.1.	Sensor de temperatura LM35	81
4.5.1.2.	Circuito comparador de voltaje	82
4.5.1.3.	Conexiones del CI LM324	83
4.5.2.	Circuito detector de intrusos	84
4.5.3.	Circuito de alarma del sistema	85
4.5.3.1.	Conexiones del CI 555	86
4.5.4.	Circuito impreso de la unidad de recepción de señales externas	87
4.6.	Desarrollo del módulo de potencia	88
4.6.1.	Transistor de unión bipolar (BJT)	88
4.6.2.	Relé	90
4.6.3.	Circuito impreso del módulo de potencia	91
4.7.	Inversión económica	93
4.7.1.	Inversión en componentes y materiales electrónicos	93

5.	OPERACIÓN DEL SISTEMA	97
5.1.1.	Inicialización y apagado del sistema.....	97
5.1.2.	Instalación de la aplicación TGMC	98
5.1.3.	Uso de la aplicación TGMC	102
5.1.3.1.	Procedimiento para utilizar el modo de control local del sistema	102
5.1.3.2.	Procedimiento para utilizar el modo de control remoto del sistema.....	105
	CONCLUSIONES	107
	RECOMENDACIONES.....	109
	BIBLIOGRAFÍA.....	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Aplicaciones de un sistema domótico	2
2.	Sistema centralizado	4
3.	Sistema descentralizado	5
4.	Sistema distribuido	5
5.	Formación de <i>cluster</i> y reutilización de frecuencias	13
6.	Estructura simplificada de una red celular	14
7.	Arquitectura red GSM	18
8.	SMS, EMS y MMS	20
9.	Espectro de frecuencia de los tonos DTMF	22
10.	Distribución de frecuencias en un teclado DTMF	24
11.	Formas de onda para el código estándar DTMF	24
12.	Clasificación de acuerdo a la potencia de transmisión	29
13.	Frecuencias de operación de los canales RF de <i>bluetooth</i>	30
14.	a) Conexión punto a punto, b) conexión punto a multipunto, c) <i>scatternet</i>	33
15.	Diagrama de bloques de la estructura del sistema	41
16.	Hogar a escala-proyección tridimensional	43
17.	Hogar a escala - vista de planta acotada	44
18.	Icono de aplicación TGMC	46
19.	Ventana principal	47
20.	Ventana de control remoto	48
21.	Ventana de control local	49
22.	Diagrama de flujo de la programación de TGMC	51

23.	Diagrama de pines del PIC16F887	56
24.	Diagrama de pines del LM7805	57
25.	Diagrama de la unidad de procesamiento de información	61
26.	Diagrama del circuito impreso de la unidad de procesamiento de información	62
27.	Diagrama de flujo de la programación del microcontrolador PIC16F887.....	63
28.	Circuito de alimentación del módulo <i>bluetooth</i>	67
29.	Circuito del transreceptor <i>bluetooth</i> HC-06.....	68
30.	Circuito conversor de niveles RS-232 a niveles TTL	69
31.	Conexiones entre el módulo JY-MCU BT BOARD V1.04 y la unidad de procesamiento de información	71
32.	Habilitación de la respuesta automática de llamadas telefónicas	73
33.	Características típicas de filtrado	75
34.	Circuito básico de gobierno	76
35.	Tabla de salidas del decodificador CM8870	76
36.	Configuración de entrada simple	77
37.	Diagrama del módulo receptor para el control remoto	79
38.	Diagrama del circuito impreso del módulo receptor para el control remoto	80
39.	Diagrama de pines del LM35	81
40.	Diagrama de pines CI LM324	82
41.	Diagrama de pines del final de carrera.	84
42.	Fórmulas multivibrador astable	85
43.	Diagrama de pines CI 555	86
44.	Diagrama de la unidad de recepción de señales externas	87
45.	Diagrama del circuito impreso de las unidades recepción de señales externas.....	88
46.	Estructura simplificada de un transistor NPN.....	89

47.	Modos de operación de un transistor BJT	89
48.	Estructura de un relé	91
49.	Diagrama del módulo de potencia.....	92
50.	Diagrama del circuito impreso del módulo de potencia	92
51.	Verificación de la versión de Android	99
52.	Permitir instalación desde fuentes desconocidas.....	100
53.	Instalación de la aplicación TGMC	101
54.	Procedimiento para utilizar el modo de control local del sistema	104
55.	Procedimiento para utilizar el modo de control remoto del sistema ..	106

TABLAS

I.	Líneas fijas por operador (segundo semestre 2013)	12
II.	Terminales móviles por operador (segundo semestre 2013)	15
III.	Parámetros técnicos de recepción de señales multifrecuencia	27
IV.	Descripción de las conexiones del microcontrolador.....	59
V.	Descripción de las conexiones del módulo <i>bluetooth</i> JY-MCU BT BOARD V1.04	70
VI.	Descripción de las conexiones del decodificador DTMF CM8870	78
VII.	Descripción de las conexiones del CI LM324.....	83
VIII.	Comportamiento de la salida del comparador de voltaje.....	84
IX.	Descripción de las conexiones del CI LM324.....	86
X.	Listado de componentes electrónicos unidad de procesamiento de información.....	93
XI.	Listado de componentes electrónicos del módulo receptor para el control local	94
XII.	Listado de componentes electrónicos del módulo receptor para el control remoto	94

XIII.	Listado de componentes electrónicos de la unidad de recepción de señales externas.....	95
XIV.	Listado de componentes electrónicos del módulo de acoplamiento de señal	95
XV.	Listado de materiales utilizados en la construcción del sistema	96

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
dB	Decibelio
dBm	Decibelio referenciado a un miliwatt
GHz	Gigahertz
°C	Grado centígrado
Hz	Hertz
Kb	Kilobit
Kbps	Kilobits por segundo
K-ohmio	Kiloohmio
MHz	Megahertz
m	Metro
μF	Microfaradio
mm	Milímetro
ms	Milisegundo
mW	Miliwatt
ns	Nanosegundo
pF	Picofaradio
”	Pulgada
V	Voltio
W	Watt

GLOSARIO

ACL	Asíncrono sin conexión.
ADT	Herramientas de desarrollo android.
AMR	Multitasa adaptativa.
API	Interfaz de programación de aplicaciones.
Apk	Paquete de aplicación.
ATM	Módulo de transferencia asíncrona.
AUC	Centro de autenticación.
Baudio	Unidad de medida que define el número de símbolos transmitidos digitalmente durante un segundo.
Bit	Unidad básica de información equivalente a uno de dos estados lógicos igualmente probables.
BJT	Transistor de unión bipolar.

<i>Bluetooth</i>	Tecnología de comunicación inalámbrica de corta distancia que permite la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia.
BOR	Reinicio por caída de voltaje.
BR	Tasa básica.
BS	Estación base.
BSC	Controlador de estación base.
BSS	Subsistema de estación base.
BTS	Estación transceptora base.
<i>Buzzer</i>	Transductor electro acústico capaz de producir un sonido del mismo tono cuando es polarizado.
CLKN	Reloj nativo.
Codificación	Proceso por el cual la información que una fuente es convertida en otra secuencia de información, agregando datos de control de errores para ser comunicada.
Complemento	Aplicación utilizada en programación para añadir funciones más específicas.

Conmutación	Proceso que permite entregar datos entre dos puntos a través de equipos de trasmisión.
DC	Corriente directa.
Distorsión	Deformación experimentada por una señal eléctrica al pasar por un sistema o medio de transmisión.
Domótica	Técnica y elementos que proporcionan determinado nivel de automatización dentro de una casa.
DTMF	Sistema de marcación por tonos.
DWDM	Multiplexación por división de longitud onda densa.
EDGE	Tasa de datos mejorada para la evolución del sistema global para las comunicaciones móviles.
EDR	Tasa de datos mejorada.
EEPROM	Memoria de solo lectura programable y borrrable eléctricamente.
EIR	Registro de identidad de equipo.
EMS	Servicio mejorado de mensajería.
FHSS	Espectro expandido por saltos de frecuencia.

Filtro	Circuito discriminador de señales eléctricas de determinadas frecuencias o rangos de frecuencias.
<i>Frame-relay</i>	Técnica de comunicación mediante retransmisión de tramas.
Frecuencia	Número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier señal eléctrica periódica.
GFSK	Modulación por desplazamiento de frecuencia gaussiana.
GIF	Formato de intercambio de gráficos.
GMSC	Puerta de enlace del centro de conmutación móvil.
GND	Tierra.
GPRS	Servicio general de paquetes de radio.
GSM	Sistema global para las comunicaciones móviles.
HLR	Registro de localización local.
HSCSD	Circuito de conmutación de datos de alta velocidad.
I2C	Circuitos interintegrados.
IC	Circuito integrado.

ICSP	Programación serial en circuito.
ID	Identificador.
IDC	Conector por desplazamiento del aislante.
IDE	Ambiente de desarrollo integrado.
IMEI	Identidad de equipo móvil internacional.
IMSI	Identidad de suscriptor móvil internacional.
ISC	Centro de conmutación internacional.
ITU-T	Unión internacional de telecomunicaciones.
IWF	Función de interconexión.
<i>Jack</i>	Conector de audio utilizado para la transmisión de sonido en formato analógico.
JPEG	Grupo conjunto de expertos en fotografía.
<i>Jumper</i>	Elemento para conexiones temporales.
L2CAP	Protocolo de control de enlace lógico y adaptación.
Led	Diodo emisor de luz.

LIN2.0	Red local de interconexión 2.0.
LMP	Protocolo de gestión de enlaces.
LSI	Integración a gran escala.
MAC	Control de acceso al medio.
ME	Equipo móvil.
Microcontrolador	Circuito integrado, de alta escala de integración, que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador.
MMS	Servicio de mensajería multimedia.
MMS-C	Centro de MMS.
Modem	Dispositivo capaz de modular y demodular señales eléctricas.
Modulación	Acción de variar el valor de la amplitud, frecuencia o fase de una onda portadora de alta frecuencia en función de una señal de información de baja frecuencia.
MOS	Metal óxido semiconductor.
MPLS	Conmutación por etiqueta multiprotocolo.

MS	Estación móvil.
MSC	Centro de conmutación móvil.
MSSP	Puerto serial síncrono maestro.
NSS	Subsistema de red y conmutación.
OBEX	Intercambio de objetos.
OMC	Centro de operación y mantenimiento.
OSI	Interconexión de sistemas abiertos.
PIC	Controlador de interfaz periférica.
PLL	Lazo de seguimiento de fase.
Potencia	Cantidad de energía por unidad de tiempo.
PPP	Protocolo punto a punto.
PSK	Modulación por desplazamiento de fase.
PWM	Modulación por ancho de pulsos.
RAM	Memoria de acceso aleatorio.
RF	Radiofrecuencia.

RFCOMM	Comunicación por radio frecuencia.
<i>Ringtone</i>	Tono de llamada.
RISC	Computador con conjunto de instrucciones reducidas.
RLC	Resistencia-inductor-capacitor.
ROM	Memoria de solo lectura.
RX	Receptor.
SCO	Sincronía orientada a la conexión.
SDH	Jerarquía digital síncrona.
SDK	Kit de desarrollo de software.
SDP	Protocolo de descubrimiento de servicios.
Señalización	Uso de señales para gestionar una comunicación.
SIG	Grupo de interés especial.
SIM	Módulo de identificación de subscriptor.
Sistema operativo	Conjunto de programas que permiten administrar los recursos de un dispositivo.

SIT	Superintendencia de Telecomunicaciones.
SMS	Servicio de mensajes cortos.
SMSCB	Servicio celular de difusión de mensajes cortos.
Socket	Dispositivo de soporte mecánico utilizado para fijar y conectar los circuitos integrados a la placa de circuito impreso.
SPI	Interfaz serial periférica.
Stack	Pila.
String	Variable capaz de contener cadenas de texto.
TCP-IP	Protocolo de control de transmisión-protocolo de internet.
TCS	Especificación de control de telefonía.
TGMC	Trabajo de graduación Moisés Colón.
Time slot	Ranura de tiempo.
TO-220	Encapsulado electrónico generalmente utilizado en reguladores de voltaje, capaz de manejar mayores potencia que otro tipo de encapsulados.

TO-92	Encapsulado electrónico generalmente utilizado en transistores.
TX	Transmisor.
UDP	Protocolo de datagrama de usuario.
UMTS	Sistema universal de telecomunicaciones móviles.
USART	Receptor/transmisor asíncrono universal.
VLR	Registro de localización de visitante.
WAP	Protocolo de aplicación inalámbrica.
Watt	Unidad de medida de potencia del sistema internacional de medidas.
WCDMA	Acceso múltiple por división de código de banda ancha.
Wifi	Tecnología de comunicación inalámbrica de media distancia que permite la transmisión de datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia.

RESUMEN

En la actualidad, el avance de la tecnología en cuanto a las telecomunicaciones y la fabricación de teléfonos inteligentes ha permitido que ambas estén al alcance de cualquier persona en el país. Por lo mismo, este trabajo de graduación plantea el diseño e implementación de un sistema domótico a escala, capaz de automatizar algunos procesos y dispositivos comunes en un hogar real. El diseño e implementación del sistema plantea todo el conjunto de componentes físicos, circuitos eléctricos, módulos de comunicación, conectividad y programación que permitirán controlar todos los componentes y procesos del sistema.

El sistema implementado se basa en la utilización de un teléfono con sistema operativo Android versión 4.1.2, el cual, mediante una aplicación diseñada específicamente para el sistema, permitirá controlar e interactuar con los distintos componentes y procesos del sistema de manera local, mediante *bluetooth*, y de manera remota, mediante llamadas telefónicas.

Debido a que lo que se busca es tener un sistema útil y de bajo costo, se recurre a la utilización de software libre, tanto para la programación de la aplicación Android, que fue realizada en el entorno de desarrollo Eclipse, como para la programación del microcontrolador utilizado como unidad central de procesamiento, que fue realizada en el entorno de desarrollo PCW Compiler.

Finalmente, se hará uso de circuitos y componentes electrónicos de bajo costo y fácil obtención en las electrónicas del país, como módulo *bluetooth*, resistores, capacitores, microcontrolador, diodos, relés y transistores.

OBJETIVOS

General

Diseñar e implementar un sistema a escala, capaz de automatizar ciertos procesos y tareas de un hogar de manera local, mediante *bluetooth*, y remota, mediante llamadas telefónicas, haciendo uso de un teléfono inteligente con sistema operativo Android versión 4.1.2.

Específicos

1. Diseñar y construir un hogar a escala que permita observar futuras aplicaciones del sistema.
2. Diseñar el código de programación del microcontrolador para que sea capaz de gestionar e interactuar con los distintos componentes que forman el sistema.
3. Diseñar los procesos de comunicación e intercambio de información entre el sistema implementado y el teléfono inteligente.
4. Diseñar el código de programación de la aplicación android de manera que sea capaz de interactuar con los distintos elementos receptores dentro del sistema y a su vez permita al usuario controlarlos.
5. Diseñar la interfaz visual de la aplicación android de manera que resulte sencilla y amigable para que pueda ser utilizada por cualquier usuario.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de graduación tiene como finalidad proporcionar el diseño e implementación de un sistema para el control local y remoto de un hogar a escala, el cual puede ser adaptado a un hogar real, con el objetivo de facilitar la ejecución de algunas tareas cotidianas y proporcionar cierto grado de comodidad a los habitantes del mismo.

El sistema implementado se basa en el control local y remoto de un hogar a escala mediante la utilización de un teléfono inteligente con sistema operativo android, el cual tiene instalada la aplicación TGMC desarrollada para el trabajo de graduación. Esta permitirá, mediante el uso del *bluetooth* y llamadas telefónicas, controlar algunos dispositivos y tareas dentro del hogar a escala.

Los primeros dos capítulos describen los aspectos generales de un sistema domótico, así como las herramientas y tecnologías utilizadas para controlar el sistema. En el tercer capítulo se definen las especificaciones, estructura y características del el sistema. El cuarto capítulo aborda completamente la construcción y diseño de cada una de las partes que componen el sistema, incluyendo explicaciones de diseño, diagramas esquemáticos, configuraciones, parámetros y comandos de programación, así como diagramas de circuitos impresos.

Finalmente, el último capítulo describe, de manera amplia y gráfica, determinados requisitos previos a la utilización del sistema, la instalación y configuración de la aplicación, y la utilización de todas y cada una de las características de la aplicación desarrollada para el trabajo de graduación.

1. ASPECTOS GENERALES DE UN SISTEMA DOMÓTICO

Con el propósito de establecer los fundamentos teóricos del sistema que se implementará, el presente capítulo describe los aspectos generales de un sistema domótico.

1.1. Origen de la domótica

El origen de la domótica se remonta a la década de los setenta, principalmente en los Estados Unidos y tiene sus orígenes en los grandes edificios comerciales y de oficina, los cuales tenían como objetivo facilitar la comodidad al estar en ellos.

Con el pasar de los años y la expansión de las computadoras personales, los conceptos iniciales de domótica fueron extendiéndose a los pequeños negocios y a los entornos domésticos.

1.2. Definición de domótica

Es la ciencia y los elementos desarrollados por ella que proporcionan determinado nivel de automatización dentro de una casa, haciendo uso de la electricidad, electrónica, robótica, informática y telecomunicaciones, con el objetivo de asegurar la mayor comodidad posible.

Muchas veces se confunde la automatización de una vivienda con una vivienda con un sistema domótico, pues, si bien la automatización es parte de un sistema domótico, no lo es todo, ya que un sistema domótico es como un ser

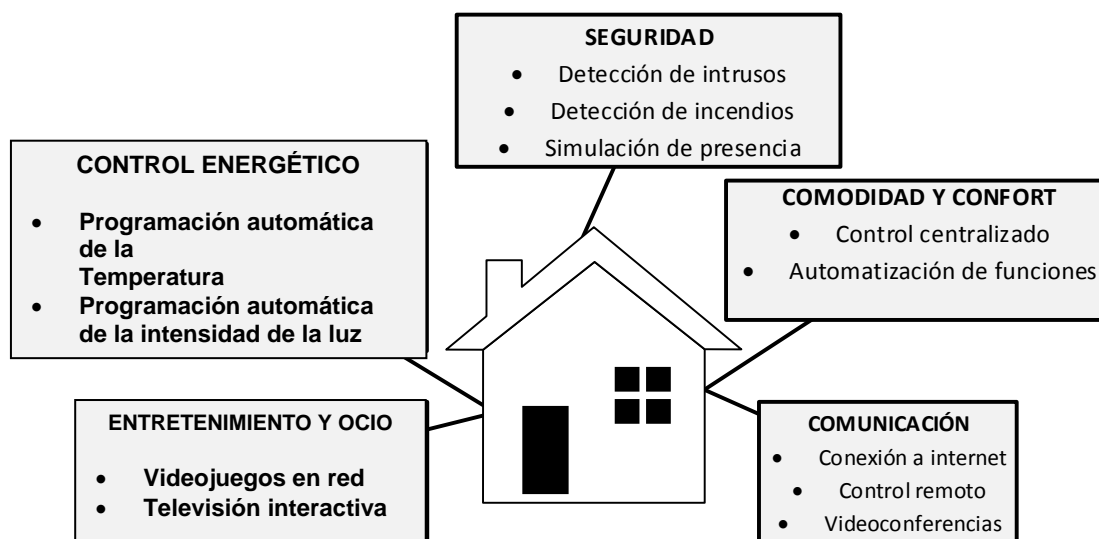
vivo que tiene una inteligencia artificial y es capaz de analizar los estímulos de la vivienda y toma decisiones con base en los estímulos detectados.

1.3. Ventajas y aplicaciones de un hogar con sistema domótico

Una casa con un sistema domótico proporciona una amplia cantidad de aplicaciones y ventajas, todas con el objetivo de facilitar la vida a sus ocupantes. Sin embargo, si tuvieran que resumirse las aplicaciones de un sistema domótico en una casa, las principales serían las siguientes:

- Optimización de los recursos energéticos
- Entretenimiento y ocio para los habitantes
- Confort y comodidad para los habitantes
- Seguridad de los habitantes y los bienes
- Comunicación

Figura 1. **Aplicaciones de un sistema domótico**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio.

1.4. Sistema domótico

Como se mencionó anteriormente, una vivienda con un sistema domótico es similar a un ser vivo con una inteligencia artificial limitada y, al igual que en un ser vivo, la mayoría de las actividades son regidas por un cerebro, conocido en un sistema domótico como nodo central o controlador, el cual a su vez es auxiliado por una serie de señales de entrada y salida.

En un ser vivo, las señales de entrada provienen de los sentidos, y son utilizadas por el cerebro para tomar decisiones y actuar con base en estas, lo mismo sucede con un sistema domótico, donde las señales provienen de los sensores y el nodo central o controlador es el encargado de tomar las decisiones.

Las señales de salida en un ser vivo provienen del cerebro y ordenan a los músculos realizar determinados movimientos, lo mismo sucede en un sistema domótico, donde las señales de salida provienen del nodo central o controlador y ordenan a los actuadores realizar determinadas acciones.

1.5. Clasificación de los sistemas domóticos

Los sistemas domóticos pueden clasificarse de acuerdo a su tipología, a la topología y a los medios de transmisión empleados.

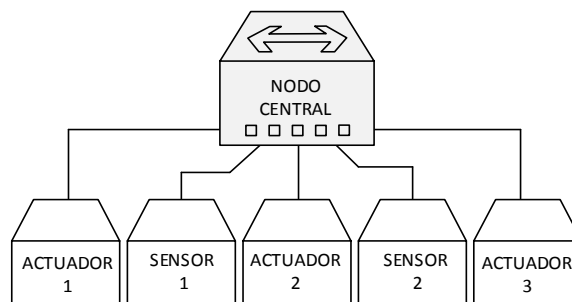
1.5.1. Tipología de un sistema domótico

La tipología de un sistema domótico dependerá de la forma en que los dispositivos o equipos se conectan al controlador o nodo central del sistema. Específicamente pueden ser:

- **Sistemas centralizados:** son los que se caracterizan por tener un único nodo central que cumple las funciones de control y mando.

Este tipo de sistemas son los más utilizados, pues tienen como ventajas un bajo costo, asimismo, su uso e instalación son relativamente sencillos. Sin embargo, presentan ciertas desventajas, ya que conllevan la instalación de una amplia red de cableado, la dependencia del correcto funcionamiento del nodo central y presentan un limitado margen de crecimiento.

Figura 2. **Sistema centralizado**



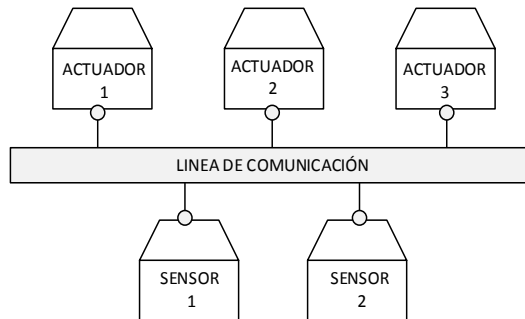
Fuente: elaboración propia, empleando Visio.

- **Sistemas descentralizados:** en estos sistemas todos los dispositivos o equipos actúan de forma independiente y aunque comparten la línea de comunicación cada uno dispone de funciones de control y mando.

Este tipo de sistemas tiene como ventajas una reducida red de cableado, una alta fiabilidad de operación y un alto margen de crecimiento. Entre sus desventajas se pueden mencionar un costo elevado y una alta complejidad de instalación y programación. También es importante mencionar que estos sistemas necesitan de un protocolo

de comunicaciones para que todos los elementos o dispositivos produzcan una acción coordinada.

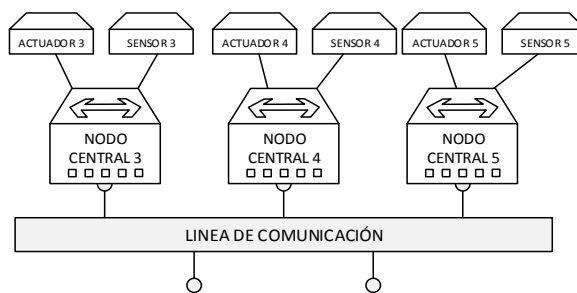
Figura 3. **Sistema descentralizado**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio.

- **Sistemas distribuidos:** estos sistemas combinan las tipologías centralizadas y descentralizadas. La inteligencia de este tipo de sistemas se localiza en varios nodos que tienen características de control y mando, los cuales, a su vez, tienen acceso físico directo a una serie de dispositivos o equipos. Además, es importante mencionar que estos sistemas necesitan de un protocolo de comunicaciones para que todos los elementos o dispositivos produzcan una acción coordinada.

Figura 4. **Sistema distribuido**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio.

1.5.2. Topología de un sistema domótico

La topología de un sistema domótico dependerá de la organización física y lógica de los dispositivos o equipos del sistema. Específicamente pueden ser:

- **Estrella:** en esta topología, tanto los dispositivos de entrada como los de salida tienen conexiones hacia el nodo central, el cual será el encargado de analizar los datos y tomar decisiones.
- **Anillo:** los dispositivos de entrada o salida se conectan en un lazo cerrado, lo que permite que los datos se transmitan de dispositivo en dispositivo en una dirección determinada.
- **Bus:** en esta topología todos los dispositivos del sistema, es decir, sensores, actuadores y nodos, están colocados sobre una línea que describe el conjunto o una parte del sistema.
- **Malla:** esta topología se caracteriza por que cada dispositivo del sistema puede enviar o recibir datos desde distintos caminos, lo que genera una alta capacidad de reenvío de mensajes a sus dispositivos vecinos.

1.5.3. Medios de transmisión de un sistema domótico

Un sistema domótico utiliza los medios de transmisión para que los diferentes dispositivos del sistema se comuniquen e intercambien información. En general, un sistema domótico puede combinar varios medios de transmisión, siempre y cuando se cumplan los requisitos aplicables en cada parte del sistema, los medios de transmisión más utilizados son:

- **Red eléctrica:** en este tipo de sistemas, las señales de información se acoplan y transmiten por la red de instalación eléctrica domiciliar.

- **Cableado:** en estos sistemas se utilizan cables específicos para determinadas funciones, los más utilizados son el par trenzado, paralelo, coaxial o fibra óptica.
- **Inalámbrico:** estos sistemas utilizan señales radiadas para compartir la información, los más utilizados son el *bluetooth*, wifi y radiofrecuencia (RF).

1.6. Componentes de un sistema domótico

A continuación se describen los elementos que componen un sistema domótico, los cuales se clasifican en grupos de acuerdo a su función:

- **Sensores:** son elementos capaces de captar cambios físicos y traducirlos a una señal eléctrica, la cual será transmitida al controlador. Estos suelen colocarse estratégicamente dentro de un hogar, para que sean capaces de obtener la mayor cantidad de información confiable.
- **Acondicionadores de señal:** estos elementos son utilizados debido a que muchas veces las señales captadas por los sensores no son aptas para ser entendidas por el controlador, tienen como objetivo modificar las señales de entrada para que el controlador pueda entenderlas y utilizarlas.
- **Medio de transmisión:** medio por el cual se intercambia y transmite la información entre los dispositivos del sistema domótico.

- Actuadores: este grupo de componentes está formado por dispositivos que actúan sobre el medio exterior y son capaces de afectar físicamente a los dispositivos finales e incluso a los habitantes del hogar.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA LA COMUNICACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA

El sistema implementado conlleva la utilización de la red móvil celular, específicamente la que utiliza tecnología GSM, debido a que será el transporte de las señales DTMF que permitirán el control remoto del sistema, así como la utilización del protocolo *bluetooth* para el control local del sistema. Por lo tanto, en este capítulo se detallan los fundamentos teóricos de las tecnologías y los sistemas utilizados para la comunicación y control del sistema.

2.1. Redes telefónicas

Estas redes surgen debido a la necesidad de interconectar a los usuarios que deseaban establecer una comunicación vocal, su aplicación estaba originalmente destinada al sector privado. Sin embargo, cobraron tal importancia que actualmente son un servicio público al alcance de casi cualquier persona.

Con los avances tecnológicos unidos a la incorporación de técnicas digitales para la transmisión y conmutación, las redes telefónicas actuales ya no están limitadas a las comunicaciones vocales, sino también incorporan la transmisión de textos y datos. Estas redes se subdividen en dos grandes grupos, las de telefonía fija y las de telefonía móvil, lo que permite actualmente comunicarse con cualquier usuario, independientemente del lugar donde se encuentre.

En Guatemala, las redes telefónicas son reguladas por la Superintendencia de Telecomunicaciones (SIT) que es un organismo técnico perteneciente al Ministerio de Comunicación, Infraestructura y Vivienda, encargado de administrar y supervisar la explotación del espectro radioeléctrico, administrar el registro de telecomunicaciones, así como de la elaboración y administración del plan nacional de numeración.

2.1.1. Red telefónica fija

Estas redes realizan el transporte de una comunicación vocal en tiempo real entre dos usuarios, de los cuales al menos el que realiza la llamada está conectado a una red de telecomunicaciones conmutada en una ubicación fija.

En general, está formada por todos los medios de transmisión y conmutación necesarios para interconectar a dos usuarios mediante un enlace temporal. La estructura de este tipo de redes es tan compleja que su estructura suele dividirse en tres partes básicas:

- Centrales de conmutación: están formadas por los equipos que proporcionan la selectividad automática necesaria para establecer y mantener un enlace que permita el intercambio de información entre usuarios. Un equipo de conmutación debe de disponer de las siguientes funciones para establecer la comunicación entre usuarios:
 - Función de espera: la central de conmutación debe tener la capacidad de saber cuándo el usuario descuelga su teléfono.
 - Función de aviso: indica al usuario mediante diferentes tonos el proceso de su llamada.

- Función de recepción de información numérica: se utiliza para el intercambio de información entre el abonado y la central local.
 - Función de control: se encarga de establecer la comunicación e interpretar la información numérica recibida.
 - Función de selección: junto con la función de control ejecutan la función de elegir dentro de los posibles circuitos el más óptimo para comunicar a los dos usuarios, independientemente de si pertenecen o no a la misma central de conmutación.
 - Función de transmisión: es la encargada del intercambio de información y señalización entre las distintas centrales de conmutación, esta función dependerá de la tecnología utilizada en la red telefónica.
 - Función de supervisión: se encarga de supervisar los distintos elementos que intervienen en la comunicación entre usuarios con el objetivo de detectar y corregir cualquier problema.
- Red de enlaces entre centrales de conmutación: la comprenden los circuitos que unen las diferentes centrales de conmutación, utilizando medios de transmisión como el par trenzado, fibra óptica y tecnologías de transporte como SDH, DWDM, *frame-relay*, ATM y MPLS.
 - Red de enlaces con los abonados: está formada por todos los elementos que permiten la conexión entre los equipos del usuario o abonado y la central de conmutación local a la que pertenecen.

El uso de la red de telefonía fija en Guatemala ha aumentado considerablemente llegando, en el segundo semestre de 2013, a una cifra de 1 863 052 líneas fijas.

Tabla I. **Líneas fijas por operador (segundo semestre 2013)**

CABLENET	UNITEL	COMCEL	A-TEL	TELGUA	TELENORSA	TELEFONICA	GUATEL
142 320	2 315	182 388	8 655	1 299 467	1 880	217 671	8 356

Fuente: elaboración propia, con base en datos de la Superintendencia de Telecomunicaciones.

2.1.2. Red de telefonía móvil

Estas redes tienen como objetivo lograr la comunicación con cualquier usuario, independientemente del lugar u hora en que se realice la llamada. Debido a su campo de aplicación, este tipo de redes excluyen casi en su totalidad el uso de cables para interconectar a los usuarios, por lo que hacen uso del espectro radioeléctrico para obtener una comunicación inalámbrica, que si bien es más susceptible a interferencias y ruidos, proporciona la movilidad deseada.

2.1.2.1. Red móvil celular

El origen de este tipo de redes se remonta a las redes radios móviles que consistían en algunas estaciones base (BS) utilizadas para comunicar unidades móviles. Estas redes eran de baja capacidad debido a que la cantidad de llamadas simultáneas dentro del área cubierta por una BS estaba limitada por la cantidad de canales permitidos por la BS. Asimismo, presentaban un alto desperdicio de potencia, debido a que utilizaban la misma cantidad de potencia para interconectar dos unidades móviles a gran distancia, que la que utilizaban para interconectar dos unidades móviles cercanas.

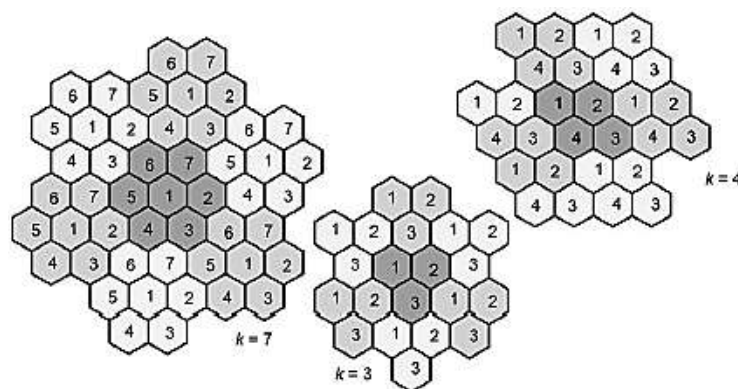
Para solucionar estos inconvenientes, las redes móviles celulares dividieron el área de cobertura en espacios geográficos más pequeños

modelados en forma de hexágonos, conocidos como celdas. También se recurrió a la utilización de una sola BS colocada en el centro de cada celda para controlar a los usuarios que se encuentren dentro del rango de cobertura de la celda, lo que propicia una reducción en la potencia necesaria para la interconexión entre unidades móviles, así como un aumento en el área de cobertura.

Las redes móviles celulares también incrementaron su capacidad aumentando el número de canales disponibles para la comunicación entre usuarios mediante la reutilización de las frecuencias en espacios geográficos diferentes, asignando a cada grupo de celdas contiguas, conocidos como *clusters*, un grupo de frecuencias diferentes.

Este tipo de redes también prevé que, debido a que las terminales para estas son móviles, estas podrían moverse de una celda a otra durante una llamada, por lo que son capaces de realizar un cambio automático de canal/frecuencia conocido como *handover* para mantener la llamada activa.

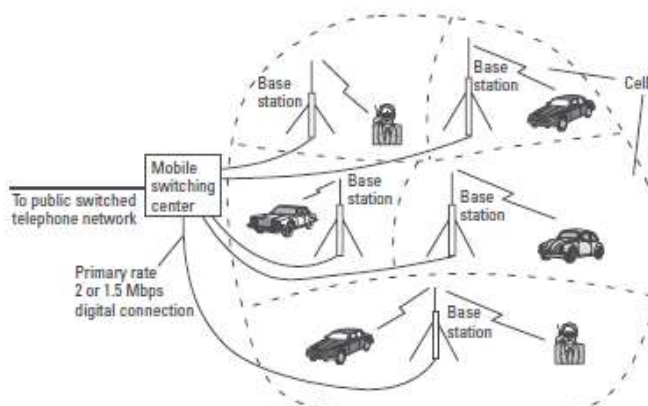
Figura 5. **Formación de *cluster* y reutilización de frecuencias**



Fuente: EBERSPÄCHER , Jörg; VÖGEL, Hans-Jörg; BETTSTETTER, Christian; HARTMANN, Christian. *GSM- architecture, protocols and services*. p. 24.

Una red móvil celular simple está compuesta por la estación móvil (MS), es decir el teléfono celular del usuario, la BS, que es un receptor/transmisor de señales radioeléctricas encargado de conectar la estación móvil con el centro de conmutación móvil (MSC), cuya tarea es elegir la mejor ruta para interconectar a los usuarios, ayudándose de registros locales y su conexión con la red telefónica publica conmutada.

Figura 6. **Estructura simplificada de una red celular**



Fuente: ANTTALAINEN, Tarmo. *Introduction to telecommunications network engineering*. p. 191.

En Guatemala, las redes móviles celulares son controladas y administradas por tres grandes operadores de red comercial, los cuales permiten el acceso a sus servicios a cualquier persona individual o jurídica, a cambio de una remuneración económica, la cual puede ser mediante recargas electrónicas, tarjetas telefónicas o a través de contratos de pago mensuales. Los avances tecnológicos, así como la disminución de precios por servicios y terminales móviles, han contribuido a que en Guatemala, para el segundo semestre 2013, existan alrededor de 21 716 357 terminales móviles.

Tabla II. **Terminales móviles por operador (segundo semestre 2013)**

	TELEFÓNICA	COMCEL	TELGUA
Tecnologías utilizadas	GSM	GSM WCDMA	GSM / GSM 900 MHz
Terminales de crédito	312 905	357 644	413 098
Terminales prepago	4 551 682	9 942 938	6 138 090
Total	4 864 587	10 300 582	6 551 188

Fuente: elaboración propia, con base en datos de la Superintendencia de Telecomunicaciones.

2.1.3. GSM

Las redes móviles celulares son las que mayor crecimiento tienen dentro del campo de las telecomunicaciones debido a que actualmente las personas necesitan o desean comunicarse con cualquier persona, independientemente del lugar u horario.

Con el avance de la tecnología ha sido posible desarrollar protocolos de comunicación que presentan un alto desempeño a un costo moderado. Una de las más importantes y de más uso a nivel mundial es GSM, que forma parte de las tecnologías digitales de segunda generación de redes móviles celulares, cuyo objetivo era sustituir los sistemas analógicos debido a su limitada capacidad.

En particular, GSM ofrece la movilidad internacional que se buscaba con las redes móviles celulares en todo el mundo, así como una amplia cantidad de servicios como telefonía, mensajes cortos, transferencia de datos, fax, entre otros. El impacto de GSM ha sido tal que fue utilizado como base para la tercera generación de redes móviles celulares, UMTS.

2.1.3.1. Arquitectura de una red GSM

Para alcanzar los niveles de servicios y calidad ofrecidos por GSM se recurrió a la utilización de numerosas entidades funcionales, las cuales se dividen en cuatro partes básicas:

- MS: está formado por el equipo móvil (ME), que vendría siendo la terminal del usuario y el módulo de identificador de suscriptor (SIM), que es una tarjeta inteligente instalada en el celular encargada de almacenar y manejar los datos del usuario, permitiendo de esta manera al usuario acceder a la red desde cualquier tipo terminal realizando un simple cambio de SIM. Para la realización de una llamada, la MS se comunica con el subsistema de estación base (BSS) mediante la interfaz aire para GSM, conocida como interfaz Um.

GSM presenta determinadas características de seguridad a nivel de la MS, como la identidad de suscriptor móvil internacional (IMSI), que es un código de identificación único integrado en la tarjeta SIM y el identidad del equipo móvil internacional (IMEI) que identifica inequívocamente cada ME en el mundo.

- BSS: está compuesta de las dos siguientes partes, las cuales se comunican mediante líneas fijas o radioenlaces punto a punto, conocidos como interfaz Abis:
 - La estación transceptora base (BTS): se encarga de manejar el protocolo de radio con la MS, por lo que contiene equipo de recepción y transmisión de radio como antenas y amplificadores,

así como componentes para el procesamiento de las señales recibidas.

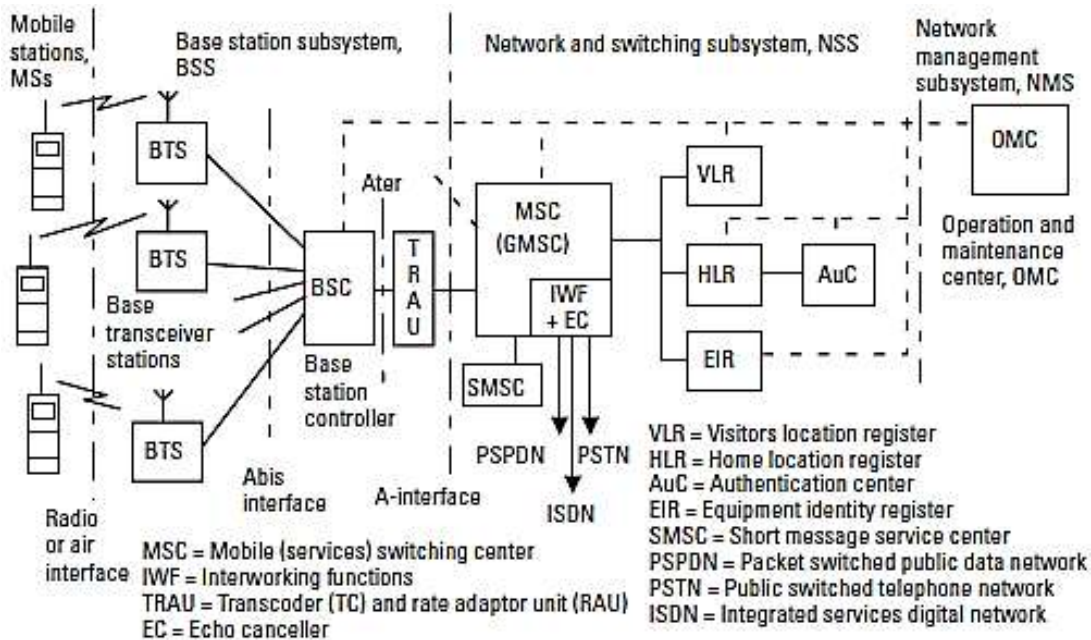
- El controlador de estación base (BSC): se encarga de manejar los recursos de radio de una o más BTS, así como de inicializar los canales de radio, los saltos de frecuencia y los *handover*.
- Subsistema de red y comunicación (NSS): tiene como objetivo combinar todo el tráfico de los usuarios y llevarlo a la etapa de conmutación formada por el centro de conmutación móvil (MSC) encargado de buscar el mejor camino para la interconexión entre usuarios, considerando la localización y administración de los recursos de radio para cada usuario.
- Centro de operación y mantenimiento (OMC): incluye funciones de monitoreo de la operación y el desempeño de la red, también es la encargada de las operaciones de mantenimiento de la red.

GSM utiliza algunos registros para su funcionamiento, como el registro de localización local (HLR) y el registro de localización de visitante (VLR), para almacenar información como la localización de las MS y los perfiles de usuario. Además cuenta con bases de datos con funciones de seguridad, como el centro de autenticación (AUC), que almacena datos relacionados con la seguridad como claves de autenticación y encriptación, y el registro de identidad de equipo (EIR), que registra los datos del ME.

En cada red móvil celular GSM también existe una puerta de enlace del centro de conmutación móvil (GMSC) encargada de proveer conexiones con otras redes mediante su función de interconexión (IWF). La aplicación principal del GMSC es interconectar la red móvil celular y la red telefónica fija, pero en

conjunto con el ISC permiten conexiones con otras redes celulares móviles internacionales.

Figura 7. **Arquitectura red GSM**



Fuente: ANTTALAINEN, Tarmo. *Introduction to telecommunications network engineering*. p. 235.

2.1.3.2. **Servicios de GSM**

Dada la gran utilización de GSM en el mundo, los operadores y fabricantes diseñaron e implementaron una gran cantidad de servicios, entre los que destacan:

- Voz: fue implementado en la fase inicial de GSM y básicamente existen dos tipos; el servicio telefónico regular (TS11) y el servicio de emergencia (TS12).

Ambos codifican la voz de forma digital para transmitirla como un conjunto de bits mediante una conexión punto a punto bidireccional, simétrica y *full* dúplex.

- Transmisión de fax: corresponde a la segunda fase de implementación de GSM, ofrece un servicio de fax transparente (TS61), el cual utiliza un servicio portador transparente para la transmisión de datos de fax.
- Servicio de mensajes cortos (SMS): corresponde a la tercera fase de implementación de GSM y es quizás el servicio más importante actualmente, debido a que provee la capacidad de enviar y recibir mensajes cortos de dos tipos: el TS21, que vendría siendo la versión punto a punto de los SMS, la cual permite a un solo usuario enviar un mensaje de hasta 160 caracteres; el otro tipo de SMS es el TS22, que es una implementación opcional de SMS que provee servicios de valor agregado, por ejemplo, un sistema de buzón de correos electrónicos que notifica automáticamente los correos nuevos mediante mensajes cortos.

También existe otra variación del SMS conocida como servicio celular de difusión de mensajes cortos (SMSCB), cuyos mensajes son enviados a todos los usuarios de una región específica de la red, pudiendo transmitir hasta 93 caracteres.

- Servicio mejorado de mensajería (EMS): es en realidad una extensión de SMS, la cual surgió debido a la creciente popularidad de los *ringtones* y las imágenes, por lo que los principales fabricantes desarrollaron este servicio, el cual podía enviar imágenes unicolor de 16x16 o 32x32 píxeles y tonos de tres octavas con una duración de 150, 225, 300 y 450 ms.

- Servicio de mensajería de multimedia (MMS): es una mezcla de SMS y EMS con mayores capacidades en cuanto a tamaño y flexibilidad, debido a que es capaz de transmitir melodías y secuencias multimedia de diferentes tipos, por ejemplo, datos de hasta 100 kb que bien podrían contener grabaciones de voz AMR, imágenes JPEG o GIF, música y video.

Para transmitir MMS es necesario un centro de MMS (MMS-C), el cual es el responsable de almacenar, convertir y entregar los datos MMS. Además, es capaz de almacenar las preferencias de los usuarios, así como las capacidades de sus terminales.

Figura 8. **SMS, EMS y MMS**

Service	Introduced	Payload size	Content
SMS	1995	160 byte	Text
EMS	2000	160 byte	Text, pictures, animations
MMS	2001	100 kbyte	Text, voice, pictures, photos, video

Fuente: EBERSPÄCHER, Jörg; VÖGEL, Hans-Jörg; BETTSTETTER, Christian; HARTMANN Christian. *GSM- architecture, protocols and services*. p. 213.

Debido a que los servicios de datos móviles fueron utilizándose cada vez más, la segunda generación de estos servicios, cuya tasa de transferencia era de 9,6 kbps quedó obsoleta rápidamente, motivo por el cual fueron desarrolladas los siguientes servicios con un canal codificado de 14,4 kbps:

- Circuito de conmutación de datos de alta velocidad (HSCSD): es un servicio de conmutación por circuitos que basado en la cantidad de usuarios, duración de la conexión y cantidad de *time slots* utilizados. Es

capaz de incrementar la tasa de transferencia combinando de uno a cuatro *time slots* en una sola frecuencia portadora dentro de un solo canal de datos, lo que da como resultado una tasa de transferencia máxima de $4 \times 14,4 \text{ kbps} = 57,6 \text{ kbps}$.

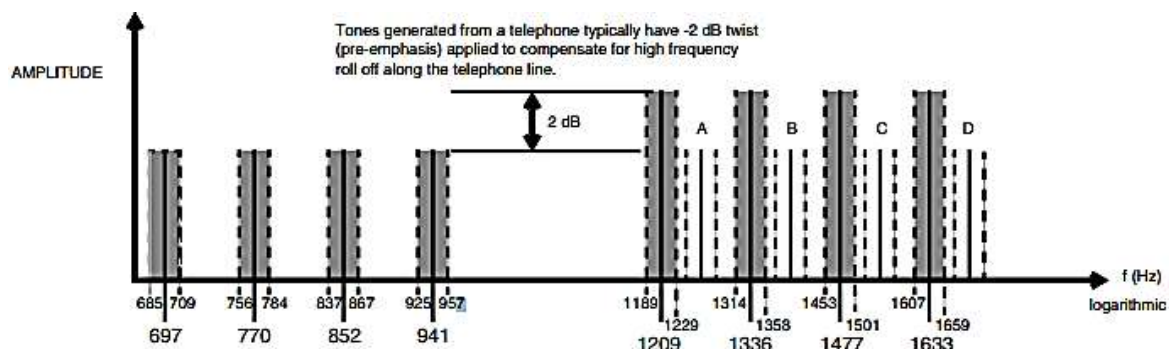
- Servicio general de paquetes de radio (GPRS): utiliza un sistema de conmutación de paquetes que reserva el canal de radio durante la transmisión, lo que permite que las tasas de transferencia varíen entre 56 y 114 kbps, dependiendo de la latencia y del número de usuarios que compartan el servicio.
- Tasa de datos mejorada para la evolución del sistema global para las comunicaciones móviles (EDGE): este servicio sustituye a la modulación binaria utilizada originalmente en la interfaz aire de GSM por un esquema de modulación 8-PSK, el cual es capaz de triplicar la tasa de transmisión y permite adaptarse a las condiciones del canal dependiendo del esquema de codificación. En general, EDGE aumenta la tasa de transferencia original que estaba entre 9,6 y 14,4 kbps por *time slot*, hasta 59,2 kbps por *time slot* sin control de errores.

2.2. Sistema de marcación por tonos DTMF

Sus orígenes provienen del sistema de marcado por señalización de pulsos, el cual no era lo suficientemente rápido y generaba una alta distorsión en cableados largos. Esto propició el desarrollo del sistema de marcación por tonos de frecuencia de voz, el cual será utilizado para transmitir las órdenes para el modo de control remoto del sistema implementado mediante la red telefónica, debido a que su operación es relativamente sencilla y de bajo costo.

El nuevo sistema doble- tono múltiple-frecuencia, o simplemente marcación por tonos, utiliza como señal válida la suma de dos tonos, uno de un grupo bajo, comprendido entre 697 y 941 Hz, y uno de un grupo alto, comprendido entre 1209 y 1633 Hz. Cada grupo está compuesto de cuatro tonos individuales, los cuales tienen frecuencias escogidas cuidadosamente para que no se relacionen armónicamente entre sí. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T) recomienda mediante la REC Q.23 que cada frecuencia transmitida debe tener un $\pm 1,8 \%$ de la frecuencia nominal y que las distorsiones, producto de la intermodulación o de los armónicos, debe tener 20 dB menos que las frecuencias fundamentales.

Figura 9. **Espectro de frecuencia de los tonos DTMF**



Fuente: ZARLINK SEMICONDUCTOR, *Application of the MT8870 integrated DTMF receiver*. p. 1.

2.2.1. Codificación DTMF

La señal del sistema de marcación por tonos (DTMF) es generada por un codificador DTMF, el cual genera diferentes señales validas sumando algebraicamente y en tiempo real las dos señales sinusoidales correspondientes a la fila y columna del dígito marcado.

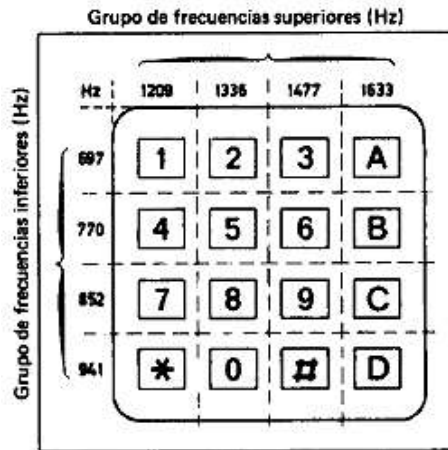
Este esquema de codificación asegura que cada señal válida resultante contenga un y solo un componente de cada grupo de tonos (alto y bajo), lo que permite que la decodificación sea más sencilla y flexible de reconocer por el receptor.

La codificación DTMF permite dieciséis combinaciones únicas para representar dos tipos de códigos, el código estándar, que comprende dígitos del 0 al 9 y los símbolos asterisco y numeral, y el código extendido, que agrega las letras A, B, C y D al código estándar.

Estas últimas letras están reservadas para señalizaciones especiales y sus nombres son FO (*flash override*), F (*flash*), I (*inmediate*) y P (*priority*), respectivamente. Su función consiste en establecer comunicaciones telefónicas con varios grados de prioridad, siendo FO la de mayor prioridad y P la de menor prioridad.

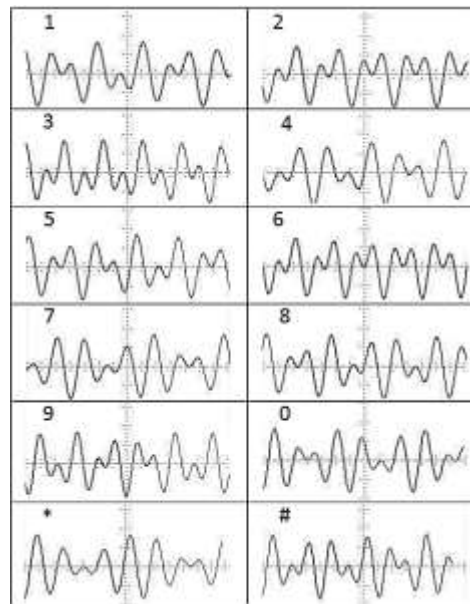
La distribución de las frecuencias a los diferentes dígitos, símbolos y letras se hace utilizando un teclado DTMF organizado matricialmente, donde cada fila corresponde a una frecuencia del grupo de tonos bajos y cada columna corresponde a una frecuencia del grupo de tonos altos.

Figura 10. **Distribución de frecuencias en un teclado DTMF**



Fuente: ITU-T. *Recomendación Q.23: características técnicas de los aparatos telefónicos de teclado.* p. 2.

Figura 11. **Formas de onda para el código estándar DTMF**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2.2.2. Recepción y decodificación DTMF

Los tonos generados por el codificador DTMF deben ser decodificados para detectar qué tecla se marcó, la primera generación de receptores utilizaban filtros activos RLC o técnicas de lazo de seguimiento de fase (PLL), para recibir y decodificar las señales DTMF.

Posteriormente, con el surgir de los materiales MOS/LSI se dio inicio a la segunda generación de receptores DTMF, la cual utilizaba dos filtros para banda analógicos para descomponer la señal DTMF en dos tonos discretos, para luego decodificarlos digitalmente. La tercera generación de receptores DTMF también utiliza filtros analógicos activos para separar la señal DTMF compuesta y dispositivos digitales MOS para decodificar los tonos. La última generación de receptores DTMF surgió debido al gran avance de la escala de integración de los circuito integrado (IC) caracterizándose por la fusión de la etapa de filtrado y la de decodificación en un solo IC.

Sin importar la generación del receptor DTMF o el integrado que se utilice, la ITU-T recomienda mediante la REC Q.24 los siguientes parámetros técnicos para la recepción de señales multifrecuencia de aparatos de teclado:

- Frecuencias de señales: cada señal está formada por la suma algebraica de dos frecuencias tomadas de dos grupos (superior e inferior), las cuales están especificadas en la recomendación Q.23 de la ITU-T, por lo que el receptor debe comprobar la presencia de una y solo una frecuencia del grupo superior y una y solo una frecuencia del grupo inferior.

- Tolerancia de frecuencias: el receptor debe responder a señales cuyas frecuencias se sitúen dentro del rango de tolerancia establecido, el cual podrá ser ampliado por motivos de degradación, tomando en cuenta que el aumento del rango de tolerancia conlleva un aumento en la sensibilidad al ruido eléctrico.
- Niveles de potencia: el receptor debe estar en condiciones de recibir señales de niveles de potencia determinados, por la amplitud proporcionada por el codificador DTMF y por la atenuación que puedan introducir los otros elementos de la red, tomando en cuenta que tanto el nivel de potencia en la emisión como la atenuación en la transmisión dependerán de la frecuencia de la señal.
- Simulación de señales por la voz: deberán recibirse señales válidas aún en la presencia de la voz u otras perturbaciones.
- Condiciones de tiempo en la recepción de las señales: el receptor debe reconocer las señales cuya duración exceda el valor mínimo previsto, con el objetivo de evitar la recepción de señales falsas.
- Interferencia por el tono de invitación a marcar: la recepción no debe ser afectada por la aplicación del tono de indicación a marcar y debe buscarse que la interferencia entre esta y la recepción de señales DTMF sea mínima.
- Interferencia por ecos: el receptor debe ser capaz de distinguir entre señales verdaderas y condiciones de eco que pudieran persistir durante cierto número de milisegundos en líneas de transmisión largas.

- Inmunidad al ruido eléctrico: el receptor debe ser capaz de anular las perturbaciones eléctricas inducidas, ya que estas pueden provocar que una señal dividida, simulada o incluso que no sea detectada.

Tabla III. **Parámetros técnicos de recepción de señales multifrecuencia**

Parámetros		Valores según administradores		
		NTT	AT&T	
Frecuencias de las señales	Grupo bajo (Hz)	697, 770,852,941	Las mismas que utiliza la NTT	
	Grupo alto (Hz)	1209, 1336, 1477, 1633		
Tolerancia de frecuencias	En funcionamiento	≤ 1,8 %	≤ 1,5 %	
	Sin funcionar	≥ 3,0 %	≥ 3,5 %	
Niveles de potencia por frecuencia	En funcionamiento	-3 a -4 dBm	0 a -25 dBm	
	Sin funcionar	Máx. -29 dBm	Máx. -55 dBm	
Diferencia de niveles de potencia entre las frecuencias		Máx. 5 dB	+4 dB a -8 dB	
Temporización de recepción de las señales	Duración de la señal	En funcionamiento	Mín. 40 ms	Mín. 40 ms
		Sin funcionar	Máx. 24 ms	Máx. 23 ms
	Duración de la pausa		Mín. 30 ms	Mín. 40 ms
	Interrupción de la señal		Máx. 10 ms	Máx. 10 ms
	Velocidad de señalización		Mín. 120 ms/cifra	Mín. 93 ms/cifra
Simulación de las señales por la voz		6 señales falsas cada 46 horas para telefonía de un nivel medio de -15 dBm	Para (0-9) una señal/3 000 llamadas, para (0-9, *, #) una señal falsa/2 000 llamadas, para (0-9, *, #, A-D) una señal falsa/1 500 llamadas.	
Interferencia por ecos			Tolerará ecos con un retardo de 20 ms, y al menos 10 dB por debajo.	

Fuente: elaboración propia.

2.3. Bluetooth

Es una tecnología de comunicación inalámbrica de corta distancia que permite la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por RF, cuyo objetivo es facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos mediante la eliminación de cables y conectores.

La tecnología comprende tanto hardware como software, los cuales deben de cumplir los requisitos definidos por el *bluetooth* SIG, formado actualmente por más de 20 000 compañías líderes en las áreas de telecomunicaciones, computación, redes y consumo electrónico.

Bluetooth fue creado para utilizarse en cualquier parte del mundo, por lo que el consumo de energía y las interferencias que pudieran producirse durante la transmisión son aspectos a tomar en cuenta, debido a que la idea original de la tecnología contempla la integración de la tecnología en equipos alimentados por baterías y la utilización de una banda de uso libre, específicamente, la banda ISM (*industrial, scientific and medical*) que opera en la frecuencia de 2,45 GHz.

Además, la tecnología es ampliamente utilizada por los desarrolladores de aplicaciones para el sistema operativo Android, el cual se ejecuta en el teléfono inteligente que se utilizará para el control local y remoto del sistema implementado.

2.3.1. Arquitectura del sistema *bluetooth*

Un sistema *bluetooth* consta de tres partes básicas: un transreceptor de RF, un sistema de banda base y un *stack* de protocolos.

2.3.1.1. Transreceptor de RF *bluetooth*

Es el componente encargado de transmitir y recibir las señales RF, tomando en cuenta que la señal transmitida debe ser de baja potencia y debe utilizar una banda de frecuencia abierta a cualquier sistema de radio, para que el funcionamiento del mismo sea independiente del lugar donde se encuentre el usuario.

Debido a que la información es transmitida mediante señales RF, los dispositivos podrán comunicarse entre ellos siempre y cuando estén dentro de su alcance sin importar si están o no alineados. Actualmente, la tecnología *bluetooth* puede clasificarse de acuerdo a la potencia de transmisión, la cual determinará finalmente la distancia que podrá alcanzar la señal RF transmitida.

Figura 12. **Clasificación de acuerdo a la potencia de transmisión**

Power class	Maximum output power (P_{max})	Nominal output power	Minimum output power (P_{min})	Power control
1	100 mW (20 dBm)	N/A	1 mW (0 dBm)	$P_{min} < +4$ dBm to P_{max} Optional: P_{min}^a to P_{max}
2	2.5 mW (4 dBm)	1 mW (0 dBm)	0.25 mW (-6 dBm)	Optional: P_{min}^a to P_{max}
3	1 mW (0 dBm)	N/A	N/A	Optional: P_{min}^a to P_{max}

^aThe lower power limit $P_{min} < -30$ dBm is suggested, but is not mandatory, and may be chosen according to application needs.

Fuente: IEEE. *Standard IEEE 802.15.1™-2005, Part 15.1*. p. 46.

Es importante recordar que la tecnología *bluetooth* utiliza la misma banda de frecuencia que utilizan otros dispositivos como el internet inalámbrico, monitores de bebés y portones eléctricos, motivo por el cual el transreceptor debe de ser capaz de evitar las interferencias entre estos dispositivos.

Para evitar estas interferencias, *bluetooth* hace uso del método FHSS, que divide la banda de frecuencia en 79 canales RF con un ancho de banda aproximado de 1 MHz por canal, lo cual proporciona un ancho de banda pequeño pero de gran inmunidad a las interferencias debido a que el transreceptor realizará 1 600 saltos por segundo de manera pseudoaleatoria entre los 79 canales durante la conexión.

Figura 13. **Frecuencias de operación de los canales RF de *bluetooth***

Regulatory range	RF channels
2.400–2.4835 GHz	$f = 2402 + k \text{ MHz}, k = 0, \dots, 78$

Fuente: IEEE. *Standard IEEE 802.15.1™-2005, Part 15.1*. p. 46.

Bluetooth utiliza dos tipos de modos para modular la señal RF transmitida; el modo tasa básica (BR) y el modo tasa de datos mejorada (EDR), con la característica de que el modo BR utiliza la modulación por desplazamiento de frecuencia gaussiana (GFSK), mientras que el modo EDR utiliza la modulación por desplazamiento de fase (PSK), cabe destacar que el modo BR es de carácter obligatorio y el modo EDR es opcional.

2.3.1.2. Sistema de banda base *bluetooth*

La banda base se encarga de establecer el enlace físico entre los dispositivos *bluetooth*, implementando el acceso al medio, manejando la sincronización de la transmisión de la señal RF, los saltos de frecuencia entre los 79 canales y otros procedimientos entre dispositivos. Además, permite dos tipos enlaces; el sincronía orientada a la orientación (SCO), que se usa

principalmente para la transmisión de datos, y el asíncrono sin conexión (ACL), que se usa principalmente para la transmisión de audio.

2.3.1.3. **Stack de protocolos de *bluetooth***

En general, el *stack* de protocolos *bluetooth* se basa en estándares ya definidos para los sistemas de comunicación y redes, específicamente en el modelo OSI, el cual separa las funciones de la red en capas las cuales permiten la interoperabilidad entre hardware y software de distintos fabricantes. El *stack* de protocolos *bluetooth* está formado por cuatro capas lógicas:

- Capa *core*: lleva a cabo las funciones principales para los dispositivos que se encuentran en una red *bluetooth*, para esto recurre a la utilización del sistema de banda base y protocolos como:
 - Protocolo de gestión de enlaces (LMP): es el encargado de la autenticación, cifrado, control, configuración del enlace, modo de modulación y consumo de potencia. Además, es el encargado de los procedimientos para establecer un enlace SCO.
 - Protocolo de control de enlace lógico y adaptación (L2CAP): es el encargado de brindar los servicios de datos SCO y ACL a las capas superiores.
 - Protocolo de descubrimiento de servicios (SDP): protocolo encargado de la búsqueda de servicios de otros dispositivos *bluetooth* dentro del rango de alcance.
- Capa de sustitución de cables: esta capa utiliza la comunicación por radiofrecuencia (RFCOMM) para emular un puerto serial y así pueda darse la sustitución de cables.

- Capa de control telefónico: utiliza la especificación de control de telefonía (TCS) para el manejo de llamadas telefónicas y conversaciones.
- Capa de protocolos adoptados: se encarga de adaptar tecnologías ya existentes para conseguir la interoperabilidad con *bluetooth*, por ejemplo PPP, UDP/TCP-IP, OBEX y WAP.

2.3.2. Topología de red *bluetooth*

Se basa en una *piconet* que consta de hasta 7 dispositivos que ocupan o comparten el mismo canal físico, aclarando que es posible que exista más de una *piconet* dentro del mismo rango de alcance, siempre y cuando estén en un canal diferente. Los dispositivos que forman una *piconet* se clasifican en dos tipos de acuerdo a su funcionalidad:

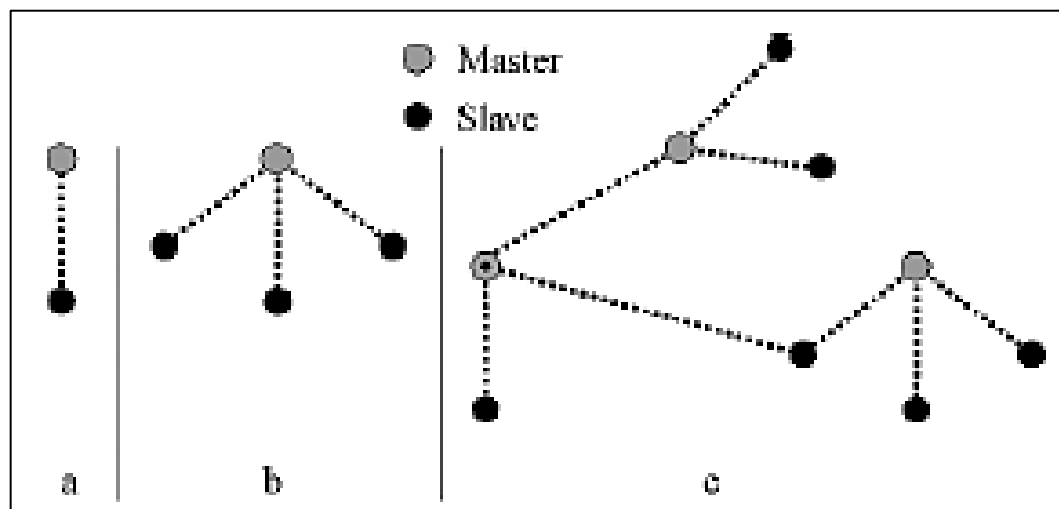
- Maestro: es el encargado de establecer la conexión, controlar el acceso al canal y definir la secuencia de salto, además, es importante destacar que un dispositivo podrá ser del tipo maestro en una única *piconet*.
- Esclavos: son todos los otros dispositivos que se sincronizan con el maestro para establecer la conexión, con la característica de que cada dispositivo esclavo puede participar o ser miembro en más de una *piconet*.

El canal físico de una *piconet* estará caracterizado por una secuencia de salto pseudoaleatoria a través de un canal RF y por la fase de la secuencia de salto mencionada anteriormente, la cual es determinada por el reloj nativo (CLKN) del dispositivo máster de la *piconet*.

La tecnología *bluetooth* provee conexión punto a punto en la cual el canal físico es compartido entre dos dispositivos *bluetooth* (maestro - esclavo), asimismo provee una conexión punto a multipunto (1 maestro - hasta 6 esclavos).

Sin embargo, con los dos tipos de conexiones mencionados anteriormente no se logra el propósito fundamental de *bluetooth* que es sustituir el cableado, por lo que muchas veces resulta necesario interconectar diferentes *piconet*, ya sea para aumentar el ancho de banda o para expandir el rango de alcance de la red *bluetooth*. Razón por la cual se recurre al uso de dispositivos puente que participan o son parte de dos o más *piconet* dentro de las redes *bluetooth*, las *piconet* que tienen dispositivos en común, reciben el nombre de *scatternet*.

Figura 14. a) Conexión punto a punto, b) conexión punto a multipunto, c) *scatternet*



Fuente: IEEE. *Standard IEEE 802.15.1™-2005, Part 15.1*. p. 53.

2.3.3. Modos de operación de *bluetooth*

Para que un dispositivo *bluetooth* realice un intercambio de datos con otro dispositivo *bluetooth* deben ejecutarse los siguientes procedimientos y modos en las distintas capas de la arquitectura de *bluetooth*:

- Procedimiento de investigación: los dispositivos *bluetooth* utilizan este procedimiento para descubrir dispositivos cercanos o para ser descubiertos por otros dispositivos dentro del mismo rango de alcance. El procedimiento consiste en el envío de solicitudes de investigación y de sus respectivas respuestas a través de un canal físico especial diferente al utilizado para la comunicación.
- Procedimiento de paginación: este procedimiento utiliza un canal físico especial para el envío de solicitudes de conexión y sus respectivas respuestas. El canal físico tiene atributos específicos que permiten que solo el dispositivo especificado en la solicitud de conexión pueda responder.
- Modo conectado: se accede a este modo después de haber realizado un procedimiento de paginación exitoso, por lo que se forma un enlace físico entre los equipos conectados, dicho de otra manera, en este modo se forma una *piconet*. Mientras los equipos estén en este modo pueden llevar a cabo procedimientos de investigación y paginación para conectarse a otras *piconet* sin necesidad de desconectarse del enlace físico original.
- Modo de retención: este modo entra en funcionamiento cuando el enlace físico no este reservado por enlaces SCO y una vez terminado el proceso se regresa al modo conectado.

- Modo de husmeo: este modo se ejecuta cuando los dispositivos que tienen comunicaciones lógicas ACL por defecto participan en otro canal físico durante los periodos de ausencia de comunicaciones lógicas ACL.
- Estado de parqueo: en este estado, un dispositivo esclavo se mantiene conectado a una *piconet*, pero el dispositivo no podrá establecer enlaces lógicos con su dispositivo maestro.

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En este capítulo se hará una descripción puntal del sistema que se implementará definiendo cuestiones como las especificaciones del mismo, así como las partes que lo componen. Al final del capítulo se presentan algunas representaciones gráficas bidimensionales y tridimensionales, las cuales permitirán tener una visión para futuras referencias de la estructura del hogar a escala en donde se instalará el sistema.

3.1. Especificaciones del sistema

El sistema implementado comprende el uso de hardware y software, los cuales tienen como objetivo permitir el control local de un hogar mediante señales *bluetooth*, así como permitir control remoto del hogar mediante señales DTMF enviadas a través de la red móvil celular nacional.

Los procesos y dispositivos que se controlarán son los siguientes:

- Simulación de presencia: permitirá hacerles creer a otras personas que el hogar está habitado, aún cuando el mismo este vacío, lo cual será posible mediante la activación y desactivación de la iluminación interna y externa del hogar en el modo de control remoto o local.
- Detección de intrusos: podrá ser activado mediante los modos de control local o remoto y tiene como objetivo hacerle saber a los propietarios del hogar cuando alguna persona ajena ha ingresado al mismo mediante una alarma sonora y visual.

- Detección de incendios: comprende la activación y desactivación de los detectores de incendio, que consisten en sensores de temperatura, los cuales activarán una alarma visual y sonora a una temperatura dada.
- Control de la climatización del hogar: permitirá el control de la ventilación del hogar, con el fin de mejorar la eficiencia energética durante las distintas estaciones climáticas, mediante la utilización de un *seekbar* en el modo de control local de la aplicación Android.
- Control de portón eléctrico: permitirá controlar la apertura del portón de acceso al hogar haciendo girar el motor que acciona el movimiento del mismo, desde los modos de control local o remoto.
- Control de bomba de hidráulica: realizará el control de la bomba hidráulica del hogar con el propósito de llenar la cisterna mediante la utilización del modo de control local o remoto.
- Control del sistema de riego del jardín: permitirá el control automático de los rociadores que estén instalados en el jardín, utilizando los modos control local o remoto.
- Control de persiana: funcionará en el modo de control local, permitiendo la apertura de la persiana colocada en la sala del hogar para evitar utilizar la iluminación de esta durante el día.
- Apagado general: esta opción actúa como un reinicio general del sistema debido a que al activarla mediante el modo de control y remoto ocasionará la desactivación de todos los dispositivos y procesos del hogar.

- Control de iluminación solar: accionará el movimiento del techo del vivero para que la energía solar pueda ser absorbida por las plantas mientras se esté utilizando el modo de control local o remoto.
- Control de iluminación interna: activación y desactivación de la iluminación del hogar, por ejemplo, en la puerta de entrada y en la sala, comedor, cocina, gradas y habitación.

3.2. Estructura del sistema

El sistema implementado se divide en diversos módulos y unidades, los cuales trabajarán conjuntamente para controlar los procesos y dispositivos deseados, los módulos y unidades utilizados son los siguientes:

- Interfaz de control: este módulo consiste en un teléfono inteligente con sistema operativo Android versión 4.1.2, en el que se ejecuta una aplicación cuya interfaz gráfica permitirá el envío órdenes mediante señales *bluetooth* para el modo de control local del sistema. Asimismo, la aplicación será capaz de enviar señales DTMF utilizando el teclado del teléfono inteligente, mediante llamadas telefónicas a un teléfono celular instalado en el hogar.
- Módulo receptor para el control local: su función principal es recibir las señales *bluetooth* enviadas desde el teléfono inteligente para su posterior entrega al módulo de procesamiento de información.
- Módulo receptor para el control remoto: es el encargado de recibir mediante un teléfono celular que funcionalmente actúa como un módem GSM, las señales DTMF enviadas desde el teléfono inteligente.

Las señales recibidas serán enviadas a un decodificador DTMF, el cual proporcionará un único código correspondiente a la señal recibida, finalmente el código será enviado a la unidad de procesamiento de información.

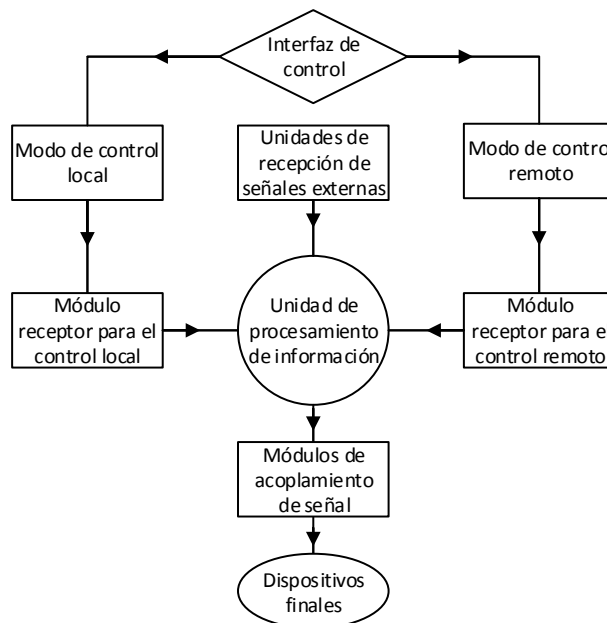
- Unidades de recepción de señales externas: su función consiste en detectar movimientos físicos dentro del hogar, haciendo uso de sensores colocados estratégicamente, los cuales enviarán la información captada al módulo de procesamiento de información.
- Unidad de procesamiento de información: está formado por un microcontrolador PIC, cuya función será analizar las señales recibidas de las unidades de recepción de señales externas, así como las recibidas de los módulos de recepción del control local y remoto.

El análisis realizado por la unidad de procesamiento de información, le dará la posibilidad de tomar las decisiones correspondientes que permitirán la ejecución y control de los procesos. Finalmente, cada decisión tomada será enviada al módulo de acoplamiento de señal correspondiente a cada proceso o dispositivo mediante señales eléctricas.

- Módulos de acoplamiento de señal: estos son los encargados de recibir las órdenes de las unidades de procesamiento de información, las cuales deberán ser acopladas a los niveles de voltaje y corriente necesarios para cada uno de los dispositivos finales.
- Dispositivos finales: estos dispositivos son controlados por los módulos de acoplamiento de señal y son capaces de afectar el hogar e incluso a los habitantes del mismo, mediante su interacción con el mundo exterior,

entre estos destacan motores, electroválvulas, luces, ventiladores y otros.

Figura 15. **Diagrama de bloques de la estructura del sistema**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

3.3. Características del sistema

El sistema provee al usuario una amplia variedad de características orientadas al control local y remoto de su hogar, entre ella destacan:

- El sistema interactúa con el usuario mediante un teléfono inteligente con sistema operativo Android en el que se ejecutará una aplicación que permitirá al usuario elegir entre el modo de control local y remoto, la misma tiene como característica la compatibilidad con todas las versiones posteriores del sistema operativo Android 4.1.2.

- El modo de control remoto de la aplicación Android provee una interfaz gráfica para la realización de la llamada telefónica al teléfono receptor de las señales DTMF, sin embargo, una vez conocido el número telefónico al que hay que llamar, es posible enviar tales señales DTMF el teléfono celular que se disponga.
- El modo de control local de la aplicación Android provee al sistema la capacidad de funcionar a un rango de 10 m del módulo receptor *bluetooth*.
- La aplicación Android fue desarrollada utilizando Eclipse IDE for Java EE Developers, específicamente la versión Juno (4.2), de la cual existe una gran cantidad de información y tutoriales acerca del desarrollo de aplicaciones, lo que ofrece determinada flexibilidad para mejorar y ampliar los alcances de la aplicación.
- La programación del microcontrolador PIC fue desarrollada en PCW COMPILER, el cual presenta determinadas facilidades para el desarrollo del programa, dentro de las cuales destacan sus útiles librerías que serán utilizadas para el desarrollo del sistema.

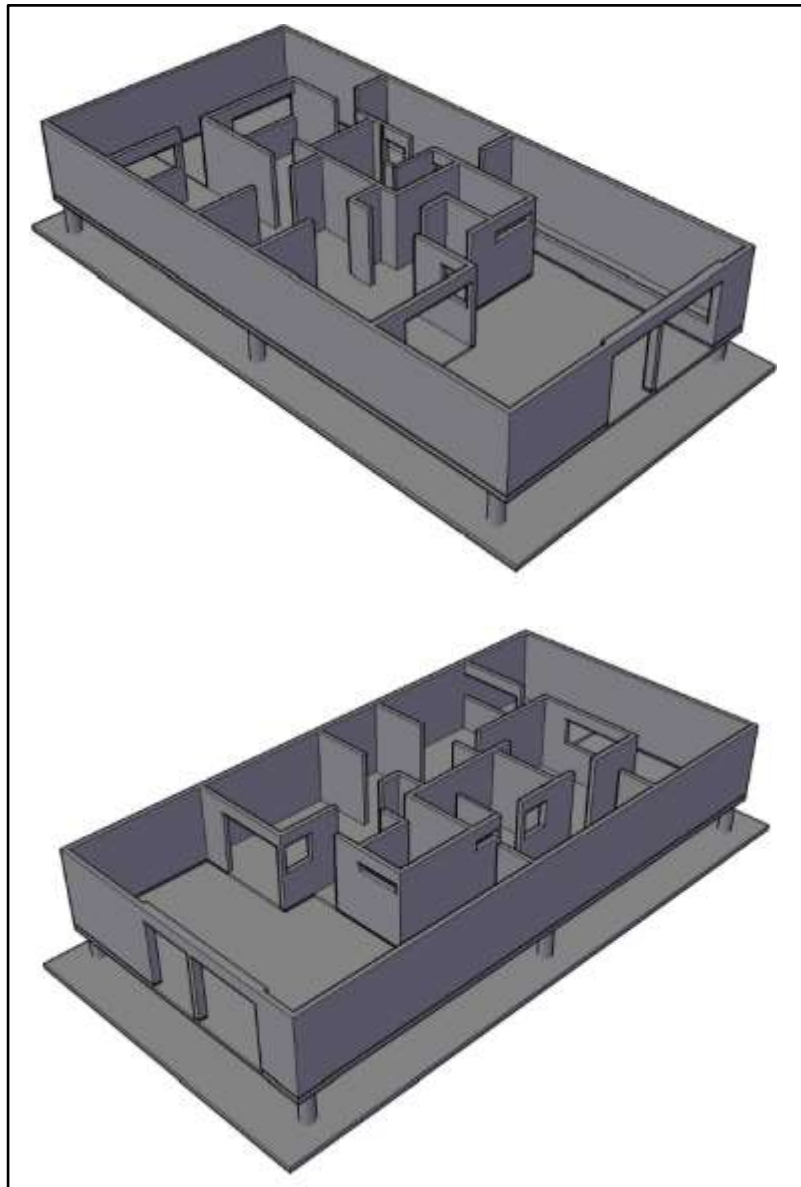
3.4. Modelo a escala del hogar

El sistema se implementará en un hogar de 9,35 m de ancho por 18,85 m de largo, con dos jardines, baño, cocina, comedor, habitación de servicio, una sala y gradas hacia un posible segundo piso.

Con el propósito de resaltar la funcionalidad del sistema, se realizará un montaje en tres dimensiones a una escala de 1:10 del hogar, utilizando diversos

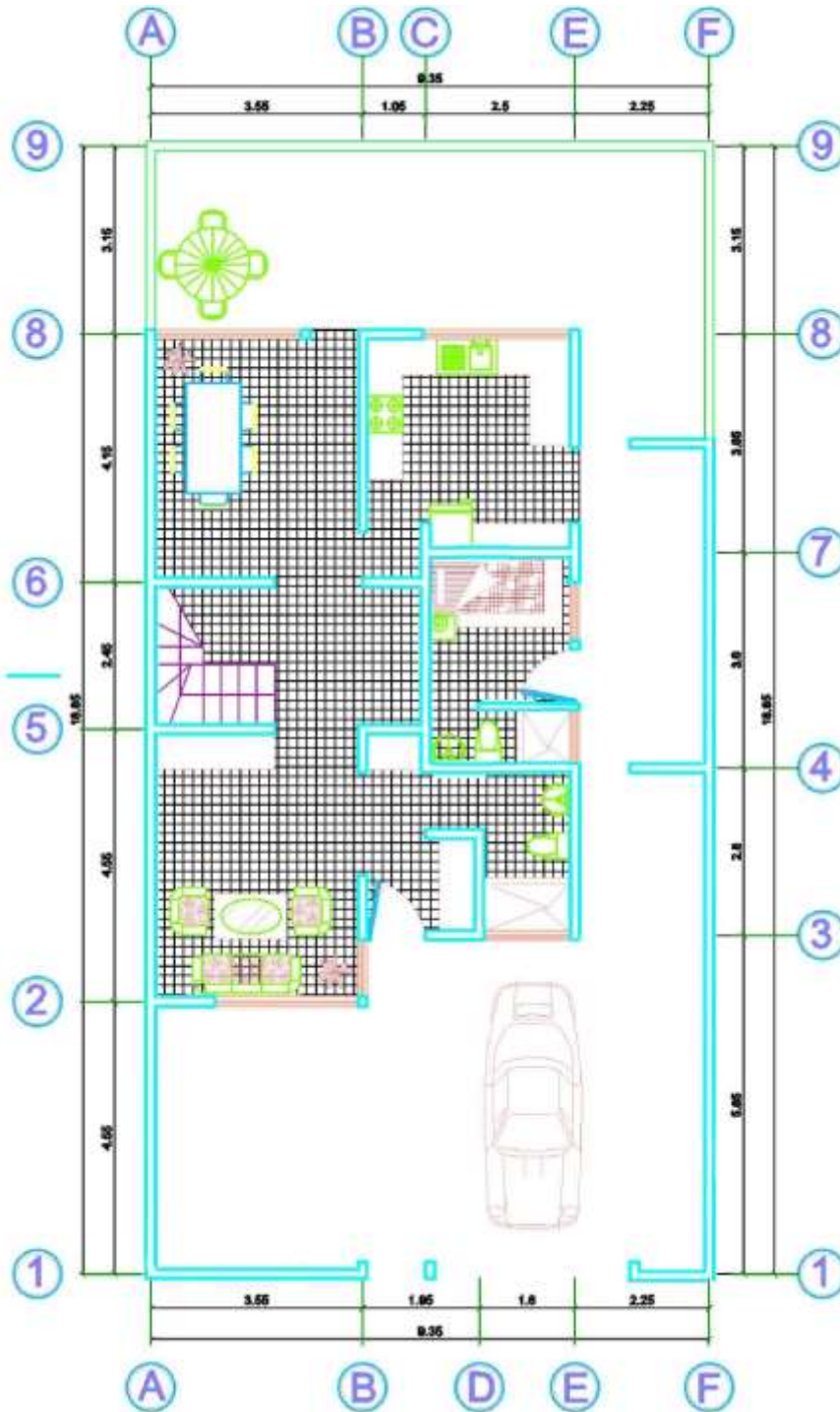
materiales como cartón chip (calibre 40, 60 y 80), pintura de agua, vidrio, resistol y aserrín para la estructura del hogar, así como madera balsa, jabón y tela para la construcción de los muebles.

Figura 16. **Hogar a escala-proyección tridimensional**



Fuente: elaboración propia, empleando Sketchup.

Figura 17. Hogar a escala - vista de planta acotada



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

En el siguiente capítulo se detallan el diseño y construcción de cada uno de los módulos y unidades que componen el sistema, presentando los diagramas de los circuitos y dispositivos utilizados en los mismos. Finalmente, como el sistema contempla la utilización de software, también se detallan aspectos de diseño y lógica de programación de la aplicación en Android y la programación del microcontrolador PIC.

4.1. Desarrollo de la interfaz de control

La interfaz de control consiste en una aplicación desarrollada en Eclipse IDE *for Java EE Developers* en la versión Juno (4.2). Eclipse, a su vez, genera la aplicación Android (.apk) que se ejecutará en el teléfono inteligente y permitirá el acceso al modo de control deseado por el usuario.

4.1.1. Eclipse Juno (4.2)

Es un IDE diseñado originalmente para la programación en lenguaje JAVA, Eclipse también cuenta con un sistema de complementos para personalizar el entorno de programación y permitir el desarrollo de aplicaciones en otros leguajes de programación como PHP, Perl, Python, JavaScript, C, C++, entre otros.

Para el sistema se utilizarán las ADT, que no son más que un complemento para Eclipse IDE, el cual provee un poderoso entorno de desarrollo de aplicaciones Android (.apk).

4.1.2. Aplicación Android TGMC

La aplicación desarrollada llevará el nombre de TGMC y tiene como objetivo ser la conexión entre los usuarios y el sistema implementado mediante el acceso a los modos de control local y remoto, a través de la interfaz gráfica de la misma.

Figura 18. **Icono de aplicación TGMC**



Fuente: elaboración propia, empleando Softonic.

4.1.2.1. Ventana principal

TGMC está compuesta de tres ventanas (*activities*), la principal llamada *MainActivity* en la cual el usuario decidirá el modo de control a utilizar, seleccionando el botón Remoto para acceder al modo de control remoto o bien seleccionando el botón Local para acceder al modo de control local.

Los botones Local y Remoto serán los encargados de llamar a las otras dos ventanas, llamadas en el código de programación *clocal* y *cremoto* respectivamente, las cuales proporcionarán la interfaz gráfica necesaria para el modo de control correspondiente.

Figura 19. **Ventana principal**

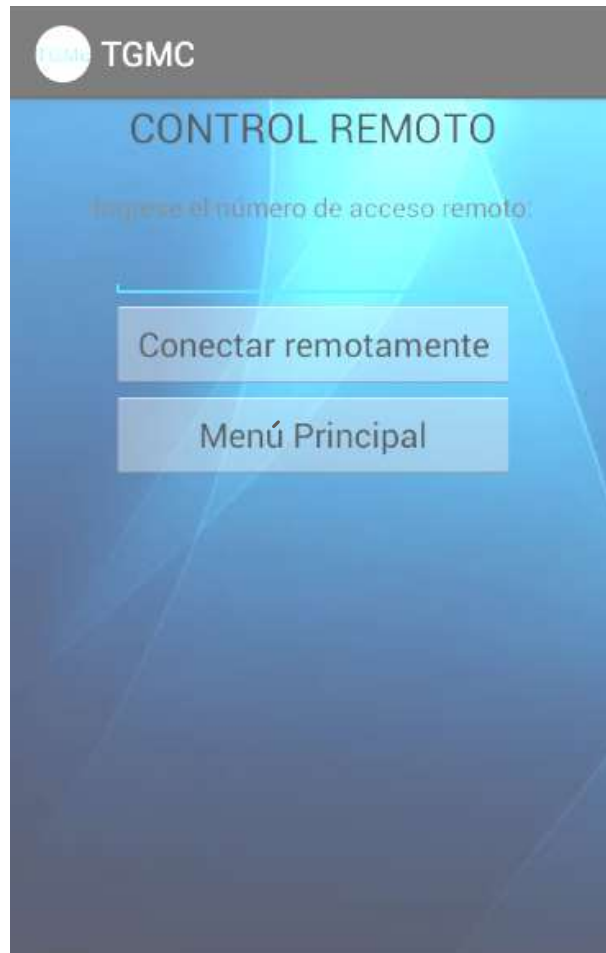


Fuente: elaboración propia.

4.1.2.2. Ventana de control remoto

La ventana de control remoto cuenta con tres elementos un *EditText* en donde el usuario ingresará el número telefónico del celular receptor instalado en el hogar. Esta ventana cuenta con dos botones, el primero de ellos lleva el nombre de Conectar remotamente y se encarga de iniciar la llamada telefónica. El segundo botón lleva el nombre de Menú Principal y se encarga de regresar a la ventana principal de la aplicación.

Figura 20. **Ventana de control remoto**

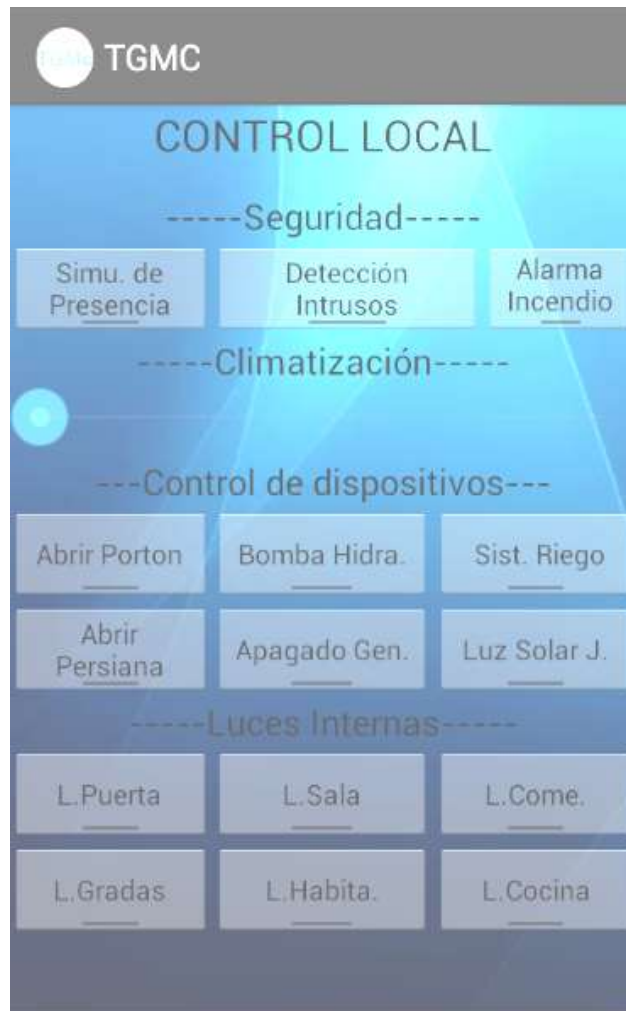


Fuente: elaboración propia.

4.1.2.3. Ventana de control local

La ventana de control local está formada por 15 *togglebutton*, 1 *button* y 1 *seekbar*, los cuales brindan la opción de activar, desactivar o controlar cada uno de los procesos o dispositivos. Asimismo, esta ventana da la opción de conexión y desconexión manual del teléfono inteligente con el módulo receptor *bluetooth*, mediante la utilización de la tecla menú del teléfono inteligente.

Figura 21. **Ventana de control local**



Fuente: elaboración propia.

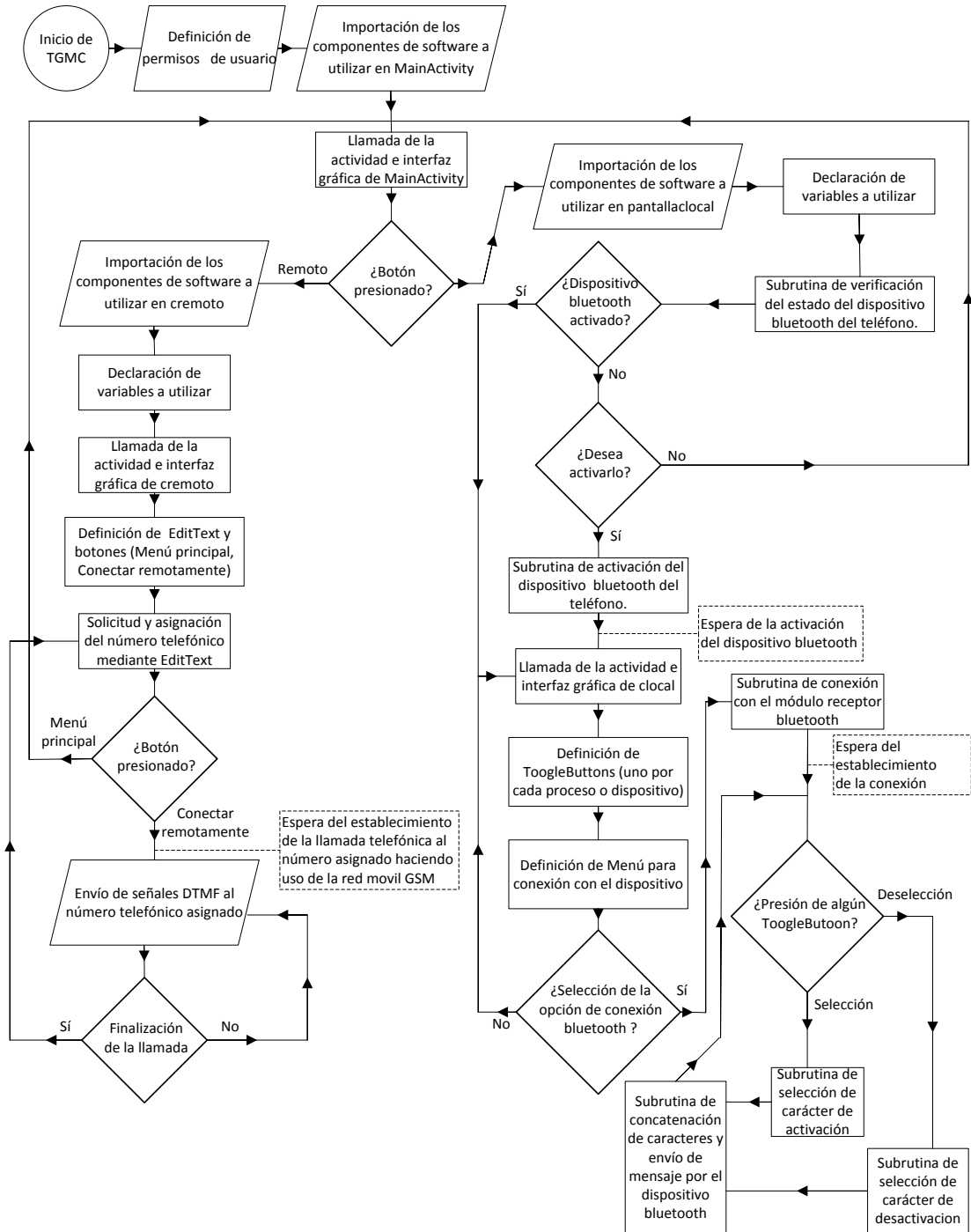
4.1.3. Programación de TGMC

El código de programación TGMC consiste en una secuencia de pasos e instrucciones, las cuales serán descritas y representadas gráficamente a lo largo de esta sección. La programación de la aplicación conlleva específicamente la siguiente secuencia.

- Habilitación de los permisos de usuario que serán utilizados mientras TGMC este ejecutándose.
- Importación de los códigos de cada uno de los objetos que serán utilizados en la ventana en ejecución.
- Definición e inicialización de las variables y métodos a utilizar en la ventana en ejecución.
- Creación y visualización de la interfaz gráfica de la ventana en ejecución.
- Dependiendo de la ventana en ejecución, será necesaria la ejecución de subrutinas de verificación de los componentes de hardware a utilizar.
- Si los componentes de hardware a utilizar estuvieran desactivados, será necesaria la ejecución de subrutinas de activación de las mismas.
- Subrutinas de establecimiento de conexión con componentes externos.
- Asignación de ID y nombre a cada uno de los objetos a utilizar en la ventana en ejecución.
- Escucha de eventos o cambios de estado en los objetos que conforman la ventana en ejecución mediante métodos de escucha de gestos y señales táctiles.
- Verificación y análisis del estado actual del objeto alterado mediante sentencias condicionales.
- Envío de datos o ejecución de instrucciones o subrutinas de acuerdo al objeto alterado y su estado actual.
- Espera y escucha de algún otro cambio o evento en los componentes gráficos de la aplicación.
- Finalización o reinicio de la aplicación TGMC.

La figura 22 muestra las operaciones realizadas por la aplicación TGMC, tomando en cuenta aspectos puramente de programación, así como los factores externos gobernados por el usuario final, que serán capaces de modificar la manera en que se ejecuta la aplicación.

Figura 22. Diagrama de flujo de la programación de TGMC



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

4.1.4. Descripción de comandos utilizados en la programación de TGMC

Los comandos utilizados en el código de programación de la aplicación TGMC son los siguientes:

- *Uses-permission*: sentencia de declaración de los permisos que tendrá la aplicación cuando esté ejecutándose.
- *Import*: sentencia para importar los códigos de paquetes específicos del Android SDK.
- *OnCreate*: método utilizado para crear la actividad por primera vez.
- *OnStart*: método llamado después que la actividad sea visible para el usuario.
- *OnDestroy*: último método llamado antes de que la actividad sea destruida.
- *SetContentView*: método utilizado para la colocación del contenido de la actividad en el recurso especificado.
- *Intent*: objeto de la clase *intent* utilizado para la definición de parámetros de referencia del objeto.
- *StartActivity*: sentencia para cargar una nueva actividad.
- *OnActivityResult*: método llamado como resultado de un *intent*.
- *OnCreateOptionsMenu*: método público utilizado inicializar el contenido del menú de opciones de la actividad.
- *EditText*: definición de objeto del tipo *text field*, que permite a los usuarios ingresar a la aplicación distintos tipos de textos.
- *SetData*: coloca los datos en una variable si el objeto de tipo *intent* está funcionando.
- *Action_Call()*: sentencia para la realización de una llamada a un número telefónico especificado por los datos.

- *Tooglebutton*: definición de objeto del tipo *tooglebutton* capaz de cambiar entre dos estados.
- *Button*: definición de objeto del tipo *button* capaz de ejecutar una acción cuando es presionado.
- *SeekBar*: definición de objeto del tipo *seekbar* capaz de ejecutar una acción cuando el usuario lo desplaza hacia la izquierda o derecha.
- *SetOnClickListener*: invocación del método *onClick* cuando se hace *click* sobre objetos como *button* y *tooglebutton*.
- *OnClick*: método ejecutado cuando el usuario hace *click* en los objetos *button* y *tooglebutton*.
- *OnSeekBarChangeListener*: invocación de los métodos *OnProgressChanged*, *onStartTrackingTouch*, *onStopTrackingTouch*, cuando el nivel de progreso del objeto *seekbar* ha cambiado.
- *OnProgressChanged*: método que notifica que el nivel de progreso del objeto *seekbar* r ha cambiado.
- *OnStartTrackingTouch*: método ejecutado cuando el usuario ha iniciado un gesto táctil en el objeto *seekbar*.
- *OnStopTrackingTouch*: método ejecutado cuando el usuario ha finalizado un gesto táctil en el objeto *seekbar*.
- *SystemService(VIBRATOR_SERVICE)*: sentencia para interactuar con el hardware de vibración.
- *Vibrate()*: sentencia utilizada para activar el hardware de vibración durante un periodo especificado en milisegundos.
- *BluetoothAdapter.getDefaultAdapter*: sentencia utilizada para obtener un identificador para el adaptador local predeterminado.
- *getName()*: método para obtener el nombre del adaptador *bluetooth* al cual se ha conectado.
- *getState()*: método utilizado para obtener el estado actual del adaptador *bluetooth*.

- *BluetoothServerSocket*: objeto utilizado para escuchar algún *socket* RFCOMM de *bluetooth* con servicio de grabación.
- *ListenUsingRfcommWithServiceRecord*: método utilizado para la autenticación y comunicación de un dispositivo *bluetooth* remoto.
- *GetRemoteDevice*: sentencia de definición de la dirección MAC de un dispositivo *bluetooth* remoto.
- *SendMessage*: método utilizado para colocar un mensaje determinado al inicio de la cola de mensajes.
- *GetBytes()*: sentencia utilizada para obtener la matriz de bytes que contienen los caracteres de una variable del tipo *string*.
- *GetText()*: método utilizado para obtener los datos ingresados en un objeto *editText*.
- *ToString()*: sentencia utilizada para convertir caracteres a una variable del tipo *string*.
- *Length()*: sentencia utilizada para obtener la cantidad de caracteres que forman una variable del tipo *string*.
- *OutputStream()*: flujo de escritura de bytes.
- *Write()*: sentencia utilizada para escribir bytes en el *OutputStream*.

4.2. Desarrollo de la unidad de procesamiento de información

La unidad de procesamiento de información está formada por un microcontrolador PIC16F887, el cual será el encargado de recibir la información proveniente del teléfono inteligente que ejecuta la aplicación TGMC y de las unidades de recepción de señales externas. Dicha información será finalmente analizada mediante algunas librerías y comandos de programación en lenguaje C para microcontroladores, con el objetivo de ejecutar determinadas acciones en los periféricos del microcontrolador, los cuales estarán conectados a los diferentes módulos del sistema implementado.

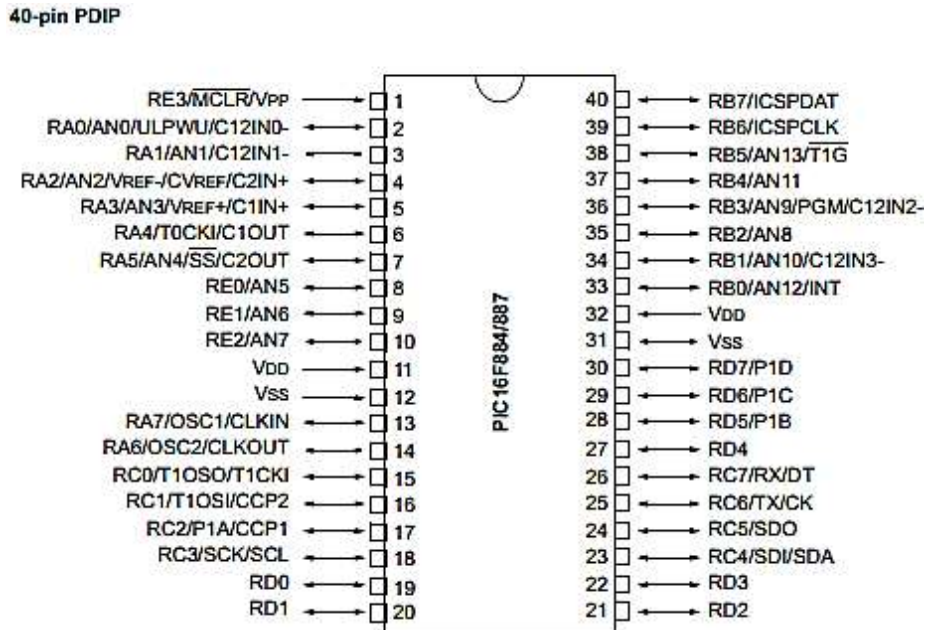
4.2.1. Microcontrolador PIC16F887

Pertenece a la familia de controladores PIC16, los cuales se caracterizan por su bajo precio, alta disponibilidad y calidad, motivos por los cuales será el microcontrolador utilizado en el sistema implementado.

Entre las características del microcontrolador PIC16F887 destacan:

- Arquitectura RISC con 35 instrucciones diferentes.
- Frecuencia de operación de 0 a 20 MHz.
- Oscilador interno de alta precisión seleccionado por software de 31 KHz a 8MHz.
- Voltaje de alimentación de 2 a 5,5 V.
- Ahorro de energía en el modo de suspensión.
- BOR con opción de control por software.
- 35 pines de entrada/salida con interrupciones programables y resistencias *pull-up* programables individualmente por software.
- ROM de 8 K con tecnología FLASH, capaz de reprogramarse hasta 100 000 veces.
- 256 bytes de EEPROM capaz de grabarse más de 1 000 000 de veces.
- 368 bytes de memoria RAM.
- Convertidor analógico/digital de 14 canales con 10 bits de resolución.
- 3 temporizadores/contadores independientes.
- Módulo comparador analógico.
- Módulo PWM incorporado.
- Módulo USART mejorado capaz de soportar comunicaciones seriales RS-485, RS-232 y LIN2.0, así como autodetección de baudios.
- MSSP capaz de soportar los modos SPI e I2C.

Figura 23. Diagrama de pines del PIC16F887



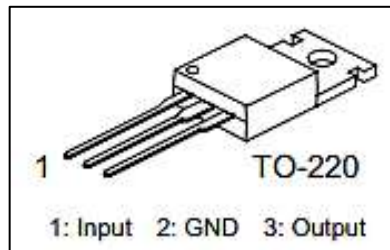
Fuente: MICROCHIP PIC16F882/883/884/886/887. Data Sheet. p. 6.

4.2.2. Circuito de alimentación de la unidad de procesamiento de información

Debido a que el microcontrolador PIC16F887 trabaja con un voltaje directo de 5 V, es necesaria la construcción de un circuito de alimentación utilizando un regulador de voltaje fijo de 5 V y otros dispositivos, como un led indicador de encendido o apagado, diodos rectificadores y capacitores para filtrar el voltaje de entrada y salida del regulador.

El regulador utilizado en el circuito de alimentación es un LM7805 en encapsulación TO-220, capaz de proporcionar un voltaje de salida de 5 V con una corriente máxima de 1 A siempre y cuando el voltaje de entrada se encuentre entre 5 y 18 V.

Figura 24. **Diagrama de pines del LM7805**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

4.2.3. Circuito para la programación del microcontrolador PIC16F887 desde la unidad de procesamiento de información

Debido a que el microcontrolador no utiliza ningún pin especial para su programación, sino que hace uso de los pines de entrada/salida, se incluye dentro de la unidad de procesamiento de información la opción de ICSP que permite programar el microcontrolador sin necesidad de retirarlo de su unidad.

El circuito de programación es sumamente sencillo y hace uso de los pines RB6 y RB7 del microcontrolador para la transmisión de las señales de reloj y datos de programación respectivamente. Asimismo, son necesarios los voltajes VDD de 5 V, GND(0 V) como referencia, VPP (12-14 V) para la programación de la memoria FLASH. Finalmente, se utilizarán un conector IDC macho de 5 pines para suministrar los diferentes voltajes a los pines del microcontrolador, un diodo rectificador de alta velocidad para la protección del programador y del microcontrolador durante la carga del programa, así como algunas resistencias limitadoras de corriente que permitirán la programación del

microcontrolador sin que sea necesaria la desconexión de los módulos conectados al mismo.

4.2.4. Otros componentes de la unidad de procesamiento de información

La unidad de procesamiento de información cuenta con otras opciones que permiten ir agregando determinadas características para modificar o mejorar su funcionamiento, entre estas destacan:

- Oscilador externo: el circuito de la unidad de procesamiento de información cuenta con la opción de soldar dos osciladores de cristal, los cuales entrarán en funcionamiento mediante los *jumpers* asignados a cada uno de los osciladores.
- Reinicio del microcontrolador: esta opción está constituida por un arreglo de resistencias y un *push button* normalmente abierto, los cuales se encargan de enviar determinado voltaje al *master clear* del microcontrolador (pin RE3) para reiniciar la operación del mismo.
- Salidas de 5 V: esta unidad cuenta con dos salidas reguladas de 5 V para la alimentación de algún componente o módulo del sistema.

4.2.5. Conexiones del microcontrolador PIC16F887

Cada uno de los pines del microcontrolador se conecta, mediante las pistas de cobre del circuito impreso de la unidad de procesamiento de información, a diversos conectores IDC machos u otros componentes electrónicos.

Estas conexiones permitirán llevar a cabo la correcta interacción de señales eléctricas que permitirán el intercambio de la información necesaria

para el control de los distintos procesos o dispositivos que conforman el sistema implementado. La siguiente tabla describe el uso de los pines del microcontrolador, así como sus respectivas conexiones.

Tabla IV. **Descripción de las conexiones del microcontrolador**

Pin	Conexión hacia	Función
RE3	R4	Conexión con el circuito de reinicio del microcontrolador.
RA0	I/O PORT A.(1)	Salida de la señal de control para el módulo de acoplamiento de señal de la función de detección de intrusos.
RA1	I/O PORT A.(2)	Salida de la señal de control para el módulo de acoplamiento de señal de la función de alarma contra incendios.
RA2	I/O PORT A.(3)	Salidas de la señales de control para el módulo de acoplamiento de señal para controlar el portón eléctrico.
RA3	I/O PORT A.(4)	
RA4	I/O PORT A.(5)	Salida de la señal de control para el módulo de acoplamiento de señal de la función de la bomba hidráulica.
RA5	I/O PORT.(6)	Salida de la señal de control para el módulo de acoplamiento de señal de la función del sistema de riego.
VDD	Polo positivo del terminal <i>block</i> de alimentación	Conexión del voltaje positivo de la fuente de alimentación.
VSS	Polo negativo del terminal <i>block</i> de alimentación	Conexión del voltaje de referencia de la fuente de alimentación.
RA7	Pin 1 - <i>Jumper</i> oscilador externo	Conexión al pin 1 del <i>jumper</i> que conecta con el cristal de 20 MHz.
	I/O PORT A.(8)	Salidas de la señales de control para el módulo de acoplamiento de señal de la persiana.
RA6	I/O PORT A.(7)	
	Cristal 20MHz	Conexión al cristal de 20 MHz.
RC0	I/O PORT C.(1)	Ninguna.
RC1	I/O PORT C.(2)	Salida de la señal de control para el módulo de acoplamiento de señal para la ventilación.
RC2	I/O PORT C.(3)	Ninguna.
RC3	I/O PORT C.(4)	Ninguna.
RD0	I/O PORT D.(1)	Salida de la señal de control para el módulo de acoplamiento de señal de las luces del jardín.
RD1	I/O PORT D.(2)	Salida para controlar la luz de la puerta.
RD2	I/O PORT D.(3)	Salida para controlar la luz de la sala.
RD3	I/O PORT D.(4)	Salida para controlar la luz del comedor.

Continuación de la tabla IV.

RC4	I/O PORT C.(5)	Ninguna.
RC5	I/O PORT C.(6)	Ninguna.
RC6	I/O PORT C.(7)	Conexión con RX del módulo receptor <i>bluetooth</i> .
RC7	I/O PORT C.(8)	Conexión con TX del módulo receptor <i>bluetooth</i> .
RD4	I/O PORT D.(5)	Salida para controlar la luz de las gradas
RD5	I/O PORT D.(6)	Salida para controlar la luz de la habitación.
RD6	I/O PORT D.(7)	Salida para controlar la luz de la cocina.
RD7	I/O PORT D.(8)	Ninguna.
VSS	GND	Conexión del voltaje de referencia de la fuente de alimentación.
VDD	Vcc	Conexión del voltaje positivo de la fuente de alimentación.
RB0	I/O PORT B.(1)	Ninguna.
RB1	I/O PORT B.(2)	Ninguna.
RB2	I/O PORT B.(3)	Ninguna.
RB3	I/O PORT B.(4)	Ninguna.
RB4	I/O PORT B.(5)	Entrada de bit 1 del CM8870.
RB5	I/O PORT B.(6)	Entrada de bit 2 del CM8870.
RB6	R2	Limitar la corriente que pudiera llegar al componente conectado al pin RB6 durante la programación del microcontrolador.
	ICSP(5)	Transmisión de las señales de reloj durante el proceso de programación del microcontrolador.
	I/O PORT B.(7)	Entrada de bit 3 del CM8870.
RB7	R1	Limitar la corriente que pudiera llegar a los componentes o módulos conectados al pin RB7 durante la programación del microcontrolador.
	ICSP(4)	Transmisión de las señales de datos durante el proceso de programación del microcontrolador.
	I/O PORT B.(8)	Entrada de bit 4 del CM8870.

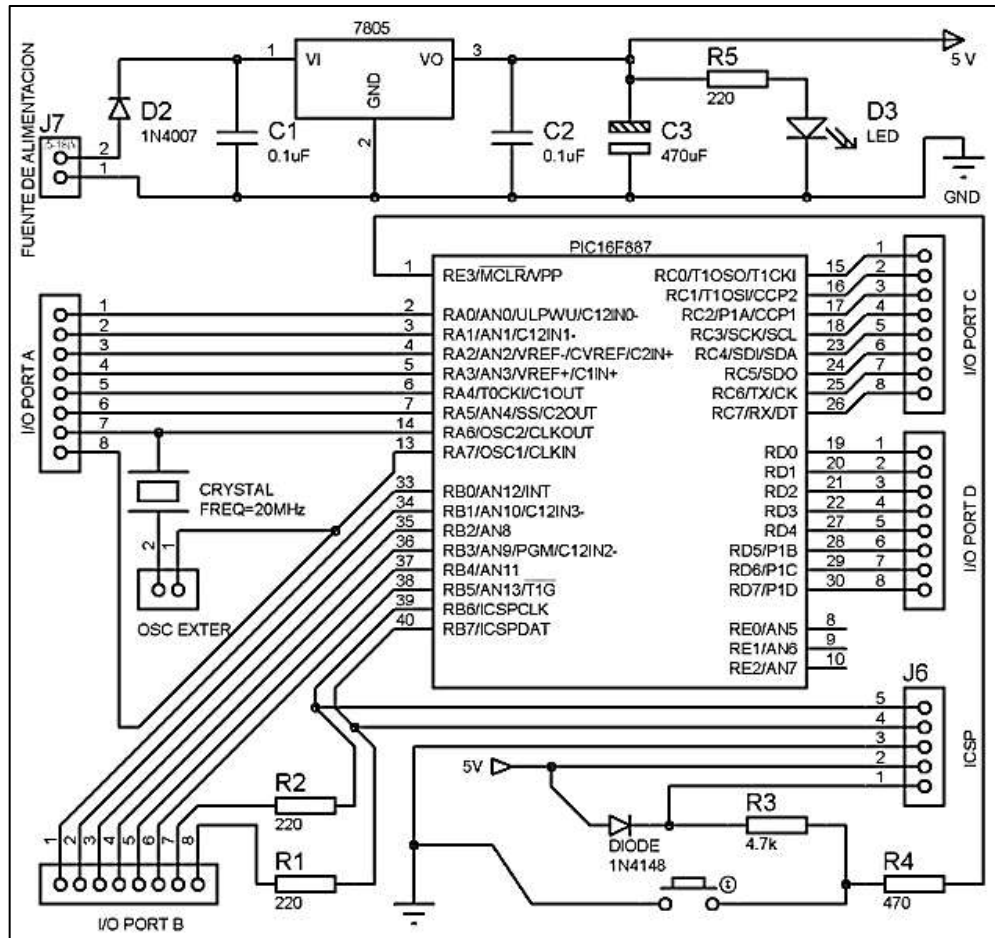
Fuente: elaboración propia.

4.2.6. Circuito impreso de la unidad de procesamiento de información

La figura 25 muestra el diagrama completo de la unidad de procesamiento de información donde se observan todas las conexiones existentes entre el microcontrolador PIC16F887, los circuitos auxiliares y los demás componentes

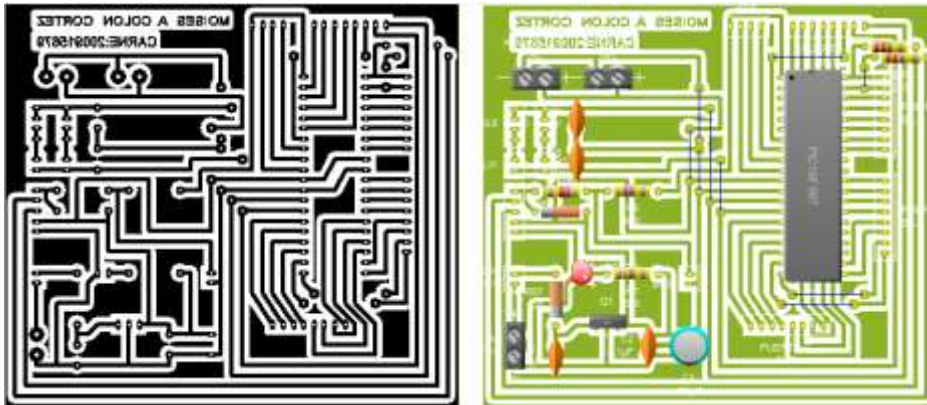
mencionadas en la tabla IV. Además, la figura 26 muestra el diagrama del circuito impreso de la unidad.

Figura 25. Diagrama de la unidad de procesamiento de información



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 26. **Diagrama del circuito impreso de la unidad de procesamiento de información**



Fuente: elaboración propia, empleando Sketchup.

4.2.7. PCW COMPILER

PCW es un IDE propiedad de CCS, Inc, el cual está optimizado para los PIC MCU de 8 bits como el PIC16F887 utilizado. Este software proporciona una optimización en el tamaño de la memoria de instrucciones utilizada por el programa, así como la posibilidad de acceder a todos los recursos que provee el microcontrolador, por medio de su gran cantidad de librerías y funciones integradas.

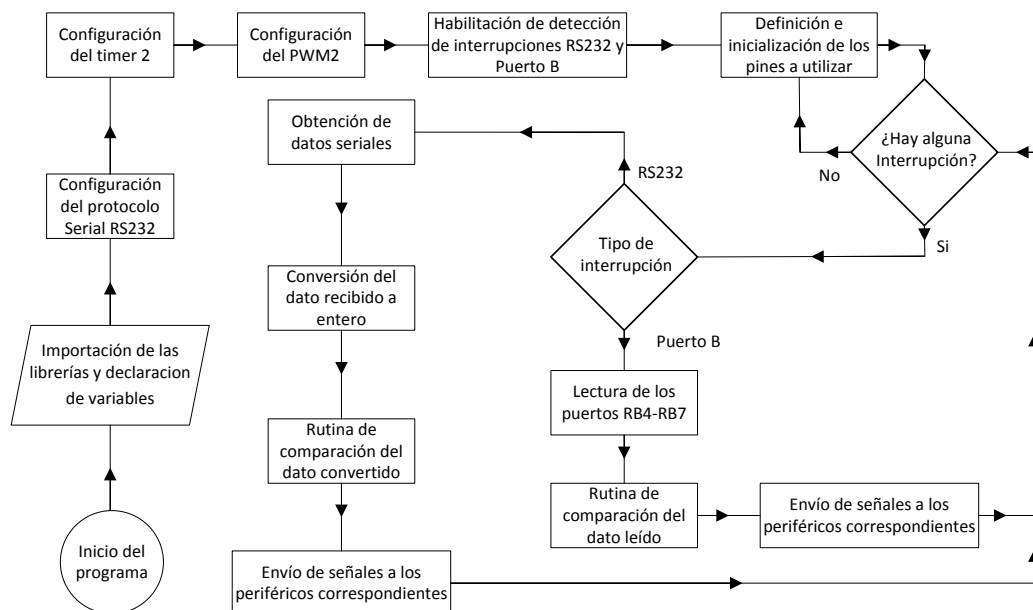
4.2.8. Programación del microcontrolador PIC16F887

El microcontrolador PIC16F887 es el cerebro de la unidad de procesamiento de información, pues lleva a cabo la recepción de las señales provenientes de los módulos receptores para el control local y remoto del sistema, las cuales serán finalmente analizadas para que puedan realizarse las acciones correspondientes en los periféricos del microcontrolador.

El código de programación del microcontrolador consiste en una secuencia de interrupciones e instrucciones, las cuales serán descritas y representadas gráficamente a lo largo de esta sección. La programación conlleva específicamente la siguiente secuencia:

- Importación de librerías y declaración de variables a utilizar.
- Configuración de módulos PWM, módulo serial RS-232 y *timers*.
- Habilitación de la interrupción serial y del puerto B.
- Detección de alguna interrupción.
- Lectura y comparación de los datos recibidos.
- Envío de las señales a los periféricos correspondientes de acuerdo al dato recibido.

Figura 27. **Diagrama de flujo de la programación del microcontrolador PIC16F887**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

4.2.9. Descripción de los comandos utilizados en la programación del microcontrolador PIC16F887

Los comandos utilizados en el código de programación del microcontrolador son los siguientes:

- `#include <string.h>`: importación de la biblioteca estándar que contiene la definición de macros, constantes, funciones para trabajar con cadenas de caracteres.
- `#include <stdlib.h>`: importación de biblioteca estándar que contiene los prototipos de funciones de C para gestión de conversiones, memoria, control de procesos, ordenación, búsqueda y matemáticas.
- `#byte TRISxxx`: definición de la dirección de registro del puerto “xxx”.
- `#bit Rxx = puerto_xx.y`: definición del nombre con el que se trabajará al bit “y” del puerto “xx”.
- `#int_RB`: declaración de la interrupción por hardware del puerto B.
- `void main`: método principal del programa.
- `void RB_isr(void)`: función de interrupción del puerto B.
- `void pwms(void)`: función del control de PWM.
- `int abc`: declaración de las variables “abc” como número entero de 8 bits.
- `int16 def`: declaración de las variables “def” como número entero de 16 bits.
- `long abcde[x]`: declaración de la variable “abcde” como una cadena de texto de longitud 2.
- `switch ()`: declaración de una sentencia de múltiple decisión.
- `output_low(PIN_x)`: cambio de estado del pin “x” a bajo.
- `setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1)`: sentencia de definición del reloj interno como fuente y asignación del valor 1 al *preescaler*.
- `setup_timer_1(T1_DISABLED)`: deshabilitación del *timer* 1.

- *setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,39,1)*: sentencia de definición del valor 1 al preescaler del *timer 2*, un periodo de 39 ns y un valor de 1 al *postescaler*.
- *setup_ccp2(CCP_PWM)*: sentencia de configuración del módulo *Capture-Compare-PWM 2* como PWM.
- *set_pwm2_duty()*: configuración del ciclo de trabajo del PWM 2.
- *setup_comparator(NC_NC_NC_NC)*: sentencia de desactivación de los comparadores.
- *enable_interrupts(INT_RDA)*: habilitación de la interrupción por dato recibido seriamente mediante el protocolo RS-232.
- *enable_interrupts(INT_RB)*: habilitación de la interrupción por cambio de estado en los bit 4, 5, 6 Y 7 del puerto B.
- *enable_interrupts(GLOBAL)*: sentencia para permitir la ejecución de las interrupciones previamente habilitadas.
- *set_tris_x(0bx0)*: configuración de los pines del puerto “x” como entrada o salida (1 y 0 respectivamente).
- *puerto_x= y*: asignación del valor “y” al puerto “x”.
- *fgets (x,y)*: asignación del valor leído en el protocolo “y” a la variable “x”.
- *x=atol(y)*: conversión de la variable “y” a un variable “x” del tipo entero de 16 bits.
- *if ()*: declaración de la una sentencia “if” para una toma de decisión.
- *while(true)*: declaración de una sentencia de iteración.

4.2.10. Parámetros de compilación en PCW COMPILER

Una vez terminada la programación, será necesaria su compilación para generar un archivo (.hex), el cual se cargará finalmente en el microcontrolador mediante un dispositivo programador de microcontroladores. Los parámetros de compilación son los siguientes:

- `#FUSES NOWDT`: *watch dog timer* deshabilitado.
- `#FUSES INTRC_IO`: uso del oscilador interno.
- `#FUSES NOMCLR`: uso del pin de *master clear* como entrada/salida.
- `#use delay(clock=8000000)`: configuración del oscilador interno a 8 MHz.
- `#users232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8,stream=blue,errors)`: configuración del protocolo serial RS-232 con una tasa de baudios de 9600, sin bit de paridad, pin 6 del puerto C como Tx, pin 7 del puerto C como Rx y 8 bits de datos.

4.3. Desarrollo del módulo receptor para el control local

El módulo receptor para el control local es el encargado de recibir a través de señales *bluetooth* los datos enviados por el teléfono inteligente, así como de entregarlos mediante el protocolo serial RS-232 al microcontrolador PIC16F887. El desarrollo de este módulo es quizás el más sencillo de todo el sistema implementado, debido a que está formado por un único dispositivo, específicamente el módulo JY-MCU BT BOARD V1.04.

4.3.1. Módulo *bluetooth* JY-MCU BT BOARD V1.04

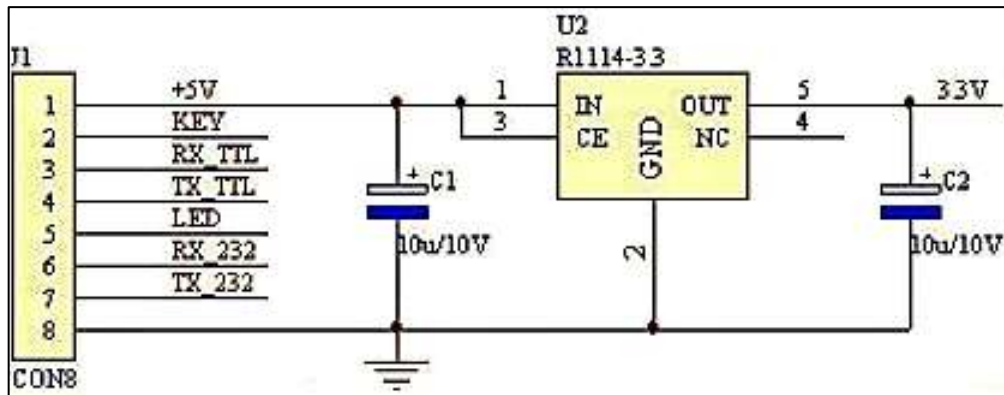
El módulo *bluetooth* utilizado en el sistema implementado se caracteriza por ser un dispositivo fácil de obtener, económico y sencillo de utilizar, además, entre sus ventajas destacan su pequeño tamaño, sus buenas características de transmisión y recepción, así como su bajo consumo de corriente.

El módulo está compuesto por un circuito de alimentación capaz de proporcionar los niveles de voltajes necesarios para que los otros dos componentes del módulo, un transreceptor *bluetooth* y un circuito encargado de la conversión de niveles de voltaje RS-232 a niveles TTL.

4.3.1.1. Alimentación del módulo *bluetooth*

Debido a que tanto el transreceptor *bluetooth* como el circuito de conversión de niveles RS-232 a niveles TTL del módulo JY-MCU BT BOARD V1.04 trabajan con 3,3 V, el módulo cuenta con un circuito electrónico capaz de proporcionar este nivel de voltaje mediante la utilización de un regulador de voltaje de la serie R1114 de 3,3 V, así como dos capacitores para el filtrado de los voltajes de entrada y salida del regulador de voltaje.

Figura 28. Circuito de alimentación del módulo *bluetooth*



Fuente: Guangzhou HC Information Technology, Co. Ltd. *Module data sheet model HC-06 Rev 2.2.* p. 11.

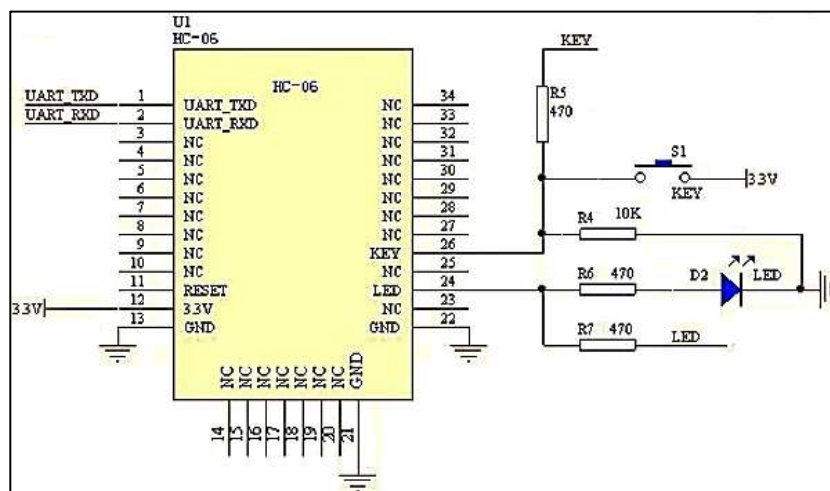
4.3.1.2. Transreceptor *bluetooth* HC-06

El transreceptor *bluetooth* HC-06 es el componente del módulo JY-MCU BT BOARD V1.04 encargado de transmitir y recibir las señales *bluetooth* desde y hacia el teléfono inteligente que tenga instalada la aplicación TGMC, el transreceptor presenta las siguientes características:

- Potencia de salida de -4 a +6 dBm.
- Cuenta con un módulo *enhanced data rate* (EDR) para acelerar la transferencia de datos hasta el rango de los 2 y 3 Mbps.
- Cuenta con una antena integrada de 2,4 GHz.

El transreceptor HC-06 cuenta además con algunos diodos emisores de luz cuya función es mostrar su estado actual, específicamente un parpadeo constante de los mismos significa que el módulo está en espera de establecer alguna conexión *bluetooth*, mientras que si los diodos emisores de luz permanecen encendidos, significa que la conexión *bluetooth* se encuentra establecida. Finalmente, el transreceptor está conectado a un circuito formado por un arreglo de resistencias y un pulsador, los cuales permiten el envío de comandos AT para modificar la configuración de fábrica del mismo.

Figura 29. **Circuito del transreceptor *bluetooth* HC-06**



Fuente: Guangzhou HC Information Technology, Co. Ltd. *Module data sheet model*

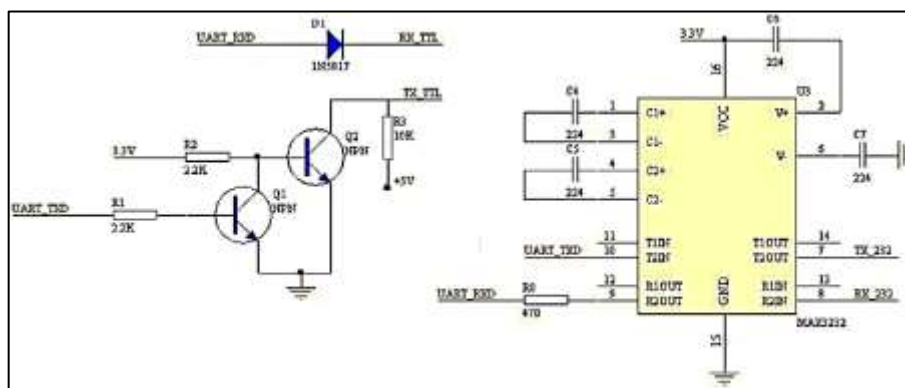
HC-06 Rev 2.2. p. 11.

4.3.1.3. Circuito conversor de niveles de voltaje

Debido a que el transreceptor HC-06 posee una interfaz de comunicación serial que maneja diferentes niveles de voltaje a otros componentes electrónicos con interfaz serial, el módulo *bluetooth* JY-MCU BT BOARD V1.04 cuenta internamente con un circuito encargado de convertir los niveles de voltaje utilizados por el transreceptor a niveles de voltaje TTL.

Para dicha conversión, el módulo *bluetooth* utiliza el circuito integrado MAX232 que funcionalmente actúa como la interfaz de transmisión y recepción de las señales seriales. El circuito integrado cuenta con salidas capaces de manejar niveles de voltaje RS-232 (± 8 V comúnmente) producidos a partir del voltaje de alimentación del mismo, del uso de duplicadores e inversores de voltaje internos, así como algunos capacitores externos. Finalmente, el circuito integrado también posee entradas capaces de manejar niveles de voltaje RS-232 (± 30 V como máximo) que se convierten a niveles de voltaje TTL (0 y 5 V) mediante el uso algunas resistencias y compuertas negadoras.

Figura 30. **Circuito conversor de niveles RS-232 a niveles TTL**



Fuente: Guangzhou HC Information Technology, Co. Ltd. *Module data sheet model*

HC-06 Rev 2.2. p. 11.

4.3.2. Conexión entre el módulo JY-MCU BT BOARD V1.04 y la unidad de procesamiento de información

Algunos pines del módulo JY-MCU BT BOARD V1.04 se conectan mediante cables IDC con conectores hembra-hembra en sus extremos, a los conectores IDC machos de la unidad de procesamiento de información y a las salidas de alimentación de dicha unidad. Estas conexiones permitirán alimentar dicho módulo y permitirán el intercambio de información entre ambos. La siguiente tabla describe la función de cada uno de los pines del módulo *bluetooth*, así como sus respectivas conexiones.

Tabla V. Descripción de las conexiones del módulo *bluetooth* JY-MCU BT BOARD V1.04

Pin	Conexión hacia	Función
State	Sin conexión	Indicar el estado del módulo mediante un led externo.
RXD	I/O PUERTO C.(8) de la unidad de procesamiento de información.	Conexión con TX del microcontrolador para el intercambio de información mediante el protocolo serial RS-232.
TXD	I/O PUERTO C.(7) de la unidad de procesamiento de información.	Conexión con RX del microcontrolador para el intercambio de información mediante el protocolo serial RS-232.
GND	GND de la salida de voltaje de la unidad de procesamiento de información.	Alimentar el módulo <i>bluetooth</i> con el voltaje de referencia de la salida de voltaje de la unidad de procesamiento de información.
Vcc	5 V de la salida de voltaje de la unidad de procesamiento de información	Alimentar el módulo <i>bluetooth</i> con los 5 V de la salida de voltaje de la unidad de procesamiento de información.

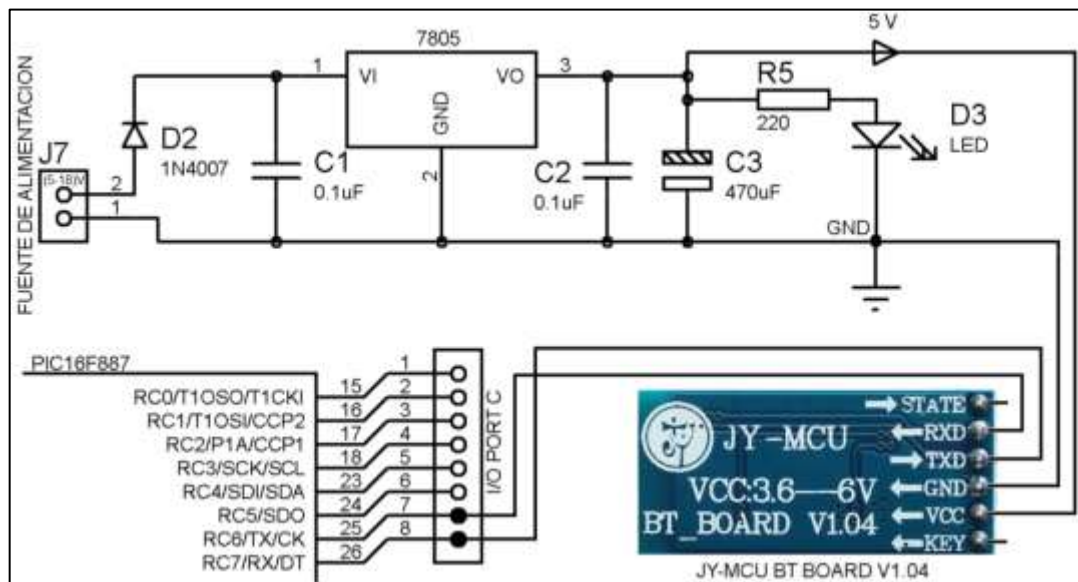
Continuación de la tabla V.

Key	Sin conexión	Protección para la configuración del módulo mediante comandos AT.
-----	--------------	---

Fuente: elaboración propia.

La figura 31 muestra el hardware que comprende el módulo *bluetooth* JY-MCU BT BOARD V1.04, así como todas las conexiones existentes entre el módulo y la unidad de procesamiento de información.

Figura 31. **Conexiones entre el módulo JY-MCU BT BOARD V1.04 y la unidad de procesamiento de información**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

4.4. Desarrollo del módulo receptor para el control remoto

El módulo receptor para el control remoto es el encargado de recibir, a través de llamadas telefónicas a un teléfono celular instalado en el hogar, los datos enviados por el teléfono inteligente al momento de presionar su teclado DTMF mediante la aplicación TGMC. Finalmente, el módulo deberá entregar estos datos a la unidad de procesamiento de información, mediante su conexión e interacción con el microcontrolador PIC16F887 y sus interrupciones por hardware.

4.4.1. Recepción de llamadas telefónicas

Como se mencionó anteriormente, la recepción de las llamadas telefónicas originadas en el teléfono inteligente es realizada por un teléfono celular receptor que se encuentra instalado en el hogar y que funcionalmente actúa como un modem GSM.

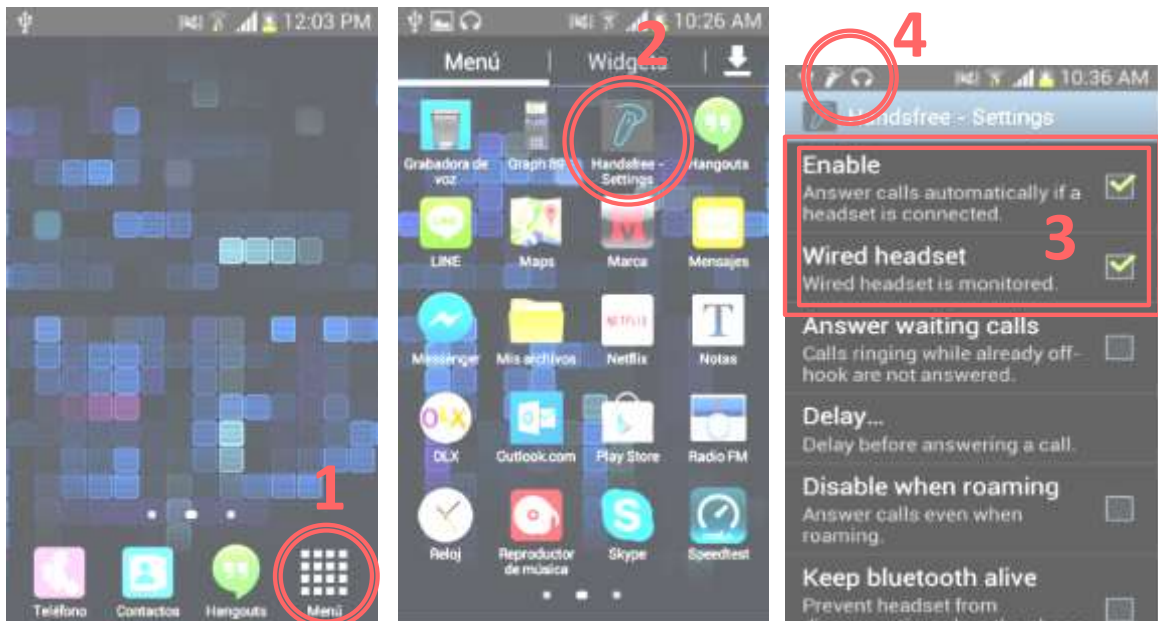
4.4.1.1. Respuesta automática de llamadas telefónicas

Por motivos de funcionalidad y automatización del sistema, el teléfono celular receptor debe tener la capacidad de contestar automáticamente las llamadas que reciba. Para llevar a cabo esta tarea es necesario modificar las opciones de *handsfree* del teléfono celular receptor. Las modificaciones realizadas consisten en la habilitación de las opciones de respuesta automática de llamadas si el teléfono detecta la conexión del auricular, sin embargo, para propósitos del sistema, el auricular será sustituido por un cable de 50 cm de largo con *plug* de 3,5 mm estéreo en ambos extremos.

Uno de los conectores *plug* macho se conectará al teléfono celular receptor y el otro extremo se conectará directamente a la entrada de señal DTMF del módulo receptor para el control remoto del sistema. También es necesario habilitar la opción de monitoreo de conexión de los auriculares en el teléfono celular receptor.

Para modificar estas opciones en el teléfono receptor es necesario dirigirse al menú → *handsfree-settings* → habilitar la opciones *enable* y *wired headset* → verificar las modificaciones. La siguiente figura describe gráficamente este proceso.

Figura 32. **Habilitación de la respuesta automática de llamadas telefónicas**



Fuente: elaboración propia.

4.4.2. Decodificador DTMF CM8870

Las señales transmitidas del teléfono inteligente al teléfono celular receptor instalado en el hogar viajan codificadas a través de la red de telefonía celular, por lo que, para identificar la tecla marcada desde la aplicación TGMC, es necesario llevar a cabo un procedimiento de decodificación. En este caso se utilizará el decodificador DTMF CM8870 para llevar a cabo dicho proceso.

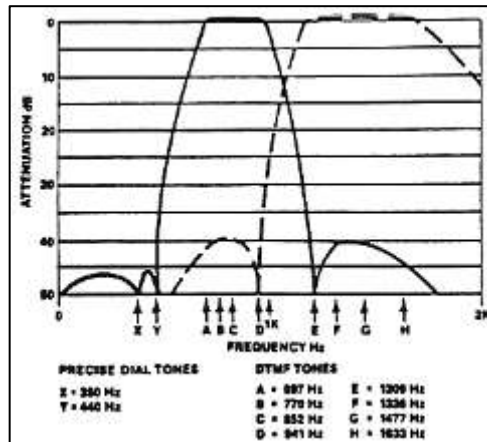
El decodificador DTMF CM8870 presenta determinadas características que lo hacen ideal para el sistema, como un bajo consumo de potencia, capacidad de recibir todos los tonos DTMF existentes y, además, posee tiempos de adquisición y liberación de datos ajustables.

4.4.2.1. Estructura interna del decodificador DTMF CM8870

El decodificador DTMF CM8870 está compuesto internamente por las siguientes secciones:

- Sección de filtrado: esta sección se encarga de separar los tonos de acuerdo a su frecuencia, clasificándolos en un grupo alto y uno bajo, mediante la utilización de dos filtros pasa banda de noveno grado, cuyos anchos de banda corresponden a las frecuencias utilizadas por DTMF. Cada filtro es seguido por otro filtro de grado uno cuya función es suavizar la señal antes de pasar a una etapa de limitación de la señal mediante comparadores de alta ganancia, para evitar la detección de señales de bajo nivel como el ruido.

Figura 33. Características típicas de filtrado



Fuente: California microdevices. *CMOS integrated DTMF Receiver CM8870/70C*. p. 7.

- Sección de decodificación: el decodificador utiliza técnicas de conteo digital para determinar las frecuencias de los tonos recibidos, así como para verificar que los mismos corresponden a frecuencias DTMF válidas. Cuando el detector reconoce la presencia simultánea de dos tonos válidos, se activa la salida de *early steering* (ESt), mientras que si se da una pérdida de señal la salida se desactiva.

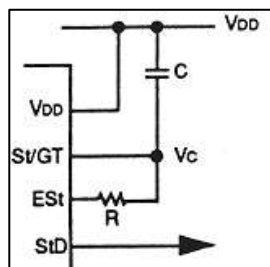
4.4.2.2. Circuitos externos del decodificador DTMF CM8870

El decodificador DTMF CM8870 necesita de los siguientes circuitos externos para operar correctamente:

- Circuito de gobierno: antes de registrar un par de tonos se lleva a cabo una verificación para saber que la duración de la señal es válida, para esto se utiliza un circuito temporizador RC externo fijo controlado por la

salida de *early steering* (Est). Un estado alto en Est provoca que el capacitor C empiece a descargarse. Si se mantiene esta condición durante un periodo de validación, el voltaje del capacitor C seguirá disminuyendo hasta alcanzar el voltaje de umbral (V_{TSt}), el cual registra el par de tonos y coloca en la salida el código de 4 bits correspondientes a los tonos detectados, para mayor referencia ver la figura 35.

Figura 34. **Circuito básico de gobierno**



Fuente: California microdevices. *CMOS integrated DTMF Receiver CM8870/70C*. p. 7.

Figura 35. **Tabla de salidas del decodificador CM8870**

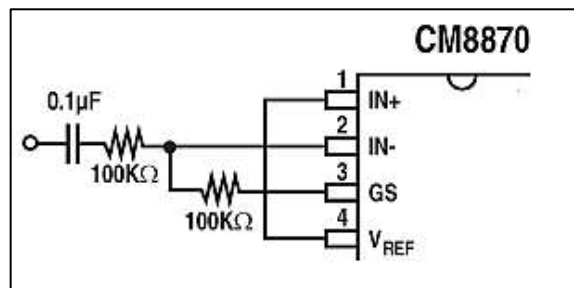
F _{LOW}	F _{HIGH}	KEY	TOW	Q ₄	Q ₃	Q ₂	Q ₁
697	1209	1	H	0	0	0	1
697	1336	2	H	0	0	1	0
697	1477	3	H	0	0	1	1
770	1209	4	H	0	1	0	0
770	1336	5	H	0	1	0	1
770	1477	6	H	0	1	1	0
852	1209	7	H	0	1	1	1
852	1336	8	H	1	0	0	0
852	1477	9	H	1	0	0	1
941	1209	0	H	1	0	1	0
941	1336	-	H	1	0	1	1
941	1477	#	H	1	1	0	0
697	1633	A	H	1	1	0	1
770	1633	B	H	1	1	1	0
852	1633	C	H	1	1	1	1
941	1633	D	H	0	0	0	0
-	-	ANY	L	Z	Z	Z	Z

L = logic Low, H = Logic High, Z = High Impedance

Fuente: California microdevices. *CMOS integrated DTMF Receiver CM8870/70C*. p. 7.

- Circuito de entrada: este circuito se encarga de recibir la señal DTMF proveniente de la salida de audio del teléfono celular receptor instalado en el hogar, como se utilizará una configuración de entrada simple, el integrado debe conectarse de acuerdo a la figura 36, con ganancia unitaria y con V_{REF} polarizando la entrada.

Figura 36. **Configuración de entrada simple**



Fuente: California microdevices. *CMOS integrated DTMF Receiver CM8870/70C*. p. 6.

- Circuito de reloj: el circuito de reloj interno se completa con la adición de un oscilador de cristal o cerámico externo.

4.4.2.3. Conexiones del decodificador CM8870

Cada uno de los pines del decodificador DTMF CM8870 se conecta mediante las pistas de cobre del circuito impreso del módulo receptor para el control remoto a diversos conectores IDC machos u otros componentes electrónicos. Estas conexiones permitirán llevar a cabo la correcta interacción de señales eléctricas, las cuales permitirán el intercambio de la información necesaria para el control de los distintos procesos o dispositivos que conforman el sistema implementado. La tabla VI describe el uso de los pines del CI CM 8870, así como su respectiva conexión.

Tabla VI. **Descripción de las conexiones del decodificador DTMF CM8870**

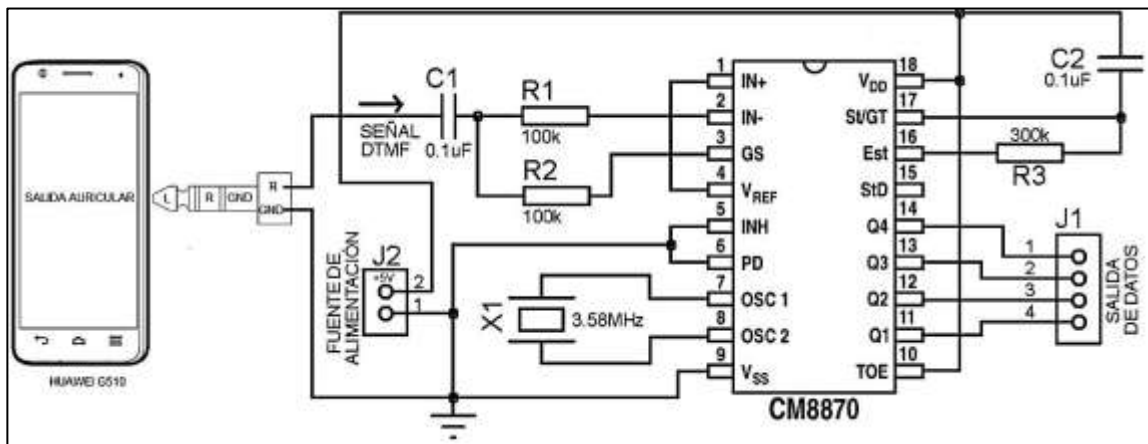
Pin	Conexión hacia	Función
IN +	Pin 4 CM8870 (VREF)	Circuito de entrada simple.
IN -	Arreglo de resistencias	Circuito de entrada simple.
GS	R2 del circuito de entrada	Establecer la ganancia del amplificador diferencial de entrada igual a la unidad.
VREF	Pin 1 CM8870 (IN +)	Definición de un circuito de entrada simple.
INH	GND	Desactivación de la inhibición de detección de los tonos de las teclas A, B, C y D.
PD	GND	Desactivación del apagado del dispositivo, así como desactivación de la inhibición del oscilador externo.
OSC1	Oscilador de cristal terminal 1	Conexión con el oscilador de cristal de 3.579545 MHz para completar el circuito de reloj interno.
OSC2	Oscilador de cristal terminal 2	
VSS	Polo negativo del terminal block de alimentación (GND)	Alimentar el CI CM8870 con el voltaje de referencia de la fuente de alimentación.
TOE	5 V	Habilitación de las resistencias internas de <i>pull-up</i> de las salidas Q1, Q2, Q3 y Q4.
Q1	SALIDA DE DATOS (1)	Interconexión con el I/O PUERTO B.(4) de la unidad de procesamiento de información para el intercambio de información en el modo de control remoto.
Q2	SALIDA DE DATOS(2)	Interconexión con el I/O PUERTO B.(5) de la unidad de procesamiento de información para el intercambio de información en el modo de control remoto.
Q3	SALIDA DE DATOS(3)	Interconexión con el I/O PUERTO B.(6) de la unidad de procesamiento de información para el intercambio de información en el modo de control remoto.
Q4	SALIDA DE DATOS(4)	Interconexión con el I/O PUERTO B.(7) de la unidad de procesamiento de información para el intercambio de información en el modo de control remoto.
StD	Sin conexión	Ninguna.
Est	RXX del circuito temporizador RC	Salida del circuito de gobierno para la verificación de que los tonos recibidos tengan la duración válida para los tonos DTMF.
St/Gt	Circuito temporizador RC	Entrada del circuito de gobierno que habilita el registro del par de tonos detectados.
VDD	Polo positivo del terminal block de alimentación (5 V)	Alimentar el CI CM8870 con 5 V de la fuente de alimentación.

Fuente: elaboración propia.

4.4.3. Circuito impreso del módulo receptor para el control remoto

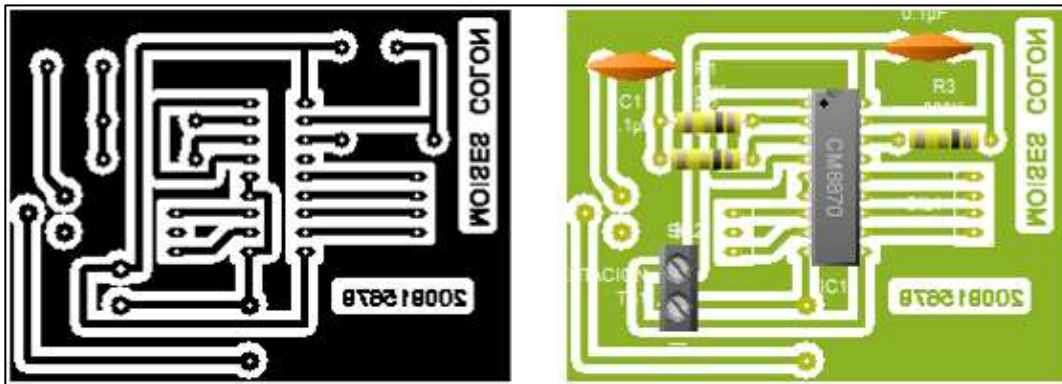
La figura 37 muestra el diagrama completo del módulo receptor para el control remoto, donde se observan todas las conexiones existentes entre el CI CM8870, los circuitos externos y los demás componentes mencionadas en la tabla VI. También se detalla la conexión existente entre la salida de audio de 3,5 mm del teléfono celular receptor y el módulo receptor para el control remoto. Luego, en la figura 38 se muestra el diagrama del circuito impreso de la unidad.

Figura 37. Diagrama del módulo receptor para el control remoto



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 38. **Diagrama del circuito impreso del módulo receptor para el control remoto**



Fuente: elaboración propia, empleando Softonic.

4.5. Desarrollo de las unidades de recepción de señales externas

Estas unidades son las encargadas de interactuar con el medio y compartir con la unidad de procesamiento de información los datos recopilados de puntos estratégicos. En esta sección se detalla la información referente a los componentes, configuraciones y circuitos utilizados para desarrollar dichas unidades.

4.5.1. Circuito sensor de temperatura

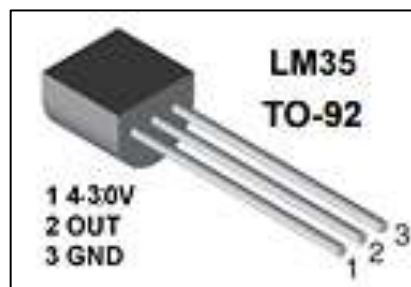
Este circuito es el encargado de activar la alarma del sistema cuando la temperatura ambiente en el hogar supere los 65 °C. La detección de los cambios de temperatura se realiza mediante la utilización de dispositivos dedicados como el sensor de temperatura LM35 y un circuito comparador de voltaje.

4.5.1.1. Sensor de temperatura LM35

El LM35 es un circuito integrado sensor de temperatura el cual proporciona un voltaje de salida lineal proporcional a la temperatura en grados centígrados del ambiente. Este presenta ciertas ventajas que lo hacen idóneo para nuestro sistema, entre estas destacan las siguientes:

- Calibración de fábrica para trabajar en grados centígrados.
- Precisión de entre $\pm \frac{1}{4} \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\pm \frac{3}{4} \text{ }^{\circ}\text{C}$ a lo largo de su rango de temperatura.
- Rango de temperatura de -55 a 150 $^{\circ}\text{C}$.
- Utiliza una sola fuente de alimentación que va desde los 4 a los 30 V en corriente directa.
- Tamaño reducido debido a su encapsulado tipo transistor TO-92.
- Bajo costo.

Figura 39. Diagrama de pines del LM35



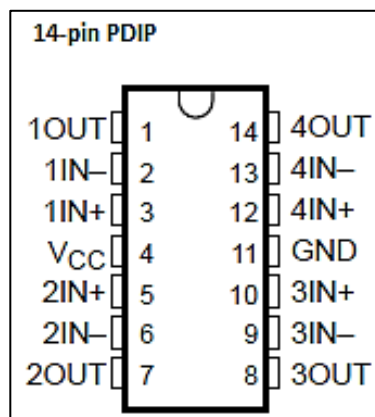
Fuente: elaboración propia, empleando Sketchup.

4.5.1.2. Circuito comparador de voltaje

Se utilizará este circuito debido a que permite trabajar con voltajes de entrada lineales y proporciona una salida digital cuando una de sus dos entradas es menor o mayor que la otra. Para llevar a cabo el circuito comparador de voltaje se utilizó el CI LM324, el cual presenta las siguientes ventajas:

- Utiliza una sola fuente de alimentación que va desde los 3 a los 33 V.
- Cuenta con cuatro amplificadores operacionales empaquetados en un solo CI.
- Amplio rango de voltajes de salida que van desde 0 a los $V_{cc}-1,5$ V.

Figura 40. Diagrama de pines CI LM324



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

4.5.1.3. Conexiones del CI LM324

Los pines utilizados del CI LM324 se conectan mediante las pistas de cobre del circuito impreso de la unidad receptora de señales externas a diversos componentes electrónicos. Estas conexiones posibilitarán llevar a cabo la correcta interacción de señales eléctricas que permitirán el intercambio de la información necesaria para el control de la alarma del sistema. La siguiente tabla describe el uso de los pines del CI LM324, así como su respectiva conexión.

Tabla VII. Descripción de las conexiones del CI LM324

Pin	Conexión hacia	Función
10OUT	Diodo D2	El objetivo de esta salida digital es sacar al CI 555 del estado de reinicio para activar la alarma del sistema, el estado de la misma dependerá de la relación de los voltajes que ingresan a las terminales 1IN+ y 1IN- .
1IN -	Potenciómetro RV1	Proporcionar un voltaje de referencia (VREF) al comparador de voltaje (2,4 V).
1IN+	Terminal 2 LM35 (Out)	Proporcionar un voltaje de entrada (VIN) al comparador de voltaje.
Vcc	Polo positivo del terminal <i>block</i> de alimentación (5 V).	Alimentar el CI LM324 con 5 V de la fuente de alimentación.
GND	Polo negativo del terminal <i>block</i> de alimentación (GND).	Alimentar el CI LM324 con el voltaje de referencia de la fuente de alimentación.

Fuente: elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, la salida digital del comparador de voltaje será utilizada para activar la alarma del sistema. La tabla VIII muestra el comportamiento de la salida digital del comparador de voltaje de acuerdo a la relación de sus dos entradas.

Tabla VIII. **Comportamiento de la salida del comparador de voltaje**

Condiciones	Voltaje de salida
Si $V_{IN} > V_{REF}$	$V_{CC} - 1,5 V$
Si $V_{IN} < V_{REF}$	GND

Fuente: elaboración propia.

4.5.2. **Circuito detector de intrusos**

Este circuito es el encargado de verificar, mediante la utilización de cuatro sensores de contacto ubicados en posiciones específicas del hogar a escala, la presencia, ausencia y paso de los intrusos.

Los sensores de contacto utilizados son finales de carrera, los cuales constan de un actuador unido a una serie de contactos. El funcionamiento del final de carrera se basa en el contacto del actuador y la superficie del hogar a escala. La interacción entre ambos permite la conmutación de la terminal común del final de carrera hacia las terminales normalmente cerrado o normalmente abierto del mismo.

Figura 41. **Diagrama de pines del final de carrera**



Fuente: elaboración propia, empleando Sketchup.

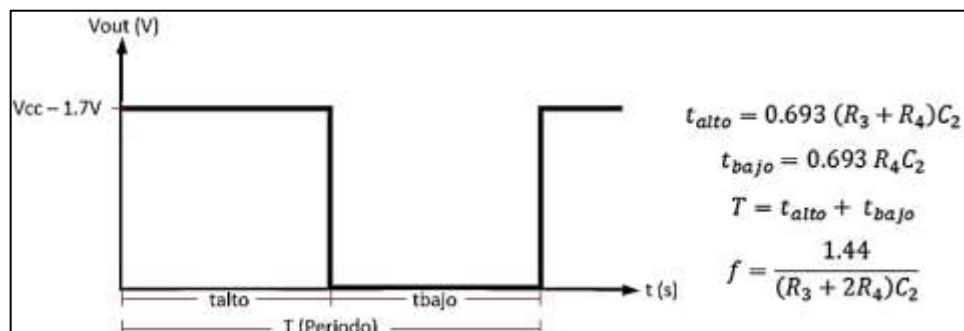
Adicionalmente, es importante destacar que las terminales comunes de cada uno de los cuatro finales de carrera se conectan a una compuerta OR hecha con diodos rectificadores, lo que permite que uno o varios finales de carrera activen la alarma del sistema y a su vez proporcionen una sola señal de activación para la misma.

4.5.3. Circuito de alarma del sistema

Este circuito es el encargado de notificar auditiva y visualmente cuando la temperatura ambiente del hogar a escala supere los 65 °C o cuando los sensores de contacto detecten la presencia de un intruso. El circuito utiliza como base el CI 555 en configuración multivibrador astable, la cual proporciona una señal de salida cuadrada o rectangular de una frecuencia específica. Esta señal de salida se conecta a un led de alta intensidad y a un *buzzer*, de tal manera que la alarma pueda ser vista y escuchada por el usuario final.

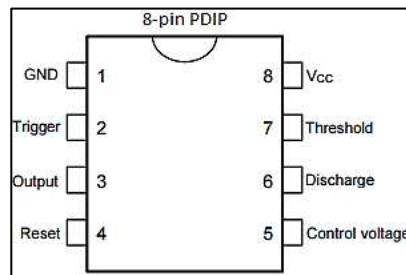
Las características y propiedades de la señal cuadrada, resultado de la salida de la configuración multivibrador *astable*, está dado por las fórmulas descritas en la figura 42.

Figura 42. Fórmulas multivibrador astable



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 43. **Diagrama de pines CI 555**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

4.5.3.1. **Conexiones del CI 555**

Los pines del CI 555 se conectan mediante las pistas de cobre del circuito impreso de la unidad receptora de señales externas a diversos componentes electrónicos. Estas conexiones posibilitarán llevar a cabo la correcta interacción de señales eléctricas, las cuales permitirán el correcto funcionamiento de la alarma del sistema. La tabla IX describe el uso de los pines del CI 555, así como su respectiva conexión.

Tabla IX. **Descripción de las conexiones del CI LM324**

Pin	Conexión hacia	Función
GND	Polo negativo del terminal block de alimentación (GND)	Alimentar el CI 555 con el voltaje de referencia de la fuente de alimentación.
<i>Trigger</i>	Capacitor externo C2	Colocar la salida en estado alto cuando el voltaje de C2 alcance $1/3 V_{cc}$.
<i>Output</i>	Led y <i>Buzzer</i>	Notificar auditiva y visualmente cuando la alarma se active.
<i>Reset</i>	Salida compuerta OR hecha de diodos	Coloca el 555 en estado activo o de reinicio dependiendo del voltaje ingresado a esta terminal.
<i>Control Voltage</i>	N/A	Sin conexión.

Continuación de la tabla IX.

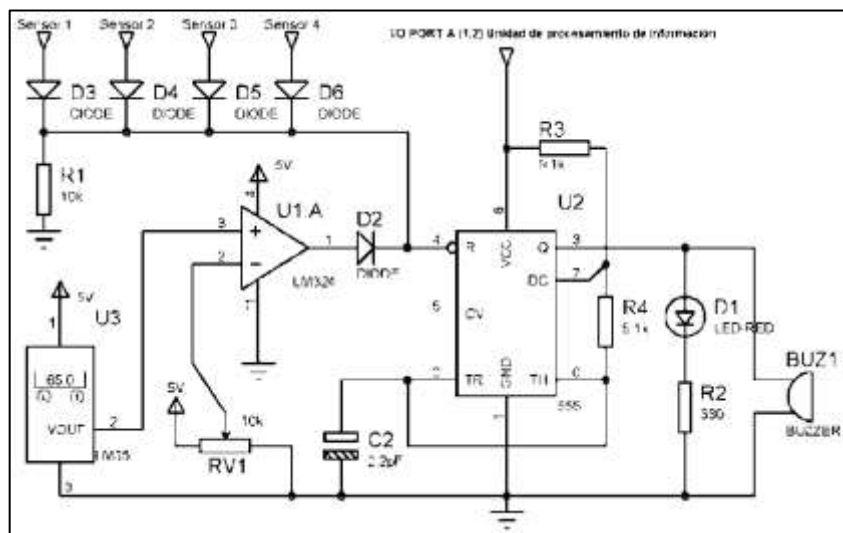
Threshold	Resistencia R3	Colocar la salida en estado bajo cuando el voltaje de C2 alcance los 2/3 Vcc.
Vcc	Polo positivo del terminal <i>block</i> de alimentación (5 V)	Alimentar el CI 555 con 5 V de la fuente de alimentación.

Fuente: elaboración propia.

4.5.4. Circuito impreso de la unidad de recepción de señales externas

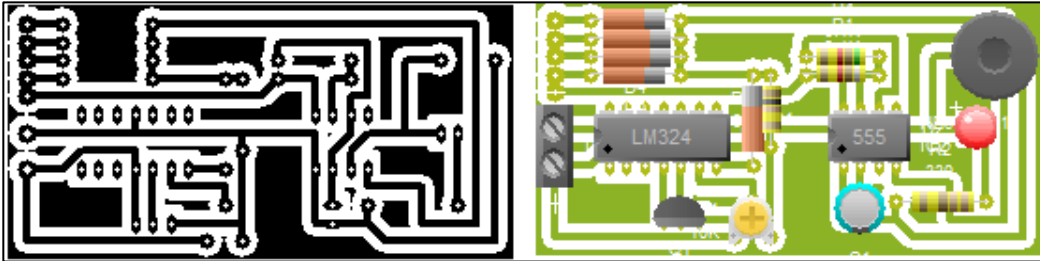
La figura 44 muestra el diagrama completo de la unidad de recepción de señales externas, donde se observan todas las conexiones existentes entre los CI utilizados y los demás componentes mencionadas en las tablas VII y IX. La figura 45 muestra el diagrama del circuito impreso de la unidad.

Figura 44. Diagrama de la unidad de recepción de señales externas



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 45. **Diagrama del circuito impreso de las unidades recepción de señales externas**



Fuente: elaboración propia, empleando Sketchup.

4.6. Desarrollo del módulo de potencia

Este módulo será el encargado de controlar los procesos de luz del jardín, sistema de riego y la bomba hidráulica, haciéndoles llegar las señales adecuadas para su correcta operación mediante la utilización de dispositivos semiconductores como transistores BJT y dispositivos electromecánicos como los relés.

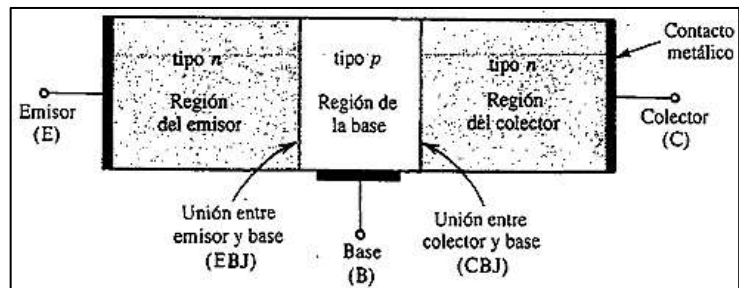
4.6.1. Transistor de unión bipolar (BJT)

El transistor BJT es un dispositivo semiconductor de tres terminales cuyo principio fundamental consiste en que los voltajes entre dos terminales controlan la corriente que circula por la tercera terminal, lo que en otras palabras significa que el transistor BJT actúa funcionalmente como un interruptor.

El transistor BJT consta de tres regiones semiconductoras conectadas en serie; la región del emisor, la región de la base y la región del colector. También

es necesario destacar que de acuerdo al tipo de semiconductor del que esté construida cada región, así será el tipo de transistor BJT. Para el sistema se utilizarán transistores del tipo NPN BC548, cuyas regiones del emisor y colector están construidas a base de un semiconductor tipo n y la región de la base está construida a base de un semiconductor tipo p, para mayor referencia ver la figura 46.

Figura 46. **Estructura simplificada de un transistor NPN**



Fuente: SEDRA, Adel. *Circuitos microelectrónicos*. p. 239.

También es importante destacar que el modo de operación del transistor BJT del tipo NPN dependerá de la manera en que se polaricen las uniones entre base, emisor y colector.

Figura 47. **Modos de operación de un transistor BJT**

Modo	Unión emisor-base	Unión colector-base
Corte	Inversa	Inversa
Activa	Directa	Inversa
Saturación	Directa	Directa

Fuente: SEDRA, Adel. *Circuitos microelectrónicos*. p. 223.

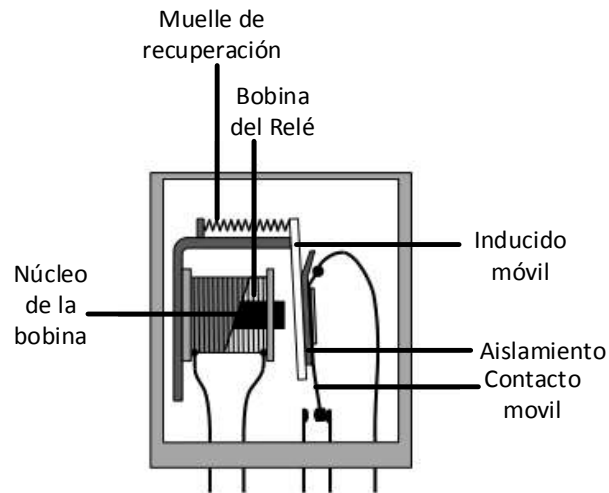
Finalmente, las salidas de la unidad de procesamiento de información destinadas a los dispositivos o procesos que necesitan del módulo de potencia serán las encargadas de definir el modo de operación de los transistores, polarizando con 5 V o 0 V la base de cada uno de los transistores del módulo de acoplamiento de señal, lo que permitirá que los transistores entre en modo de saturación o corte, respectivamente. Estos cambios permitirán o bloquearán el flujo de corriente de emisor a base, lo que polarizará o no las bobinas de cada uno de los tres relés.

4.6.2. Relé

Es un interruptor activado electromagnéticamente compuesto por una bobina con núcleo de hierro, un inducido móvil como elemento de accionamiento mecánico, un muelle de recuperación y contactos fijos de conmutación cuya cantidad dependerá del tipo de relé.

Cuando la bobina es polarizada produce un campo electromagnético que atrae el inducido móvil hacia los contactos fijos de conmutación. Si se interrumpiera la tensión en la bobina, el inducido móvil regresa a su posición original mediante la fuerza ejercida por el muelle de recuperación. El módulo de potencia utilizará 3 relés marca Tiambo Electronics de 5 V del tipo SPDT, capaces de soportar una corriente máxima de 3 A y 120 VAC.

Figura 48. **Estructura de un relé**

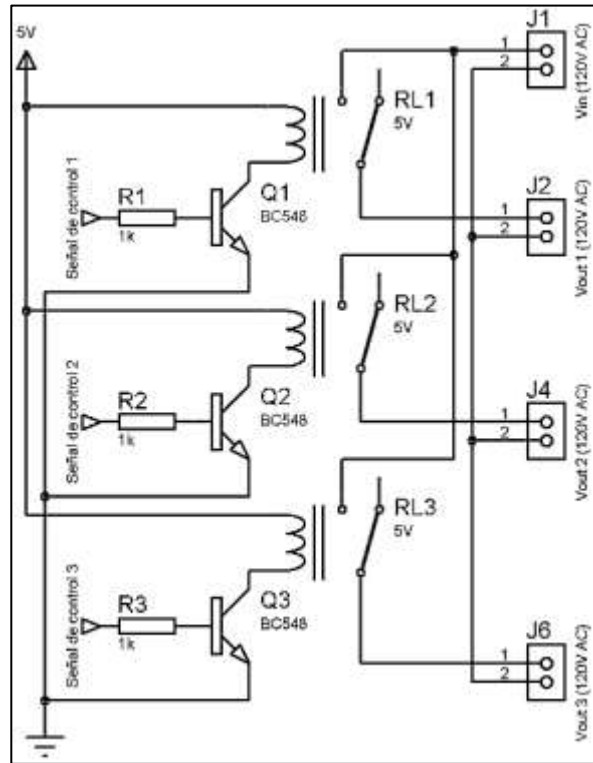


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

4.6.3. **Circuito impreso del módulo de potencia**

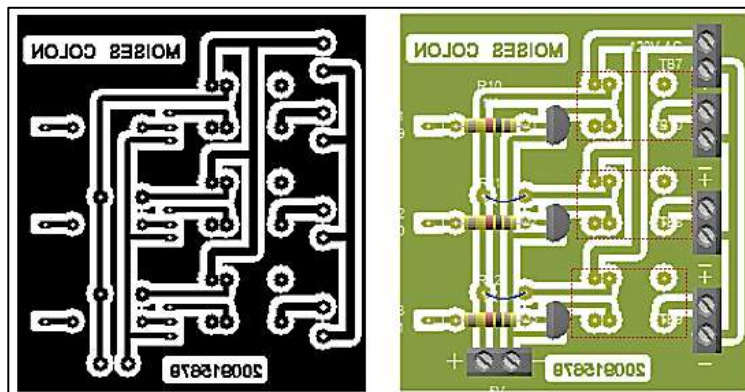
La figura 49 muestra el diagrama completo del módulo de potencia utilizada para controlar los tres dispositivos mencionados al inicio de la sección 4.6, incluyendo resistencias de 1 K-Ohm para limitar la corriente que llega a la base de los transistores BC548. La figura 50 muestra el diagrama del circuito impreso del módulo de potencia.

Figura 49. Diagrama del módulo de potencia



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 50. Diagrama del circuito impreso del módulo de potencia



Fuente: elaboración propia, empleando Sketchup.

4.7. Inversión económica

La inversión económica para la elaboración del sistema incluye únicamente el costo de los componentes de hardware y materiales utilizados, puesto que ya se contaba con las herramientas necesarias y los software utilizados son libres.

4.7.1. Inversión en componentes y materiales electrónicos

La tabla X enlista los componentes electrónicos de la unidad de procesamiento de información; la tabla XI, los componentes electrónicos del módulo receptor para el control local; la tabla XII, los componentes electrónicos del módulo receptor para el control remoto; la tabla XIII, los componentes electrónicos de la unidad de recepción de señales externas; la tabla XIV, los componentes electrónicos del módulo de acoplamiento de señal y, finalmente, la tabla XI enlista los materiales utilizados en la construcción del sistema.

Tabla X. **Listado de componentes electrónicos unidad de procesamiento de información**

Cantidad	Descripción	Costo en quetzales
1	PIC 16F887	55
1	Socket DIP 40 pines	50
3	Bornera 2 terminales	7,5
1	Cristal oscilador 20 MHz	8
1	Conector 1 x 40 IDC macho	8
3	Resistencia 220 ohm ¼ W	1,8
1	Resistencia 470 ohm ¼ W	0,6
1	Resistencia 4700 ohm ¼ W	0,6
1	Diodo 1N4148	1
1	Pulsador normalmente abierto	2,5
1	Diodo 1N4007	1

Continuación de la tabla X.

2	Capacitor 0,1 μ F	2
1	Regulador LM7805	5
1	Capacitor 470 μ F	1,5
1	Led 5mm rojo	1

Fuente: Electrónica El Punto Exclusivo.

Tabla XI. **Listado de componentes electrónicos del módulo receptor para el control local**

Cantidad	Descripción	Costo en quetzales
1	DTMF decoder CM8870	33

Fuente: Electrónica ABC.

Tabla XII. **Listado de componentes electrónicos del módulo receptor para el control remoto**

Cantidad	Descripción	Costo en quetzales
1	DTMF decoder CM8870	33
1	Socket DIP 16 pines	2
1	Bornera 2 terminales	2,5
1	Cristal oscilador 3,58 MHz	8
1	Conector 1 x 4 IDC macho	0,8
2	Resistencia 100 K-ohm $\frac{1}{4}$ W	1,2
2	Capacitor 0,1 μ F	1,5
1	Resistencia 300 K-ohm $\frac{1}{4}$ W	0,6
1	Jack estéreo 3,5 mm para placa	4
1	Cable <i>plug a plug</i> estéreo	10

Fuente: Electrónica ABC.

Tabla XIII. **Listado de componentes electrónicos de la unidad de recepción de señales externas**

Cantidad	Descripción	Costo en quetzales
1	Amplificador operacional LM324	5
1	CI NE555	4,5
1	Sensor de temperatura LM35	25
1	Socket DIP 14 pines	2
1	Socket DIP 8 pines	1
1	Bornera 2 terminales	2,5
5	Diodo rectificador 1N4001	5
1	Conector 1 x 5 IDC macho	1
1	Resistencia 10 K-ohm $\frac{1}{4}$ W	0,6
1	Resistencia 9,1 K-ohm $\frac{1}{4}$ W	0,6
1	Resistencia 5,1 K-ohm $\frac{1}{4}$ W	0,6
1	Resistencia 330 K-ohm $\frac{1}{4}$ W	0,6
2	Capacitor 2,2 pF	2
1	Led 5 mm rojo	1
1	Trimpot 10 K-ohm	3
1	Buzzer 5 V	5
4	Final de carrera	20

Fuente: Electrónica El Punto Exclusivo.

Tabla XIV. **Listado de componentes electrónicos del módulo de acoplamiento de señal**

Cantidad	Descripción	Costo en quetzales
3	Transistor NPN BC548	3
3	Relé de 5 V del tipo SPDT	45
5	Bornera 2 terminales	12,5
5	Diodo rectificador 1N4001	5
3	Conector 1 x 1 IDC macho	0,3
3	Resistencia 1 K-ohm $\frac{1}{4}$ W	1,8

Fuente: Electrónica El Punto Exclusivo.

Tabla XV. **Listado de materiales utilizados en la construcción del sistema**

Cantidad	Descripción	Costo en quetzales
1	Placa de cobre de fibra de vidrio 8x8"	38
1	Botella de ácido férrico	15
5	Broca 1/32"	10
1	Broca 1/16"	2
10	Metros cable UTP Cat5e	25
5	Metros de estaño	22,5
1	Marcador permanente Sharpie negro	11
1	Cinta aislante 20 m	9

Fuente: Electrónica ABC.

5. OPERACIÓN DEL SISTEMA

En este capítulo se explican todos los procedimientos y pasos necesarios para la puesta en marcha y operación del sistema implementado que permite el control local y remoto de un hogar, mediante un teléfono inteligente con sistema operativo Android 4.1.2.

5.1.1. Inicialización y apagado del sistema

Antes de iniciar el sistema deben cumplirse los siguientes requisitos:

- La conexión de la fuente de alimentación del sistema debe estar firmemente conectada a un tomacorriente de la red domiciliar nominal de 120 V AC.
- Dado que la aplicación TGMC fue programada usando API 16 del SDK de Android, el teléfono inteligente a utilizar debe tener instalado el sistema operativo Android 4.1.2 o alguna de sus versiones posteriores para que la aplicación TGMC sea compatible.
- El teléfono inteligente debe tener instalada la aplicación TGMC.
- El teléfono inteligente debe contar con un dispositivo *bluetooth* totalmente funcional para utilizar el modo de control local.
- La SIM del teléfono inteligente debe contar con saldo para la realización de llamadas telefónicas, de esta manera será posible utilizar el modo de control remoto.
- El teléfono celular receptor debe estar totalmente cargado o, en su defecto, estar conectado permanentemente a un suministro de energía adecuado.

Para iniciar la operación del sistema se deben seguir los siguientes pasos:

- Encender la fuente de alimentación del sistema
- Encender el teléfono inteligente y el teléfono receptor
- Ejecutar la aplicación TGMC en el teléfono inteligente

Después de esperar un minuto para que el módulo receptor *bluetooth* se inicialice, el sistema es totalmente funcional para utilizar cualquiera de los dos modos de control.

Para detener la operación y apagar el sistema es necesario seguir los siguientes pasos:

- Finalizar el modo de control del sistema que este en uso
- Cerrar la aplicación TGMC
- Apagar la fuente de alimentación del sistema
- Apagar el teléfono receptor si se desea

5.1.2. Instalación de la aplicación TGMC

Previo a la aplicación TGMC el teléfono inteligente debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Tener instalado el sistema operativo Android versión 4.1.2 o alguna versión posterior. Para verificar la versión de Android que tiene instalada el teléfono inteligente ir al menú (paso 1) → ajustes (paso 2) → acerca del dispositivo (paso 3) → verificar que la versión instalada sea 4.1.2 o superior (paso 4), para mayor referencia ver los pasos en la figura 51.

Figura 51. Verificación de la versión de Android



Fuente: elaboración propia.

- La opción de permitir la instalación de aplicaciones de orígenes distintos al Play Store de Google debe estar activada. Para activar esta opción en el teléfono inteligente ir al menú (paso 1) → ajustes (paso 2) → seguridad (paso 3) → seleccionar la opción de fuentes desconocidas (paso 4) → aceptar las condiciones (paso 5) → verificar que haya sido activada la opción (paso 6), para mayor referencia ver los pasos en la figura 52.

Figura 52. **Permitir instalación desde fuentes desconocidas**

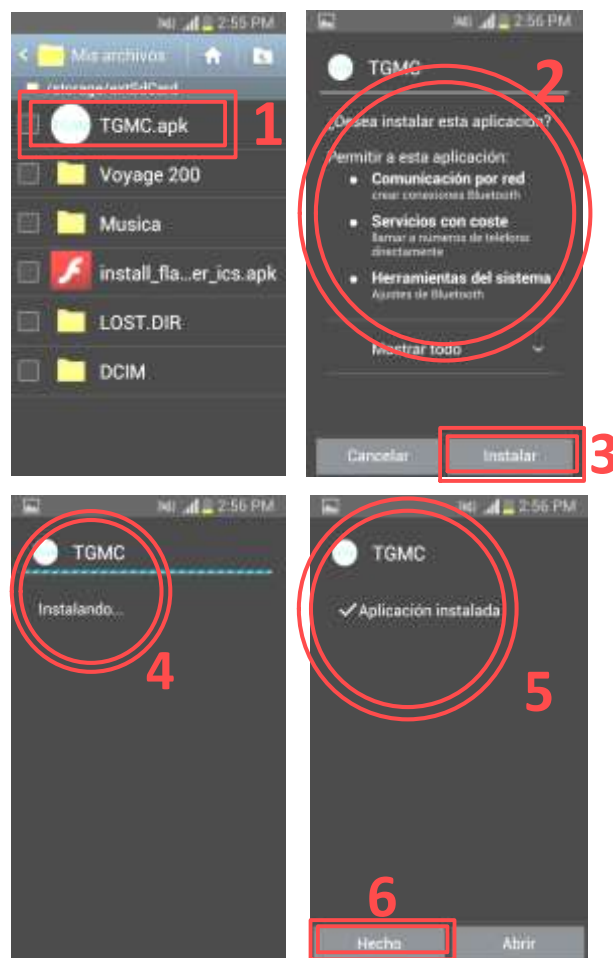


Fuente: elaboración propia.

Una vez cumplidos los dos requisitos anteriores ya es posible realizar la instalación de la aplicación TGMC. Para hacerlo, debe copiarse a la memoria externa o interna del teléfono inteligente la aplicación generada por Eclipse que

lleva el nombre de “TGMC.apk” → seleccionar el archivo “TGMC.apk” (paso 1) → leer los permisos que tendrá la aplicación cuando se esté ejecutando que en resumen serian la realización de llamadas telefónicas, la creación de conexiones *bluetooth*, ajustes de *bluetooth* y el control del vibrador (paso 2) → seleccionar la opción de instalar (paso 3) → esperar a que termine la instalación (paso 4) → verificar la instalación (paso 5) → seleccionar la opción Hecho (paso 6), para mayor referencia ver los pasos en la figura 53.

Figura 53. Instalación de la aplicación TGMC



Fuente: elaboración propia.

5.1.3. Uso de la aplicación TGMC

Como se mencionó en la sección referente al desarrollo de la interfaz de control, la aplicación TGMC está formada por tres ventanas. La ventana principal que da acceso a las otras dos ventanas CONTROL LOCAL o CONTROL REMOTO mediante los botones Local y Remoto respectivamente.

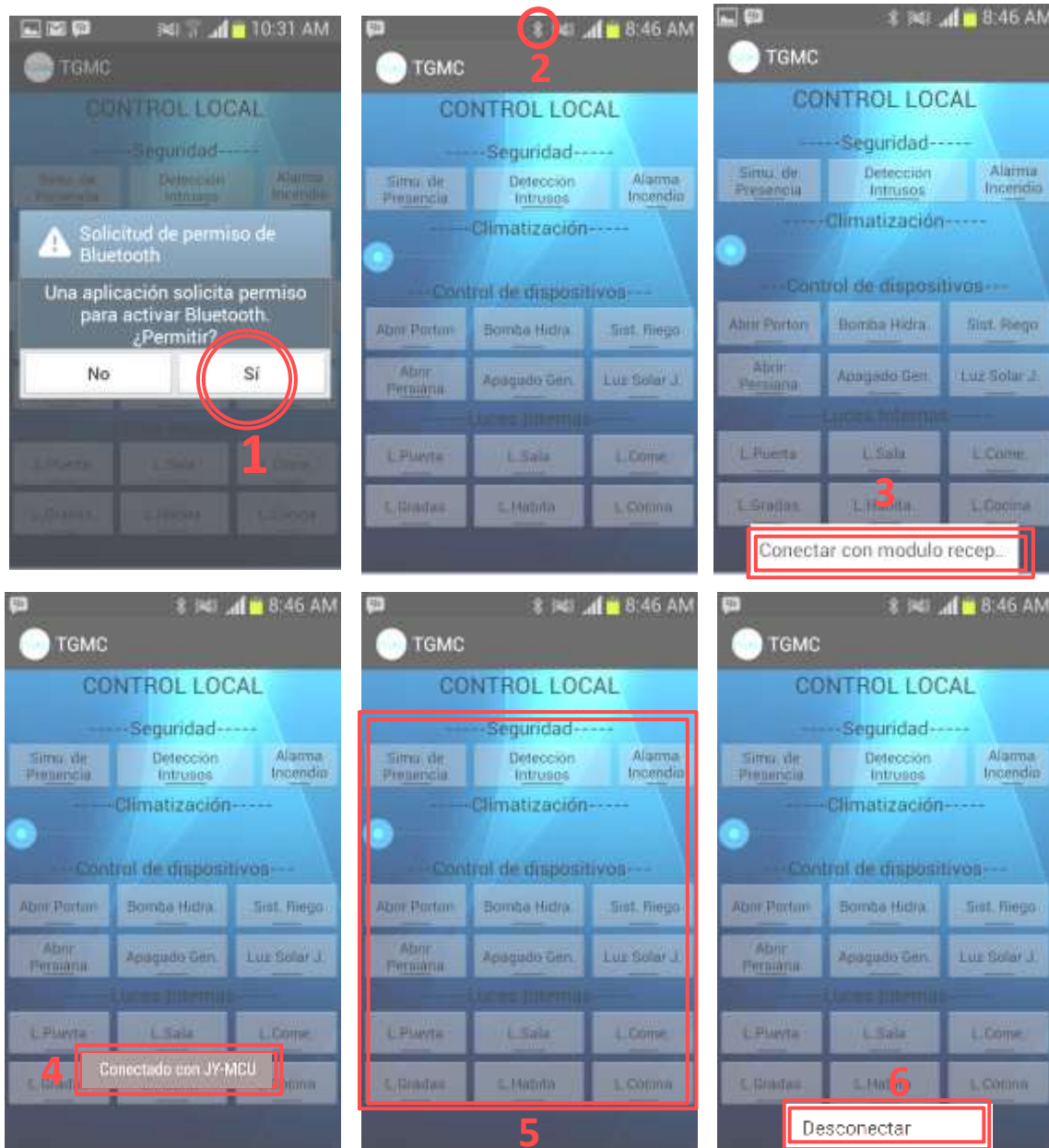
5.1.3.1. Procedimiento para utilizar el modo de control local del sistema

Para utilizar este modo de control es necesario presionar el botón Local en la ventana principal, finalmente para llevar a cabo el control del sistema en este modo debe seguirse el siguiente procedimiento:

- Inicialmente, al seleccionar el modo de control local TGMC verifica el estado del dispositivo *bluetooth* del teléfono inteligente. Si el dispositivo *bluetooth* se encuentra activado, TGMC carga la interfaz gráfica de la ventana; si el dispositivo *bluetooth* del teléfono inteligente está desactivado, TGMC solicita al usuario la activación del mismo (paso 1).
- Si el usuario responde que no a la activación del dispositivo *bluetooth*, la aplicación regresa a la ventana principal; mientras que si decide aceptar la activación del dispositivo *bluetooth*, el usuario debe esperar a que termine el proceso de activación automático para que luego TGMC cargue la interfaz gráfica de la ventana CONTROL LOCAL. La correcta activación puede ser verificada si en la barra de herramientas aparece el símbolo de *bluetooth* (paso 2).

- A continuación, es necesario llevar a cabo la conexión *bluetooth* entre el dispositivo *bluetooth* del teléfono inteligente y el módulo receptor *bluetooth* JY-MCU BT BOARD V1.04 del módulo receptor para el control local. Para llevar a cabo la conexión *bluetooth*, el usuario debe presionar la tecla de menú en el teléfono inteligente y seleccionar la opción Conectar con módulo receptor para que, tanto el teléfono como el módulo receptor, intercambien la información necesaria para establecer la conexión. TGMC mostrará el estado de la solicitud de conexión *bluetooth* mediante los mensajes Conectado con JY-MCU o Error de conexión (paso 3).
- Si el mensaje proporcionado por TGMC fue Conectado con JY-MCU (paso 4), el usuario puede empezar a controlar el dispositivo o proceso deseado mediante la selección del *togglebutton* correspondiente o el movimiento del *seekbar* (paso 5), mientras que si el mensaje proporcionado por TGMC fue Error de conexión el usuario debe repetir el proceso del paso anterior.
- Finalmente, si el usuario desea finalizar el control local del sistema debe presionar la tecla menú del teléfono inteligente y la selección de la opción Desconectar (paso 6), para mayor referencia ver los pasos en la figura 54.

Figura 54. Procedimiento para utilizar el modo de control local del sistema



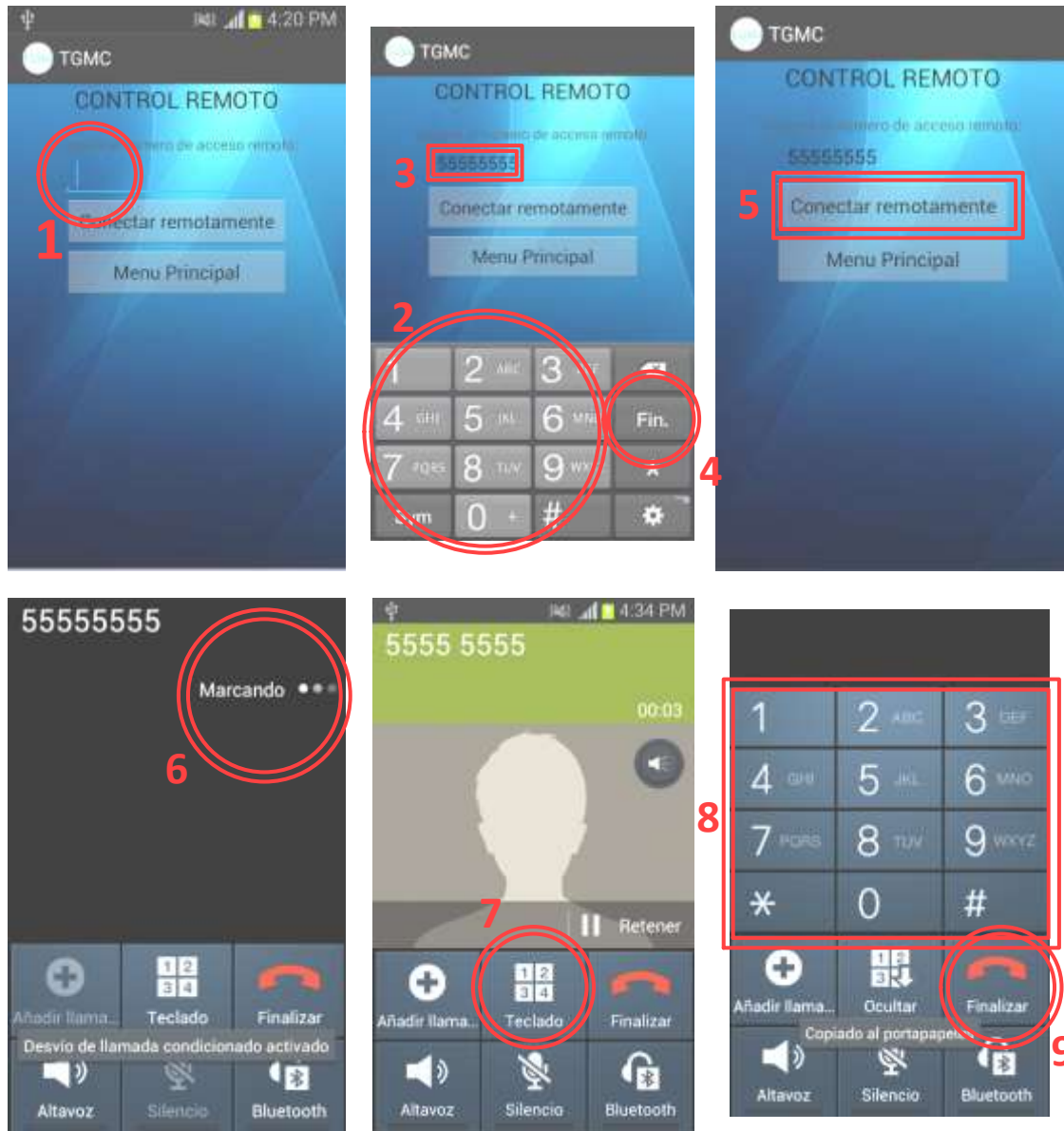
Fuente: elaboración propia.

5.1.3.2. Procedimiento para utilizar el modo de control remoto del sistema

Para utilizar este modo de control es necesario presionar el botón Remoto en la ventana principal, finalmente, para llevar a cabo el control del sistema en este modo debe seguirse el siguiente procedimiento:

- Inicialmente, debe presionarse el *EditText* (paso 1), el cual abrirá el teclado para que el usuario ingrese el número telefónico del teléfono celular receptor (paso 2). El número irá apareciendo en el *EditText* conforme se presionen los números (paso 3), finalmente, debe presionarse el botón Fin para cerrar el teclado (paso 4).
- Seguidamente, el usuario debe presionar el botón Conectar remotamente (paso 5) para que la llamada telefónica inicie y se establezca (paso 6).
- El siguiente paso consiste en presionar la tecla Teclado (paso 7), en donde se presionará la tecla deseada (paso 8), la cual producirá el tono DTMF que viajará por la red de telefonía celular hasta llegar al teléfono receptor, el cual la enviará a su vez al demodulador DTMF del módulo receptor para el control remoto y este la entregará a la unidad de procesamiento de información.
- Finalmente, si el usuario desea finalizar el control remoto únicamente debe finalizar la llamada telefónica (paso 9) y TGMC regresará automáticamente a la ventana CONTROL REMOTO, para mayor referencia ver la figura 55.

Figura 55. Procedimiento para utilizar el modo de control remoto del sistema



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Fue posible diseñar e implementar un sistema completamente funcional que es capaz de satisfacer las necesidades básicas de automatización en un hogar a escala de manera local y remota, mediante el uso de un teléfono inteligente con sistema operativo Android versión 4.1.2.
2. Se logró construir el hogar a escala mediante la utilización de materiales de bajo costo y fáciles de obtener, los cuales permiten observar las distintas aplicaciones del sistema implementado.
3. Fue posible diseñar e implementar el código de programación del microcontrolador mediante software libre de manera efectiva y útil, para controlar e interactuar con los distintos componentes del sistema.
4. Se logró que los procesos de comunicación e intercambio de información entre el sistema implementado y el teléfono inteligente operen de manera efectiva.
5. Haciendo uso de software libre y de la amplia cantidad de complementos y librerías dedicadas, fue posible diseñar un código de programación en Android efectivo para interactuar con los distintos elementos receptores dentro del sistema.
6. Debido a la amplia cantidad de desarrolladores y material referente a la programación de aplicaciones Android, fue posible diseñar e implementar una interfaz visual amigable para los usuarios.

RECOMENDACIONES

1. La programación de la aplicación TGMC debe hacerse en una versión de Android más reciente para aprovechar al máximo las capacidades del teléfono inteligente y hacerlo compatible con una mayor cantidad de dispositivos.
2. Para controlar el sistema de manera remota, se hace necesario contar con un plan de llamadas ilimitadas para minimizar los costos de operación del sistema.
3. Para seguridad de los propios usuarios, el número del teléfono receptor de llamadas utilizado para el control remoto del sistema deberá mantenerse en secreto.
4. El teléfono celular receptor utilizado en el control remoto requiere estar conectado indefinidamente a la red eléctrica domiciliar, de esta manera el modo operará sin interrupciones.
5. Utilizar el modo de control local a una distancia menor o igual a 10 m del módulo receptor, para evitar caídas en la conexión *bluetooth*.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANTTALAINEN, Tarmo. *Introduction to telecommunications network engineering*. 2a ed. Inglaterra: Artech House Telecommunication library, 2003. 377 p. ISBN: 1-58053-500-3.
2. CALIFORNIA MICRO DEVICES. *CMOS Integrated DTMF Receiver CM8870/70C*. [en línea]. < <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/gelisim/elektronik/dosyalar/18/ics8870.pdf> >. [Consulta: 16 de diciembre de 2014].
3. EBERSPÄCHER, Jörg; VÖGEL, Hans-Jörg; BETTSTETTER, Christian; HARTMANN, Christian. *GSM- architecture, protocols and services*. 3a ed. Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd, 2009. 304 p. ISBN: 978-0-470-03070-7.
4. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. *La domótica como solución de futuro*. [en línea]. < <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/la-domotica-como-solucion-de-futuro-fenercom.pdf> >. [Consulta: 18 de febrero de 2014].
5. Guangzhou HC Information Technology Co. Ltd. *Module data sheet model HC-06 Rev 2.2*. [en línea]. <<https://www.olimex.com/Products/Components/RF/BLUETOOTH-SERIAL-HC-06/resources/hc06.pdf>>. [Consulta: 22 de julio de 2014].

6. IEEE Standards Association. *IEEE Standard IEEE 802.15.1™-2005 Part 15.1*. [en línea]. < <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.1-2005.pdf>>. [Consulta: 3 de junio de 2014].
7. Instituto Tecnológico de Zacatepec. *Bluetooth: un enfoque al estándar IEEE 802.15.1*. [en línea]. <http://www.lgama.com.mx/images/publicaciones/nousitz_bluetooth.pdf>. [Consulta: 5 de junio de 2014].
8. MICROCHIP Technology Incorporated. *PIC16F882/883/884/887 data sheet*. [en línea]. <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41291D.pdf>> . [Consulta: 1 de julio de 2014].
9. SEDRA, Adel; SMITH, Kenneth. *Circuitos Microelectrónicos*. 4a ed. México: Oxford University Press, 1999. 1 355 p. ISBN: 970-613-379-8.
10. SGS Thomson Microelectronics. *NE555 SA555 - SE555 GENERAL PURPOSE SINGLE BIPOLAR TIMERS*. [en línea]. <<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/SGSThompsonMicroelectronics/mXuyztz.pdf>>. [Consulta: 21 de septiembre de 2015].
11. Superintendencia de Telecomunicaciones. *Líneas fijas por departamento y municipio, por operador - segundo semestre 2013*. [en línea]. <<http://www.sit.gob.gt/index.php/2014-05-28-20-40-11/lineas-fijas-por-departamento-y-municipio-por-operador>>. [Consulta: 20 de agosto de 2014].

12. _____. *Líneas Móviles por Operador, telefonía pública y comunitaria-segundo semestre 2013*. [en línea]. <<http://www.sit.gob.gt/index.php/2014-05-28-20-40-11/lineas-moviles-por-operador-telefonía-publica-y-comunitaria>>. [Consulta: 20 de agosto de 2014].
13. Texas Instruments. *LM124, LM124A, LM224, LM224A LM324, LM324A, LM2902 QUADRUPLE OPERATIONAL AMPLIFIERS*. [en línea]. <<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/texasinstruments/lm324.pdf>>. [Consulta: 4 de septiembre de 2015].
14. Texas Instruments. *LM35 Precision centigrade temperature sensors*. [en línea]. <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>>. [Consulta: 4 de septiembre de 2015].
15. Unión Internacional de las Telecomunicaciones. *Recomendación Q.23: Características técnicas de los aparatos telefónicos de teclado*. [en línea]. < <https://www.itu.int/rec/T-REC-Q.23-198811-I/es> >. [Consulta: 22 de mayo de 2014].
16. _____. *Recomendación Q.24: Recepción de señales multifrecuencia de aparatos de teclado*. [en línea]. < <https://www.itu.int/rec/T-REC-Q.24-198811-I/es>>. [Consulta: 21 de mayo de 2014].
17. UNISONIC TECHNOLOGIES CO., LTD. *UTC LM78XX Linear integrated circuit*. [en línea]. < http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet_pdf/unisonic-technologies/LM7805_to_LM7818.pdf>. [Consulta: 7 de julio de 2014].

18. ZARLINK SEMICONDUCTOR. *Application of The MT8870 Integrated DTMF*. [en línea]. < [http://www.siongboon.com/projects/datasheet/data%20communication/mt8870,dtmf%20decoder%20\(application%20notes\).pdf](http://www.siongboon.com/projects/datasheet/data%20communication/mt8870,dtmf%20decoder%20(application%20notes).pdf)>. [Consulta: 12 de enero de 2015].