



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL

**Módulos base para el control del suministro de energía
eléctrica en hoteles**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Ingeniero Eléctrico Electrónico

P R E S E N T A:

Sergio Armando Orozco Gómez



**DIRECTOR:
M.I. Lauro Santiago Cruz**

2014

Con admiración y respeto a mis padres:
Francisca Gómez Cortez
Sergio Orozco Soto

Mi agradecimiento al
M.I. Lauro Santiago Cruz
Director de este trabajo.

Mi agradecimiento al
Ing. Roberto Ríos Ramírez
Aval de mi trabajo.

ÍNDICE TEMÁTICO

Índice general	I
Índice de figuras	III
Índice de tablas	VI
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Objetivo	2
1.2. Participación profesional	2
1.2.1. Definición del problema	3
1.2.2. Descripción del proyecto	4
1.2.3. Alcance del proyecto	6
1.2. Metodología del proyecto	7
1.3.1. Estructura del proyecto	7
1.3.2. Criterio de diseño	8
1.3.2. Definición de recursos	8
Capítulo 2. Marco teórico	9
2.1. Fuentes de alimentación	9
2.1.1. Fuentes de alimentación conmutadas	10
2.1.2. Fuentes de alimentación lineales	11
2.1.3. Baterías	11
2.1.4. Filtros	13
2.2. Microcontrolador	16
2.2.1. Periféricos	17
2.2.2. Comunicaciones	18
2.3. Tarjetas de identificación	19
2.3.1. Comunicación	21
2.4. Otros dispositivos	21
2.4.1. Transistor	22
2.4.2. Relevador	25
2.4.3. Varistor	26
Capítulo 3. Diseño e integración del sistema	29
3.1. Módulo lector de tarjetas	29
3.1.1. Definición de requerimientos	29
3.1.2. Tarjeta de identificación	30
3.1.3. Microcontrolador PIC y componentes del sistema	32
3.1.4. Desarrollo del módulo lector de tarjetas	34
3.2. Módulo controlador	39
3.2.1. Definición de requerimientos	39
3.2.2. Fuente de alimentación	39
3.2.3. Microcontrolador PIC y etapa de control	40

3.2.4. Desarrollo del módulo controlador	41
3.3. Módulo coordinador	42
3.3.1. Definición de requerimientos	42
3.3.2. Diagrama a bloques y circuito impreso	43
3.4. Integración	45
3.4.1. Integración de los módulos lector de tarjetas y coordinador	45
3.4.2. Integración de los módulos controlador y coordinador	47
3.4.3. Integración de los módulos lector de tarjetas, coordinador y controlador	48
3.5. Gabinetes	49
3.5.1. Gabinete del módulo lector de tarjetas	49
3.5.2. Gabinete del módulo controlador	50
3.5.3. Gabinete del módulo coordinador	51
Capítulo 4. Fabricación, evaluación y rediseño	53
4.1. Fabricación	53
4.2. Evaluación del proyecto	57
4.3. Prueba de campo del sistema	58
4.4. Análisis de ruido en el hotel	62
4.5. Rediseño	65
Capítulo 5. Resultados y conclusiones	71
Bibliografía	73
Mesografía	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Distribución de los consumos de energía en un hotel	4
Figura 1.2. Comunicación entre Lector y Coordinador	5
Figura 1.3. Comunicación entre Coordinador y Controlador	5
Figura 1.4. Conexión entre Controlador y Aire Acondicionado	5
Figura 1.5. Comunicación inalámbrica entre Coordinador, Lectores y Controladores	6
Figura 1.6. Comunicación inalámbrica entre coordinadores y la PC	6
Figura 1.7. Estructura a bloques del proceso de desarrollo	7
Figura 2.1. Etapas de un convertidor CA-CC	10
Figura 2.2. Configuración de una fuente lineal	11
Figura 2.3. Descarga de una batería de Li-Po para diferentes demandas de corriente	12
Figura 2.4. Gráfica de voltaje y corriente para recargar una batería Li-Po	13
Figura 2.5. Circuitos básicos para hacer filtros	14
Figura 2.6. Filtro paso bajas	14
Figura 2.7. Función de transferencia vs frecuencia angular	15
Figura 2.8. Arquitectura Von Neumann	16
Figura 2.9. Arquitectura Harvard	16
Figura 2.10. Diagrama a bloques de un microcontrolador PIC	17
Figura 2.11. Protocolo de comunicación RS-232	19
Figura 2.12. Conector DB9 Hembra	20
Figura 2.13. TI de contacto con CI	20
Figura 2.14. Comunicación con la TI de contacto con CI	21
Figura 2.15. Diagrama del Transistor NPN y PNP	22
Figura 2.16. Gráfica V_{CE} vs I_C en un transistor TBJ	22
Figura 2.17. Transistor en saturación activando un relevador	23
Figura 2.18. Transistor en corte apagando un relevador	24
Figura 2.19. Problema al apagar un relevador con un transistor	24
Figura 2.20. Mejor configuración para controlar un relevador con un transistor TBJ	25
Figura 2.21. Control de un foco a través de un relevador y un transistor TBJ	26
Figura 2.22. Símbolo y encapsulado del varistor	26
Figura 2.23. Característica J-E de un varistor	27
Figura 3.1. Dirección de memoria de la TI de contacto con CI	30
Figura 3.2. Software para la escritura de la TI de contacto con CI	31
Figura 3.3. Diagrama de conexión para la terminal I/O de la TI de contacto con CI	31
Figura 3.4. Conector de la TI de contacto con CI	32
Figura 3.5. Diagrama del microcontrolador y los componentes del sistema	33
Figura 3.6. Algoritmo de Identificación	33
Figura 3.7. Algoritmo de interrupción	34
Figura 3.8. Software Mplab de Microchip para programar microcontroladores PIC	34
Figura 3.9. Compilar un programa en MPLAB	35
Figura 3.10. Selección del programador de microcontroladores	35
Figura 3.11. Tarjeta Mplab ICD 3 para programar microcontroladores PIC	36
Figura 3.12. Tablilla de prueba entre el PIC y el conector de tarjetas	36
Figura 3.13. Programa Schematic Editor de KiCad	37

Figura 3.14. Programa Components to modules de KiCad	37
Figura 3.15. Programa PCB Editor de KiCad para diseñar circuitos impresos	38
Figura 3.16. Prototipo de circuito impreso para el módulo lector de tarjetas	38
Figura 3.17. Diagrama del circuito electrónico para la fuente de alimentación	40
Figura 3.18. Diagrama de flujo para el algoritmo del módulo controlador	40
Figura 3.19. Diagrama entre el microcontrolador PIC y etapas de control	41
Figura 3.20. Tablilla de prueba entre el microcontrolador y la etapa de control	41
Figura 3.21. Prototipo de circuito impreso para el módulo controlador	42
Figura 3.22. Configuración del número de coordinador y hotel	43
Figura 3.23. Diagrama a bloques del módulo coordinador	44
Figura 3.24. Prototipo de circuito impreso para el módulo coordinador	44
Figura 3.25. Conexión entre microcontrolador y circuito de comunicaciones	45
Figura 3.26. Configuración de la <i>hyperterminal</i> en la PC	46
Figura 3.27. Mensajes enviados entre los módulos lector de tarjetas y coordinador	46
Figura 3.28. Software para enviar mensajes desde la PC por RF al controlador	47
Figura 3.29. Acceso al suministro eléctrico desde la PC	47
Figura 3.30. Configuración de relación de los módulos base	48
Figura 3.31. Integración entre los módulos base	48
Figura 3.32. Ranura del gabinete del módulo lector de tarjetas	49
Figura 3.33. Sujeción para la tarjeta electrónica	49
Figura 3.34. Inserciones plásticas para el módulo lector de tarjetas	50
Figura 3.35. Caja de contacto eléctrico para exteriores	50
Figura 3.36. Perforaciones del gabinete del módulo coordinador	51
Figura 3.37. Postes plásticos del gabinete del módulo coordinador	51
Figura 3.38. Puntos de inserción del gabinete del módulo coordinador	52
Figura 4.1. Capas que se agregan al archivo gerber RS-274X	54
Figura 4.2. Tarjeta electrónica del módulo lector de tarjetas	54
Figura 4.3. Tarjeta electrónica del módulo controlador	55
Figura 4.4. Tarjeta electrónica del módulo coordinador	55
Figura 4.5. Tarjetas electrónicas con componentes	56
Figura 4.6. Gabinetes y tarjetas electrónicas correspondientes	56
Figura 4.7. Panel de controladores	57
Figura 4.8. Módulos lectores de tarjetas	57
Figura 4.9. Módulo coordinador y software	58
Figura 4.10. Controlador instalado	59
Figura 4.11. Instalación del lector de tarjetas	59
Figura 4.12. Coordinador ya instalado	60
Figura 4.13. Aire acondicionado tipo ventana	61
Figura 4.14. Antenas en el techo del hotel	61
Figura 4.15. Medidor de temperatura y humedad	62
Figura 4.16. Analizador de espectros de mano	63
Figura 4.17. Medición de la potencia recibida de las señales inalámbricas	63
Figura 4.18. Osciloscopio	64
Figura 4.19. Medición en el osciloscopio	65
Figura 4.20. Transitorios rápidos de la norma IEC 61000-4-4	67

Figura 4.21. Voltaje de salida del regulador lineal	67
Figura 4.22. Ruido en modo diferencial y común	68
Figura 4.23. Método de supresión para el ruido en modo diferencial	68
Figura 4.24. Método de supresión para el ruido en modo común	68
Figura 4.25. Gráfica de atenuación del inductor de choke	69
Figura 4.26. Gráfica del diodo TVS bidireccional	69
Figura 4.27. Sistema de filtrado en la línea eléctrica	70
Figura 4.28. Voltaje de salida del regulador lineal	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Consumo de energía eléctrica en algunos hoteles	3
Tabla 1.2. Consumo energético mensual en hoteles en función de la categoría	3
Tabla 1.3. Recursos de hardware	8
Tabla 1.4. Recursos de software	8
Tabla 2.1. Comparación entre baterías	12
Tabla 2.2. Características eléctricas de las TI de contacto con CI	20
Tabla 4.1. Mediciones de temperatura y humedad	62
Tabla 4.2. Potencia recibida de las señales inalámbricas	64
Tabla 4.3. Nivel de severidad de la norma IEC 61000-4-4	66

Capítulo 1

Introducción

Los retos financieros mundiales que se han presentado los últimos años, así como la amenaza del cambio climático, presentan un panorama adecuado para apoyar y desarrollar el mercado de la eficiencia energética. La explotación de dicho mercado tiene el potencial de generar numerosos beneficios, tales como: creación de empleo, incremento de competitividad, ahorro de consumo de hidrocarburos y luchar contra el cambio climático.

El cambio climático y los compromisos internacionales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero están creando presiones para que los países actúen limitando las emisiones y abriendo nuevas oportunidades de negocios para la adopción y el abastecimiento de fuentes de energía cada vez más limpias y de naturaleza sustentables.

Observamos que diversos países, apoyados en una serie de políticas y factores internacionales favorables, han logrado en la última década avanzar considerablemente en la incorporación de fuentes de energía renovable y medidas de eficiencia energética. Más allá de las políticas públicas y los objetivos gubernamentales, vale la pena notar que el avance internacional en la adopción de medidas de eficiencia energética y de energías renovables ha sido acompañado por una progresiva expansión y maduración de los canales de financiamiento para este tipo de inversiones.

Los mercados financieros están jugando un rol cada vez más importante en la adopción de energías renovables y en la mejora de la eficiencia energética. Según un informe de la UNEP (*United Nations Environment Programme*) y SEFI (*Sustainable Energy Finance*), la inversión mundial en energía renovable y combustibles aumentaron un 17% a un nuevo récord de \$257,000 millones en 2011. Esto fue más de seis veces el de 2004, y un 94% más que en 2007[†].

El turismo es un sector donde la sustentabilidad energética se ha incrementado con el tiempo, ya que el mercado ha optado por el “eco-turismo” o “turismo sustentable”. Por otra parte, se observan varias iniciativas sectoriales internacionales vinculadas a las preocupaciones ambientales, en especial, la mitigación del cambio climático, la preservación de los ecosistemas y de la biodiversidad.

[†]1. “Global Trends in Renewable Energy Investment 2012”, Frankfurt School-UNEP, Germany, 2012.

Se han desarrollado diversos mecanismos nacionales e internacionales de certificación que reconocen las bondades ambientales de algunos establecimientos y prestadores de servicios turísticos. En general, estos mecanismos incluyen requisitos específicos a satisfacer, incluyendo algunos relacionados con la fuente de provisión de energía y la gestión energética interna de los establecimientos, para que determinada locación turística pueda considerarse “ecológica” o amigable con el ambiente.

Considerando la generosa abundancia de recursos naturales que posee México y que favorecen en gran medida a los sectores de energía y de turismo, podría plantearse que el país cuenta con amplias ventajas en estos sectores de gran crecimiento. Paradójicamente, estas ventajas naturales lo colocan frente a fuertes desafíos. El pertenecer al selecto club de países desarrollados OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos) y ser socio y vecino de la primera economía mundial, impone obligaciones, fundamentalmente en materia ambiental, a lo cual se suma la histórica disponibilidad de hidrocarburos de origen local que ha penalizado el desarrollo de fuentes alternativas. En otras palabras, independientemente de la presencia o no de restricciones, México enfrenta en la energía sustentable un desafío estratégico.

En México el turismo constituye un sector económico de máxima importancia tanto por los ingresos de divisas que aporta, como el considerable volumen de empleo directo. El sector turismo se ha incrementado los últimos años y por consiguiente el aumento en construcción de hoteles. La hotelería en México, de acuerdo a la Asociación Mexicana de Hoteles y Moteles (AMHM), en el país existen 13,057 hoteles con cerca de 516 mil cuartos incluidos los hoteles sin categoría. La inmensa mayoría de los hoteles y complejos turísticos cubren sus necesidades energéticas adquiriendo energía eléctrica que ha sido producida en un 80% por hidrocarburos (carbón, petróleo y gas natural). Las mejoras en las prácticas para incrementar la eficiencia energética, como tener instalaciones eléctricas seccionadas, sistemas de detección de presencia para control de luminarias y sistemas de detección de huéspedes en los cuartos para ahorro de energía en aire acondicionado, pueden disminuir la dependencia de energía generada con combustibles fósiles.

1.1. Objetivo

Diseñar y construir los módulos base para el control de suministro de energía eléctrica en hoteles, especialmente en aires acondicionados de tipo ventana y minisplit.

1.2. Participación profesional

Con el desarrollo de este proyecto se quiere satisfacer una necesidad, que es ahorrar energía eléctrica a través del control de suministro de energía eléctrica en hoteles. Se presenta, por lo tanto, la problemática de ingeniería a resolver, el alcance que puede tener este proyecto y las metodologías que se utilizaron para resolver la problemática planteada.

1.2.1. Definición del problema

En la tabla 1.1 se muestra el consumo de energía eléctrica de algunos hoteles 5 estrellas, que se encuentran en playas mexicanas, si bien estos hoteles han realizado acciones de eficiencia energética, no han alcanzado su máxima eficiencia.

Hotel	Localización	No. De habitaciones	Consumo por habitación (MW-hora/año)	Consumo Total (MW-hora/año)
Camino real	Cancún	381	28.40	10,820
Maya Sol	Tuxtla Gutiérrez	64	9.56	612
Westin	Ixtapa	428	22.82	9,767
El Cozumeleño	Cozumel	100	42.00	4,200
Beach Palace	Cancún	229	16.87	3,863

Tabla 1.1. Consumo de energía eléctrica en algunos hoteles².

En la tabla 1.2 se presenta la relación entre la categoría del hotel y el consumo de energía eléctrica. Se puede observar que a mayor categoría del hotel, mayor es el consumo de energía. Aunque aquí no se señala el número de habitaciones que tiene por categoría.

CATEGORIA DEL HOTEL	CONSUMO (MW-hora/mes)
Hotel 1 estrella	230.7
Hotel 2 estrellas	470.0
Hotel 3 estrellas	1,276.7
Hotel 4 estrellas	1,914.5
Hotel 5 estrellas	2,460.9

Tabla 1.2. Consumo energético mensual en hoteles en función de la categoría³.

Un factor que influye de manera determinante en el consumo eléctrico es la calefacción o aire acondicionado del hotel. Entre otros recursos, los establecimientos hoteleros utilizan una notable cantidad de energía para suministrar los servicios y el confort que exigen sus clientes. Es por ello que los imperativos de control de la demanda y el ahorro de energía se convierten en compromisos que debe asumir el sector hotelero, y en donde existe un gran potencial para el ahorro energético.

[†]2. y 3. “Análisis de mercado para la aplicación de tecnologías de energías renovables y eficiencia energética en hoteles en México, y mercado potencial para el sector hotelero”, pag. 19 y pag. 22, CONUEE, México, 2008.

Por lo general, estos establecimientos hoteleros no realizan un control riguroso del consumo energético, y en algunos casos no conocen al detalle las instalaciones energéticas del hotel. Por lo tanto, aunque el consumo de energía es uno de los principales costos del establecimiento, buena parte de los hoteles presentan niveles de eficiencia energética relativamente bajos.

La figura 1.1 muestra la distribución de los consumos de energía de un hotel, en general para un hotel ubicado en la costa o en una región calurosa, permite tener una idea clara sobre los equipos de mayor consumo de energía. Como se observa en la figura, el consumo de energía es predominantemente debido al aire acondicionado para las habitaciones. Para los sitios de la región del Bajío, esto no es muy válido, ya que su consumo de aire acondicionado, para aquellos que lo tienen, es muy bajo respecto a otros consumos de electricidad.

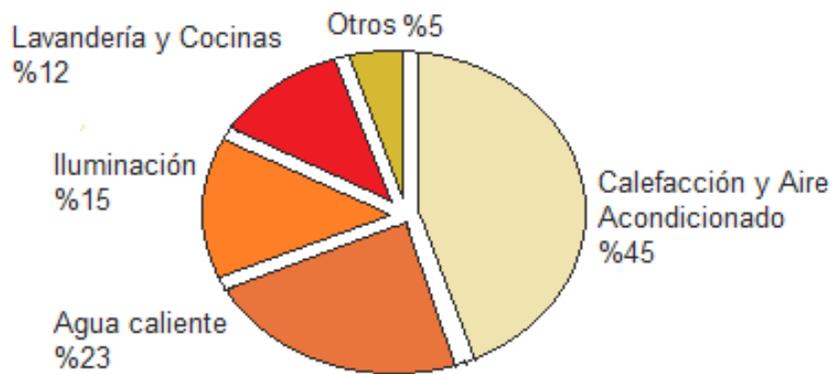


Figura 1.1. Distribución de los consumos de energía en un hotel.

Podemos darnos cuenta que el aire acondicionado es el que consume más energía en un hotel. Se deben de tomar medidas de eficiencia energética para reducir el consumo sin perder el confort que los huéspedes del hotel demandan.

1.2.2. Descripción del proyecto

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema para ahorrar energía eléctrica a través del control de suministro de energía eléctrica en hoteles, particularmente en el uso de aire acondicionado. Esto a través de la detección del huésped y un sistema inalámbrico que permita la comunicación entre dispositivos y poder permitir o no el suministro eléctrico en el aire acondicionado.

Desarrollar un sistema que pueda detectar cuando un huésped de hotel entra en la habitación, a través de una tarjeta de identificación (TI). La TI tiene un *password*, la cual al ser presentada en un lector de tarjetas, se sabrá si tiene o no permiso del uso del aire acondicionado. Una vez que la tarjeta fue analizada, el lector se comunicará con el coordinador de la red y le enviará la información de que la TI fue introducida, como se muestra en la figura 1.2.

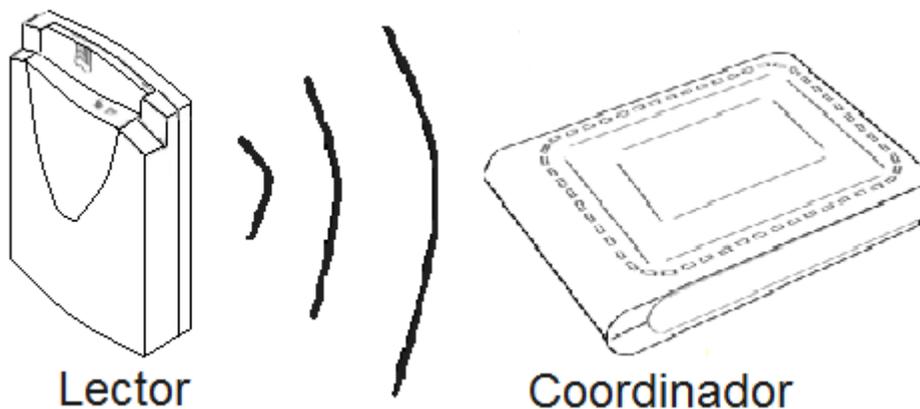


Figura 1.2. Comunicación entre Lector y Coordinador.

El Coordinador es el dispositivo encargado de controlar el flujo de la información entre lector y un tercer dispositivo llamado controlador. El Coordinador, al recibir la información del lector se comunica con el controlador correspondiente para permitir el uso del aire acondicionado, como se muestra en la figura 1.3.

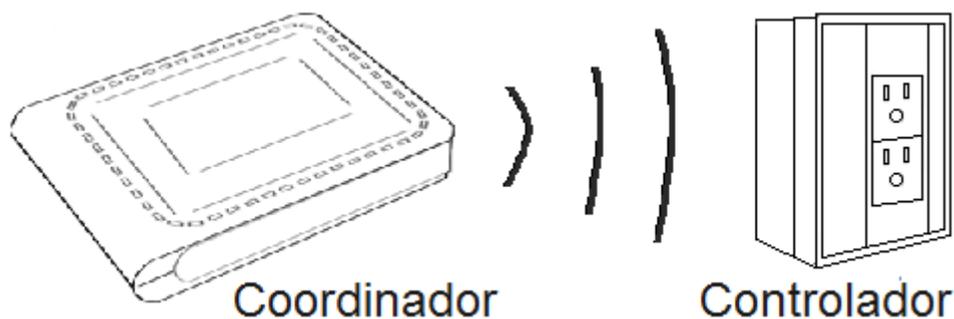


Figura 1.3. Comunicación entre Coordinador y Controlador.

El Controlador, al recibir la información del Coordinador, permite el acceso al suministro eléctrico, para que se pueda encender el aire acondicionado, figura 1.4.



Figura 1.4. Conexión entre Controlador y Aire Acondicionado.

La idea general del proyecto es tener varios lectores y controladores conectados en una misma red y controlados por un mismo coordinador, figura 1.5.

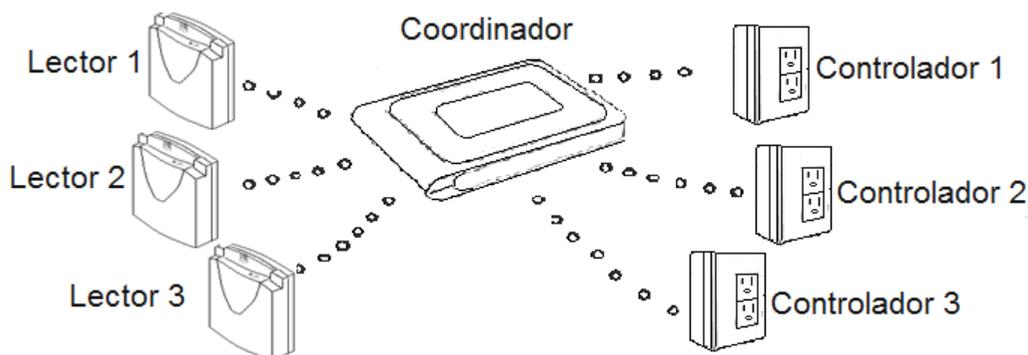


Figura 1.5. Comunicación inalámbrica entre Coordinador, Lectores y Controladores.

Otro aspecto importante en el proyecto es que la información de la estancia del huésped en la habitación y la energía de la batería que tienen los lectores, se puedan ver en una PC, ubicada en un punto central. De tal manera que el administrador del hotel pueda revisarla y controlar la operación del sistema. Para que esto se lleve a cabo, los coordinadores de cada red van a enviar la información desde el coordinador más lejano hasta el más cercano. Esto se puede lograr utilizando cada coordinador como repetidor de señal, sólo entre coordinadores, hasta llegar al coordinador central, que se encuentra conectado a la PC, como se muestra en la figura 1.6.

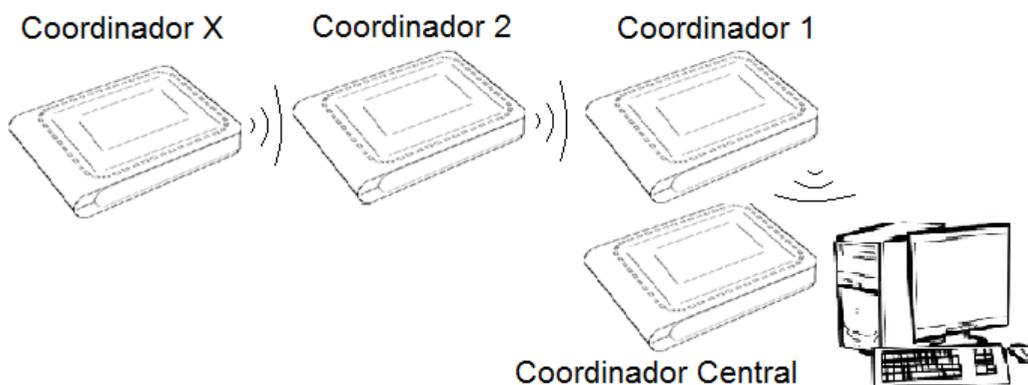


Figura 1.6. Comunicación inalámbrica entre coordinadores y la PC.

1.2.3. Alcance del proyecto

Cabe resaltar que mi aportación en este proyecto es el diseño de *hardware* de los módulos base para el control de suministro de energía eléctrica en hoteles: Lector de tarjetas, Controlador y Coordinador. Diseñé las tarjetas de circuito impreso, programé el sistema de identificación en el lector de tarjetas, implementé el sistema de control de acceso al suministro eléctrico en el controlador y una fuente de alimentación para el controlador y coordinador que se energizan por medio

de voltaje de corriente alterna. La comunicación inalámbrica entre dispositivos y el *software* que se encuentra en la PC fueron desarrollados por otros compañeros de la empresa.

1.3. Metodología del proyecto

El proyecto de ahorro de energía eléctrica a través del control de suministro de energía eléctrica en hoteles, se divide en tres secciones claves: la parte de *hardware*, que interviene el diseño electrónico y toda la estructura física del proyecto; la segunda es la sección de telecomunicaciones, que hace posible que el sistema sea inalámbrico y la tercera es la sección de informática, donde interviene la visualización del sistema en una computadora y utilización de base de datos para entrega de reportes. La metodología que se va a describir en este trabajo es sólo la de *hardware*.

La metodología que utilicé para elaborar el sistema de *hardware* se puede dividir en tres grandes partes: la primera es la estructura del proyecto que es la que segmenta en partes importantes, organiza y determina los tiempos de elaboración; en la segunda, criterios de diseño, es donde se analizan las posibles soluciones para desarrollar el sistema; en la tercera, definición de recursos, se colocan los principales elementos que se tienen y las herramientas necesarias para trabajar y construir un prototipo.

1.3.1. Estructura del proyecto

La estructura del proyecto se define en sus elementos más importantes: Lector de tarjetas, Controlador y Coordinador. En la figura 1.7 se muestra la estructura a bloques para el desarrollo del *hardware*.

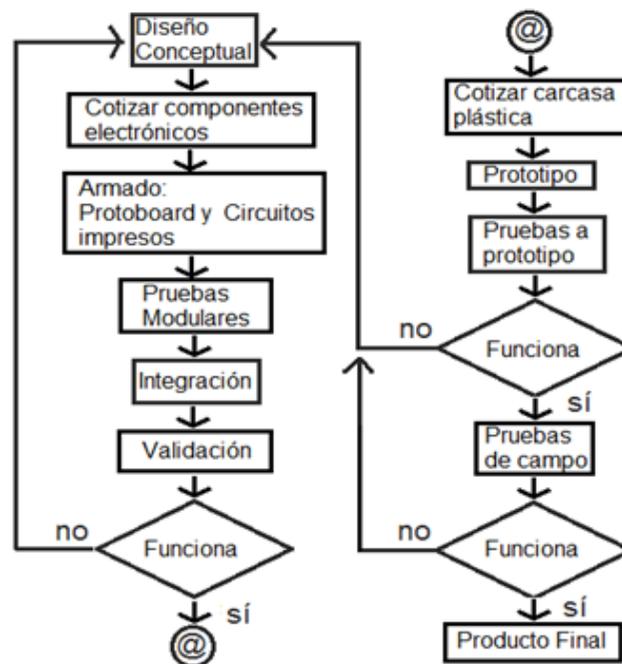


Figura 1.7. Estructura a bloques del proceso de desarrollo.

1.3.2. Criterio de diseño

Los criterios de diseño son las opciones de solución que me daban una ventaja para la realización del prototipo y ver la relación costo beneficio en el producto final.

- Utilizar *software* libre
- Utilizar componentes electrónicos comerciales
- Desarrollar el prototipo al menor costo
- Productos comerciales

1.3.3. Definición de recursos

La definición de recursos se pueden separar en dos grandes rubros: recursos de *hardware* y recursos de *software*, el cual se muestra en las tablas 1.3 y 1.4.

<i>Hardware</i>	Equipo
Cómputo	CPU, monitor, tarjeta madre, memoria RAM, disco duro, teclado, ratón, entre otros.
Laboratorio	Fuente de alimentación, osciloscopio, analizador de espectros, programador de microcontroladores PIC.
Prototipos	Tarjeta de pruebas, cautín, soldadura, taladro de banco, fenólica, cloruro férrico.

Tabla 1.3. Recursos de *hardware*.

<i>Software</i>	Programas
Programación	Mplab, CCS Compiler
Simulación	Proteus, Tina, LTspice
Diseño	Kicad, Libre Cad

Tabla 1.4. Recursos de *software*.

Para poder diseñar los módulos base para el control de suministro de energía eléctrica en hoteles, necesité de conocimientos teóricos, los cuales los veremos en el siguiente capítulo.

Capítulo 2

Marco Teórico

Los dispositivos electrónicos necesitan ser energizados, ya sea con una fuente de alimentación o una batería. Las fuentes de alimentación necesitan llevar etapas de protección y filtrado para que no causen problemas en los dispositivos electrónicos.

Los microcontroladores son dispositivos electrónicos que cuentan con terminales de entrada y salida para realizar algún procesamiento de una señal, además tienen un sistema de comunicación para interactuar con otros dispositivos electrónicos o una PC. Con los microcontroladores podemos leer la información que tiene una tarjeta de identificación. Estas tarjetas cuentan con una memoria, la cual se le puede grabar información o ser decodificada para dar algún permiso a un usuario.

Existen equipos eléctricos que requieren cantidades de corriente mayores a los que el microcontrolador puede manejar, pero con la ayuda de interfaces de control como son: el transistor y el relevador, se puede resolver este problema.

2.1. Fuentes de Alimentación

La corriente alterna (CA) es la energía eléctrica que podemos obtener de los tomacorrientes de cualquier casa y ésta la podemos convertir para darle energía a equipos que necesitan corriente continua (CC). La gran mayoría de equipos electrónicos, por ejemplo, las computadoras, impresoras, televisores y consolas de videojuegos, se energizan por una fuente de alimentación de CC.

Hay diferentes tipos de dispositivos de fuentes de energía de CC, que se pueden clasificar de la siguiente manera:

- 1) Fuentes de alimentación conmutadas
- 2) Fuentes de alimentación lineales
- 3) Baterías

2.1.1. Fuentes de alimentación conmutadas

Hay muchos diseños de reguladores de voltaje conmutados. El primero en ser considerado, debido a su simplicidad, es el regulador reductor o *Buck* en el cual su voltaje de salida es menor al de entrada. Un segundo tipo es el regulador de subida o *Boost*, en donde el voltaje de salida es mayor al de entrada. Los dos reguladores anteriores son adecuados para el control de baja tensión cuando no se requiere aislamiento eléctrico. Sin embargo, en los conmutadores fuera de línea que operan desde la red 127/220 VCA, el aislamiento eléctrico es una necesidad absoluta. El convertidor CA-CC en configuración *flyback* se utiliza comúnmente en las fuentes de alimentación con una demanda de potencia de hasta 200 W, que es suficiente para la mayoría de equipos electrónicos.

En el convertidor CA-CC que se muestra en la figura 2.1, primero el voltaje de CA se rectifica, se suaviza y después se interrumpe o conmuta. La interrupción significa que el voltaje de CC se conmuta periódicamente a una frecuencia de 40 a 200 kHz mediante un transistor de potencia. El transistor de potencia actúa como un interruptor, esto genera el voltaje de CC de onda cuadrada que se transforma hacia el circuito secundario a través de un transformador de alta frecuencia y después la señal se aplanan.

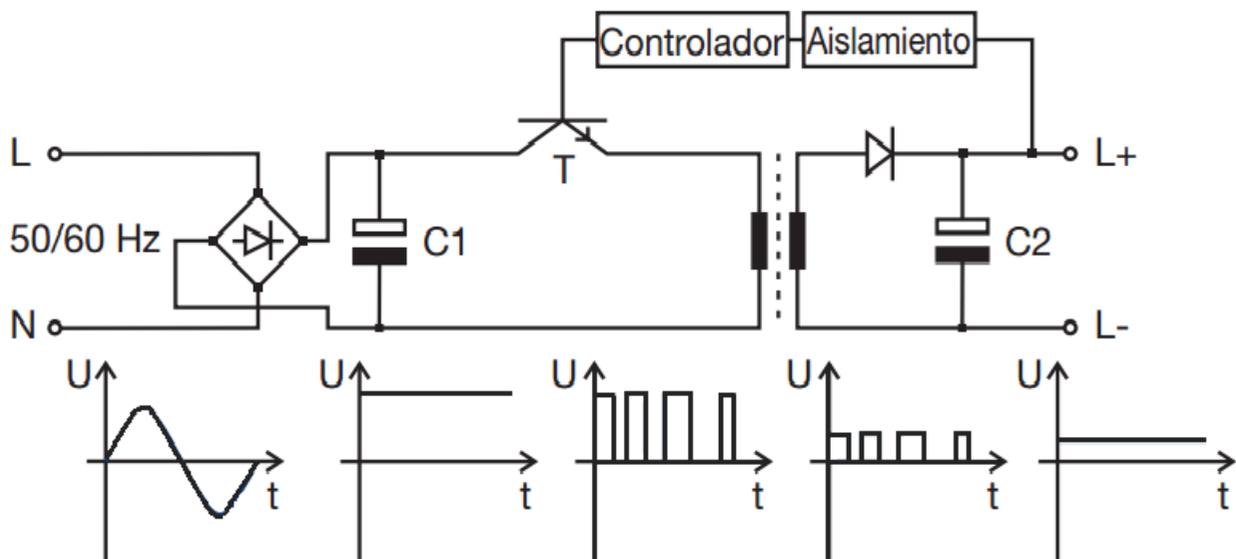


Figura 2.1. Etapas de un convertidor CA-CC.

Algunas de las ventajas de los convertidores CA-CC es su amplio rango de voltajes de entrada de CA y CC, su alta eficiencia y su tamaño tan reducido^{†4}.

^{†4}. “AN-556 Introduction to Power Supplies”, pag. 4, Texas Instruments, USA, 2004.

2.1.2. Fuentes de Alimentación Lineales

Las fuentes lineales son fuentes de alimentación que nos permiten tener un voltaje de salida constante. La representación más simple de una fuente lineal se muestra en la figura 2.2. El circuito emplea un transformador de bajada, para reducir la tensión de rizado se utiliza el capacitor C_1 , después el regulador lineal de voltaje nos dará un voltaje fijo y el capacitor C_2 nos dará una mejor estabilidad en el voltaje de salida.

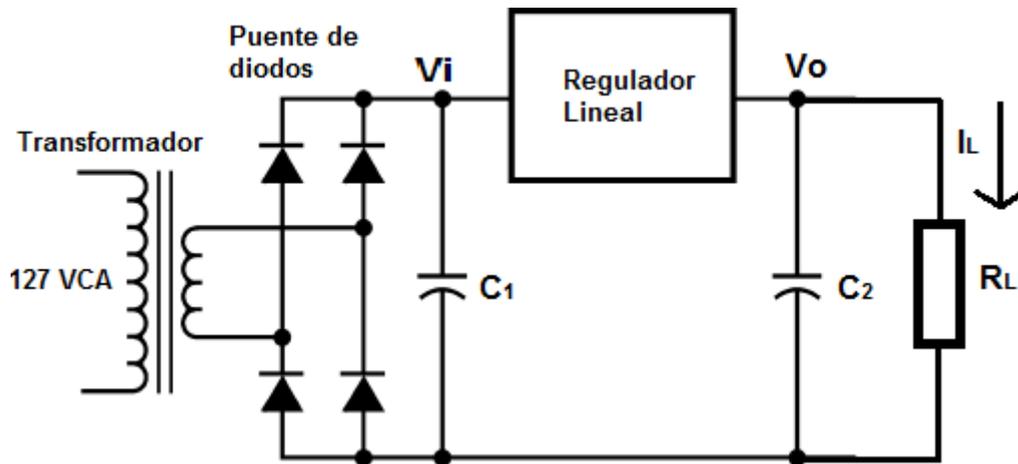


Figura 2.2. Configuración de una fuente lineal.

Si bien esta fuente lineal tienen muchas características deseables, tales como simplicidad, bajo rizado de salida, excelente línea y regulación de carga, sufren de baja eficiencia. Una de las limitaciones a la eficiencia de este circuito es debido al hecho de que el dispositivo disipa mucha potencia en forma de calor, dada por:

$$Potencia_{Disipada} = (V_i - V_o)I_L \quad (2.1)$$

Para generar voltajes de CC a partir de voltajes de CA, se pueden utilizar las fuentes de alimentación conmutadas y las fuentes de alimentación lineales, como vimos anteriormente, pero también se puede utilizar la combinación de ambas, utilizando la fuente de alimentación conmutada para convertir el voltaje de CA a CC y después reducir el voltaje de CC al que necesita nuestro sistema utilizando el regulador lineal.

2.1.3. Baterías

Existen en el mercado una gran gama de baterías para poderlas utilizar en dispositivos electrónicos que así lo necesiten. Podemos encontrar las baterías de Níquel Cadmio (Ni-Cd), las de Níquel Hidruro Metálico (Ni-Mh) y las de Litio Polímero (Li-Po). En la tabla 2.1 podemos ver algunas de las diferencias entre estas baterías.

Batería	Energía/ peso	Voltaje	Duración (No. De Recargas)	Tiempo de carga	Auto-descarga por mes (% del total)
Ni-Cd	80 Wh/kg	1.25 V	500	10-14h	30%
Ni-Mh	120 Wh/kg	1.25 V	1000	4h-8h	20%
Li-Po	200 Wh/kg	3.7 V	5000	1h-2h	0.05%

Tabla 2.1. Comparación entre baterías.

Las baterías de Li-Po ofrecen ventajas significativas sobre las baterías de Ni-Cd y Ni-MH, para su uso en dispositivos eléctricos. Los beneficios de utilizar estas baterías son tiempos de funcionamiento más largos, más potencia de entrega y menor peso.

Una sola celda de Li-Po tiene un voltaje nominal de 3.7 V y una constante C, que es la capacidad de corriente expresada en miliampers hora (mAh). La constante C nos determina cuanto es lo máximo que le podemos demandar en carga y descarga a la batería para no dañarla, el valor puede ser de 1C, 2C, 10C, etc.

En la figura 2.3 podemos ver como es el comportamiento de descarga de una batería de Li-Po de 4.2 V a 1200 mAh, con una descarga de 1C y 15C.

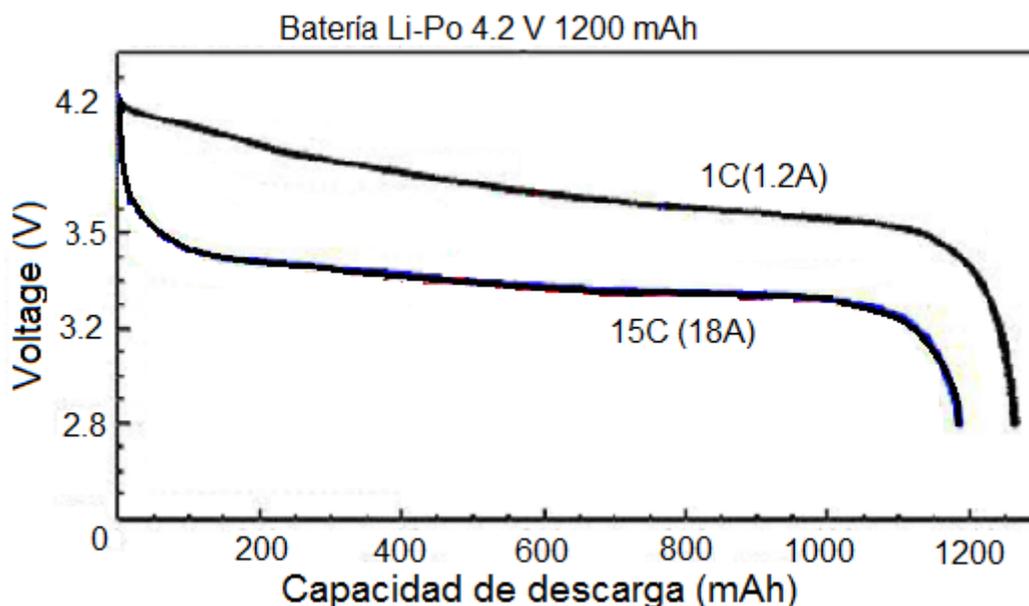


Figura 2.3. Descarga de una batería de Li-Po para diferentes demandas de corriente.

Para determinar la recarga de la batería se considera el voltaje y corriente constante. El voltaje típico de recarga es de 4.2 V, aunque éste puede variar un poco con respecto a la temperatura. La corriente máxima que le puedes suministrar es C . En la figura 2.4 podemos observar el proceso de carga de la batería en función de la temperatura para no dañarla.

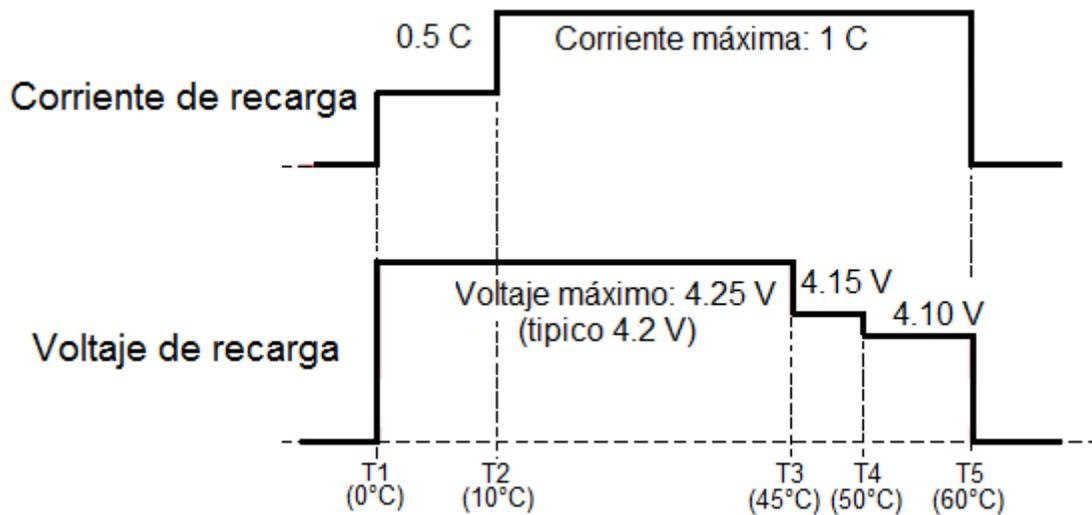


Figura 2.4. Gráfica de voltaje y corriente para recargar una batería Li-Po.

2.1.4. Filtros

El filtro es una medida comúnmente adoptada para reducir el ruido de acoplamiento. Existen dos tipos de filtros: los filtros activos, que utilizan elementos activos para llevar a cabo el filtro, transistores, amplificadores operacionales y le pueden dar una ganancia a la señal que se quiere filtrar. También existen los filtros pasivos que utilizan elementos pasivos para llevar a cabo el filtro, resistencias, capacitores e inductores, pero éstos no le pueden dar una ganancia a la señal que se quiere filtrar. En el capacitor e inductor, la frecuencia altera sus propiedades eléctricas y con esto eliminar las frecuencias no deseadas.

Dependiendo de las frecuencias deseadas y no deseadas, se determina el tipo de filtro que se necesita. Existen 5 tipos de filtros: el filtro paso bajas, que permite pasar las frecuencias que se encuentran menores a la frecuencia de corte; el filtro paso altas, que permite pasar las frecuencias que se encuentran mayores a la frecuencia de corte; el filtro paso banda, que permite pasar las frecuencias que se encuentran entre la frecuencia de corte inferior y superior; el filtro rechazo banda, que permite pasar las frecuencias que se encuentran afuera de la frecuencia de corte inferior y superior; el filtro pasa todo, que deja pasar todo el espectro de frecuencia. En la figura 2.5 se muestra las posibles combinaciones para llevar a cabo los filtros.

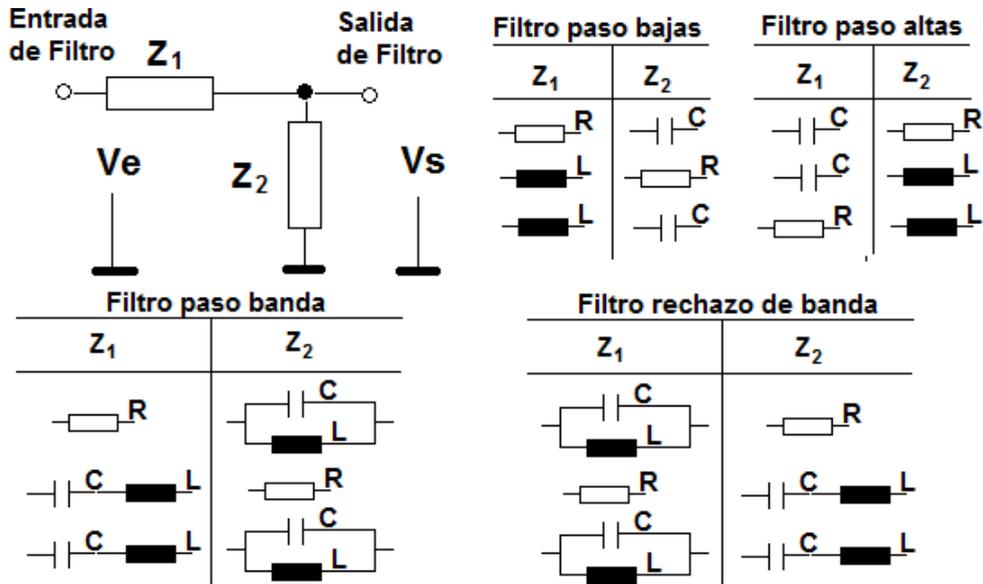


Figura 2.5. Circuitos básicos para hacer filtros.

Filtro paso bajas

El filtro paso bajas es el más comúnmente usado filtro de compatibilidad electromagnética. En la figura 2.6 se muestra la configuración básica para filtro paso bajas.

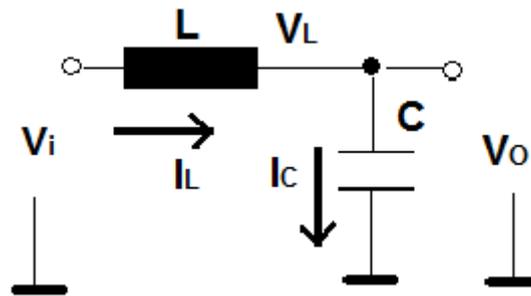


Figura 2.6. Filtro paso bajas.

Para calcular la frecuencia de corte F_0 del filtro LC de la figura 2.6 primero se debe obtener la función de transferencia. La función de transferencia se obtiene al resolver el circuito serie por medio de divisor de voltaje y con las impedancias de L y C. Podemos observar que el voltaje del capacitor es el voltaje de salida, resolviendo el circuito:

$$V_o = \frac{Z_C}{Z_C + Z_L} V_i \tag{2.2}$$

Obteniendo la relación del voltaje salida contra la entrada:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{Z_C}{Z_C + Z_L} \tag{2.3}$$

Se sabe que las impedancias de L y C son:

$$Z_L = sL \quad (2.4)$$

$$Z_C = \frac{1}{sC} \quad (2.5)$$

Sustituyendo las ecs. 2.4 y 2.5 en la ec. 2.3 se tiene:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\frac{1}{sC}}{\frac{1}{sC} + sL} \quad (2.6)$$

Multiplicando la ec. 2.6 numerador y denominador por sC nos queda:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\frac{1}{sC} \cdot sC}{\frac{1}{sC} + sL \cdot sC} \rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{s^2CL + 1} \quad (2.7)$$

Al obtener la función de transferencia se puede notar que se tiene ceros en la función y 2 polos, ya que es el mayor grado del exponente del denominador. Para encontrar los polos de la función se iguala a cero el denominador y se resuelve la ecuación.

$$s^2CL + 1 = 0 \rightarrow s_{1,2} = \sqrt{\frac{-1}{LC}} = jW_0 \quad (2.8)$$

Por lo tanto W_0 es igual a:

$$W_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \rightarrow F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.9)$$

La función puede ser expresada gráficamente, como se muestra en la figura 2.7.

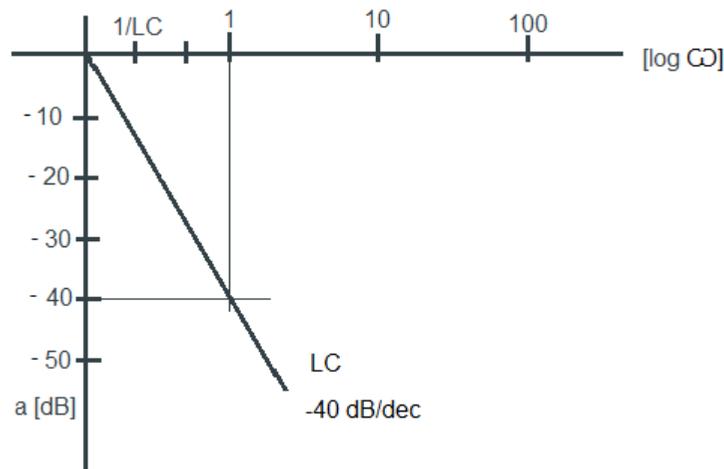


Figura 2.7. Función de transferencia vs frecuencia angular.

2.2. Microcontrolador

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico capaz de llevar a cabo procesos lógicos. Estos procesos o acciones son programados en lenguaje de programación por el usuario, y son introducidos en éste a través de un programador.

Hay dos tipos de arquitectura que manejan los microcontroladores: la arquitectura Von Neumann, y la arquitectura Harvard. En la arquitectura Von Neumann la unidad central de proceso (CPU), está conectada a una memoria principal única, donde se guardan las instrucciones del programa y los datos. Como se muestra en la figura 2.8 la memoria se accede a través de un sistema de *buses* único (control, direcciones y datos).

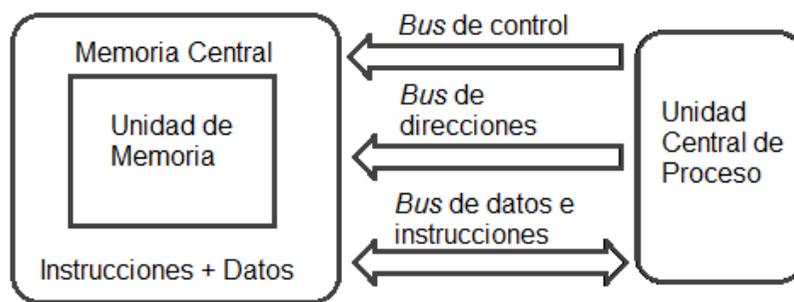


Figura 2.8. Arquitectura Von Neumann.

La arquitectura Harvard tiene la unidad central de proceso (CPU) conectada a dos memorias, una con las instrucciones y otra con los datos, por medio de dos buses diferentes. Una de las memorias contiene solamente las instrucciones del programa (Memoria de Programa), y la otra sólo almacena datos (Memoria de Datos), como lo muestra la figura 2.9.

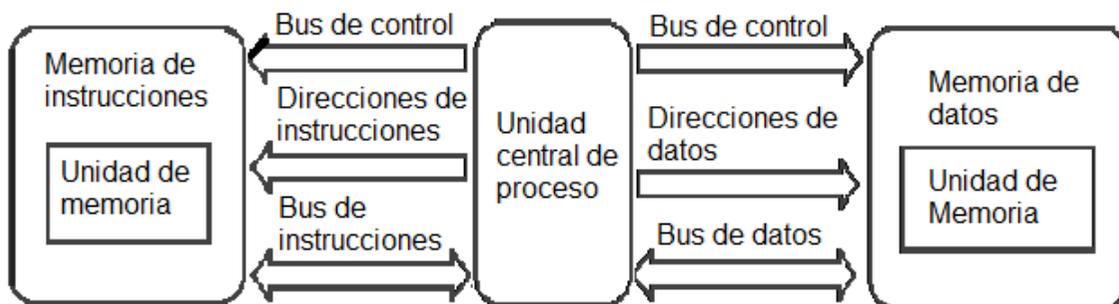


Figura 2.9. Arquitectura Harvard.

Existe una gran variedad de microcontroladores en el mercado, como los AVR de Atmel, los ARM de Texas Instruments y los PIC de microchip, entre otros. Los microcontroladores PIC están basados en un sistema de arquitectura Harvard, con un juego reducido de instrucciones tipo RISC (*Reduced Instruction Set Computing*), cuyo número es de 35 instrucciones. En la figura 2.10 se muestra el diagrama a bloques de un microcontrolador PIC.

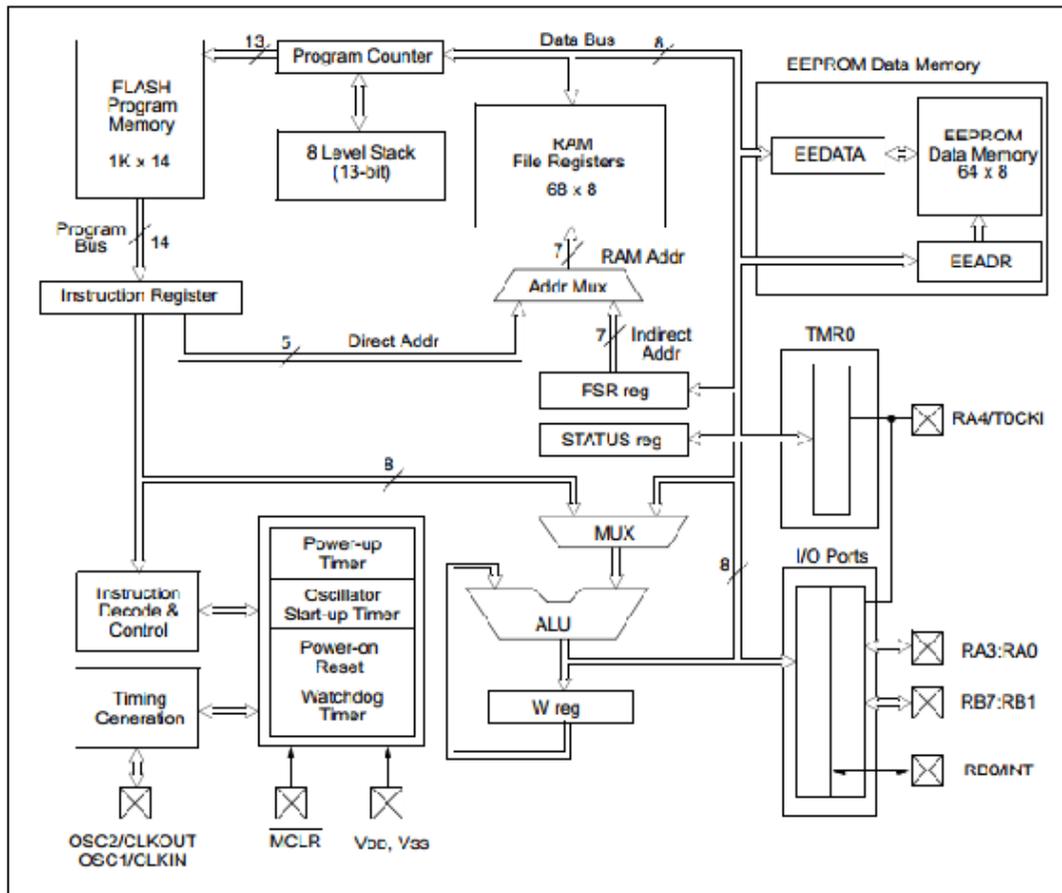


Figura 2.10. Diagrama a bloques de un microcontrolador PIC⁵.

2.2.1. Periféricos

Los periféricos de entrada y salida permiten comunicar al microcontrolador con otros dispositivos, a través de interfaces. Estos periféricos son la principal utilidad de las terminales de un microcontrolador. Según los periféricos que posea cada modelo de microcontrolador, se destinan a proporcionar el soporte a las señales que se desea.

Los principales periféricos que incorporan los microcontroladores son:

Puertos de entrada y salida (E/S) digitales: Todos los microcontroladores destinan parte de sus terminales a soportar líneas E/S digitales. Por lo general, estas líneas se agrupan de ocho en ocho formando puertos. Las líneas digitales de los puertos pueden configurarse como entrada o como salida cargando un 1 ó un 0 en el bit correspondiente de un registro destinado a su configuración.

Convertidor Digital Analógico (CDA): Transforma los datos digitales obtenidos, en su correspondiente señal analógica que saca al exterior por una terminal del circuito integrado.

[†]5. Hoja de especificaciones del microcontrolador PIC16F84, pag. 3, Microchip Technology Inc, USA, 2001.

Convertidor Analógico Digital (CAD): Los microcontroladores que incorporan un convertidor analógico digital pueden procesar señales analógicas, tan abundantes en las aplicaciones. Suelen disponer de un multiplexor que permite aplicar a la entrada del CAD diversas señales analógicas desde las terminales del circuito integrado.

Comparador Analógico: Algunos modelos de microcontroladores disponen internamente de un amplificador operacional, que actúa como comparador entre una señal fija de referencia y otra variable que se aplica por una de las terminales del circuito integrado. La salida del comparador proporciona un nivel lógico 1 o 0 según una señal sea mayor o menor que la otra. También hay modelos de microcontroladores con un módulo de voltaje de referencia que proporciona diversos voltajes de referencia que se pueden aplicar en los comparadores.

Modulador de ancho de pulso(PWM): Es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica cuadrada, ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

Comunicación: Con objeto de dotar al microcontrolador de la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos externos, algunos modelos disponen de recursos como: RS-232 (*Recommended Standard*), SPI (*Serial Peripheral Interface*) y USB (*Universal Serial Bus*).

2.2.2. Comunicaciones

Existen dos tipos de comunicaciones serie entre dispositivos: síncrona y asíncrona. En la comunicación serie síncrona se necesita una línea sobre la cual se transmitirán los datos y otra que contendrá los pulsos de reloj que indicarán cuando un dato es válido. Ejemplo de este tipo de comunicación es el protocolo SPI.

También existe la comunicación USB, como su nombre lo sugiere, se basa en una arquitectura de tipo serial. Sin embargo, es una interfaz de entrada/salida mucho más rápida que los puertos seriales estándar.

En la comunicación serie asíncrona no son necesarios los pulsos de reloj. La duración de cada bit está determinada por la velocidad con la cual se realiza la transferencia de datos. Ejemplo de este tipo de comunicación es el protocolo RS-232.

Comunicación RS-232

Ante la gran variedad de equipos, sistemas y protocolos que existen surgió la necesidad de un acuerdo que permitiera a los equipos de varios fabricantes comunicarse entre sí. La EIA (*Electronics Industry Association*) elaboró el estándar RS-232, la cual define las terminales de conexión, las señales y los protocolos que debe cumplir la comunicación serial.

El estándar RS-232 cumple con los siguientes niveles de voltaje:

- Un “1” lógico es un voltaje comprendido entre -3V y -25V.
- Un “0” lógico es un voltaje comprendido entre +3V y +25V.

En la figura 2.11 se muestra como se transmiten los datos en la comunicación RS-232.

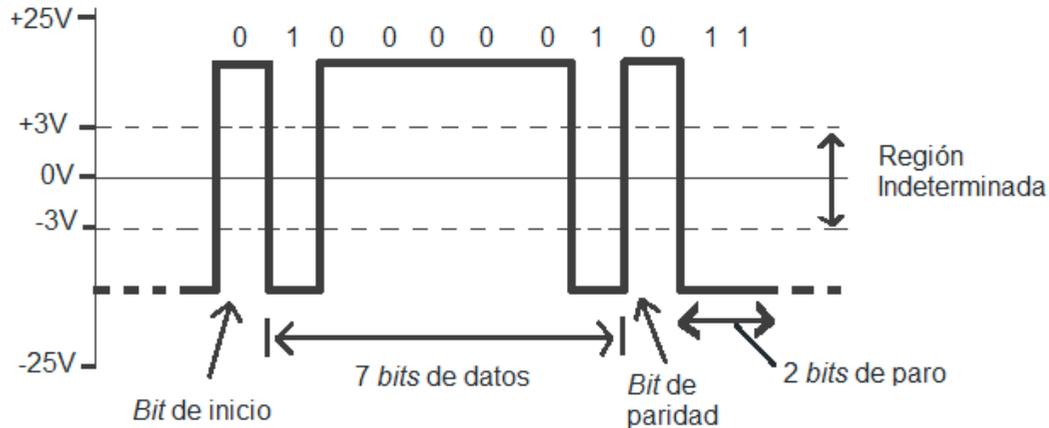


Figura 2.11. Protocolo de comunicación RS-232.

La comunicación RS-232 utiliza una codificación NRZ (*Non Return to Zero*) porque el voltaje no vuelve a cero entre bits consecutivos de diferente estado. En la codificación NRZ los dos métodos más usuales son: NRZ-L (*Non Return to Zero-Level*) y NRZ-I (*Non Return to Zero-Inverted*). En la decodificación NRZ-L el nivel de la señal depende del tipo de bit que representa, un valor de tensión positiva indica que el bit es un 0 y un valor de tensión negativa indica que el bit es un 1, por tanto el nivel de la señal depende del estado del bit. En la decodificación NRZ-I usa una inversión de la tensión que representa un bit, es la transición entre el valor de la tensión positiva y negativa, un bit 0 representa que no hay ningún cambio en la señal y un bit 1 representa el cambio de estado en la tensión. La decodificación empleada por la comunicación RS-232 es la NRZ-L, una de sus ventajas es que emplea pulsos de larga duración que requieren menor ancho de banda que otros sistemas de codificación y una de su desventaja es que cuando hay un flujo grande de ceros o unos en los datos puede surgir el problema de la sincronización. En el estándar no se hace referencia al tipo de conector que debe usarse. Sin embargo el conector más común es el DB-9 (9 terminales), como se muestra en la figura 2.12.

2.3. Tarjetas de identificación

Las tarjetas de identificación (TI) son tarjetas que contienen información en una memoria EEPROM, que permiten la ejecución de cierta lógica programada, para poder dar permiso de acceso a algún usuario. Las TI se pueden dividir en dos tipos: TI sin contacto y TI de contacto. Las TI sin contacto funcionan mediante RFID (*Radio Frequency Identification*), en la cual la tarjeta transfiere su información con el lector mediante un campo de radiofrecuencia. Por otro lado, la TI de contacto transfiere su información al tocar las ranuras del lector de tarjetas, pueden ser: TI de banda magnética y TI de contacto con circuito integrado (CI).

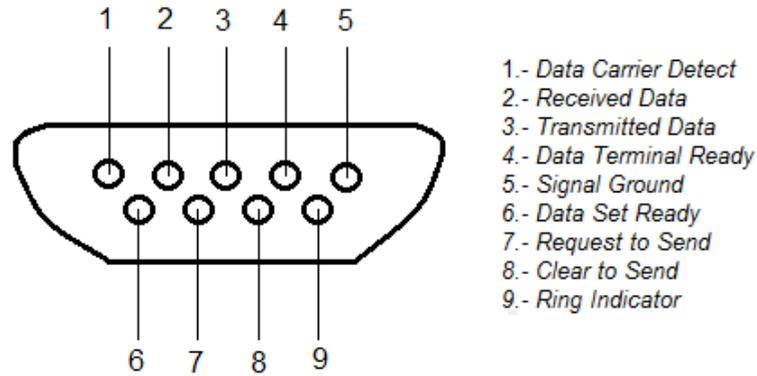


Figura 2.12. Conector DB9 Hembra.

Las TI de contacto con CI disponen de un contacto metálico debidamente estandarizado. Para ser leídas, éstas tarjetas deben ser insertadas en una ranura de un lector. A través de este contacto el lector alimenta eléctricamente a la tarjeta y transmite los datos que están guardados en su memoria. En la figura 2.13 se observa las ranuras de configuración de esta tarjeta.

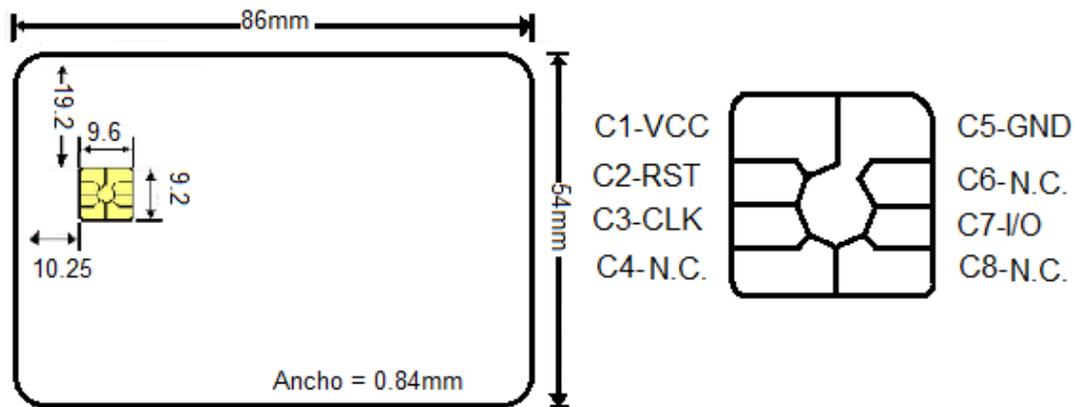


Figura 2.13. TI de contacto con CI.

Las TI de contacto con CI cuentan con las siguientes características, tabla 2.2:

Protocolo	ISO 7016
Opción de chip	AT24C01A/02/04/, AT88SC1604/1604B, AT45D041, SLE4432/SLE 4442
EEPROM	256 Byte/512 Byte/1 k/2 k/4 k/8 k/64 k
Voltaje	1.8V,3V, 5V
Corriente	30mA,50mA,60mA
Frecuencia	1 MHz a 5 MHz
Temperatura	-20°C a +60°C

Tabla 2.2. Características eléctricas de las TI de contacto con CI.

2.3.1. Comunicación

El protocolo de comunicaciones para las TI de contacto con CI es el ISO 7816-3. Con el fin de iniciar la interacción con la tarjeta conectada mecánicamente, el dispositivo de interfaz deberá seguir los siguientes pasos para la activación:

- VCC Se energiza
- RST Se manda un pulso para que la memoria este en la posición inicial
- CLK Se debe de proveer de una señal de reloj
- I/O El dispositivo de interfaz se debe poner en modo de recepción

Después de activar la TI de contacto con CI y mandar un pulso al *reset* para iniciar la transmisión de datos, se pueden leer los datos a través del I/O. La figura 2.14 ilustra cómo se obtienen los datos de la TI de contacto con CI.

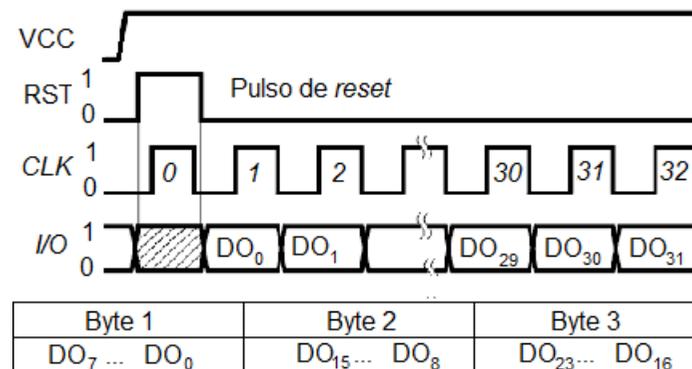


Figura 2.14. Comunicación con la TI de contacto con CI.

2.4. Otros dispositivos

Las interfaces de control son dispositivos intermedios entre un microcontrolador y aquellos aparatos que requieran cantidades de corriente mayores a los que pueden manejar el microcontrolador, por lo general estamos hablando de una corriente de más de 25 miliampers por terminal.

Motores de paso, motores DC, servomotores, lámparas incandescentes, grupos de leds, son ejemplos de dispositivos que podrían llegar a ser controlados desde el microcontrolador a través de las interfaces de control, es un grave error tratar de conectar este tipo de dispositivos directamente a las terminales del microcontrolador.

Las sobretensiones destruyen a menudo instalaciones eléctricas y aparatos eléctricos. Para disminuir este problema se emplean dispositivos de protección como interruptores termomagnéticos y fusibles. Estos dispositivos son los encargados de interrumpir la energía eléctrica en caso de falla en el sistema eléctrico. En aparatos electrónicos se disminuye el problema de sobretensión con la ayuda del varistor, el cual conduce una corriente significativa cuando el voltaje es excesivo y con esto proteger el circuito electrónico.

2.4.1. Transistor

Los transistores pertenecen a la familia de los componentes electrónicos llamados semiconductores, son componentes que pueden funcionar como amplificadores o interruptores, si se utilizan como interruptores pueden manejar corrientes altas, controlados por corrientes bajas. Los transistores son dispositivos de tres terminales y en el caso de los transistores bipolares sus terminales se llaman: emisor, base y colector, al poner una corriente pequeña en la base, una corriente alta puede pasar del colector al emisor. Entre los transistores bipolares se pueden diferenciar dos tipos NPN y PNP, como se muestra en la figura 2.15.

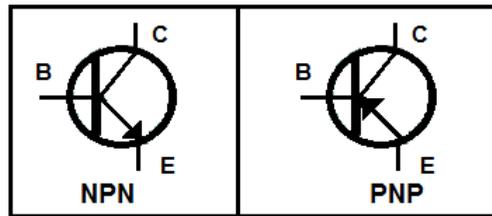


Figura 2.15. Diagrama del Transistor NPN y PNP.

Cuando un transistor se utiliza en un circuito, el comportamiento que éste tenga dependerá de sus curvas características. En la figura 2.16 se muestran varias curvas que representan la función de transferencia de I_C (corriente de colector) contra V_{CE} (voltaje colector emisor) para varios valores de I_B (corriente de base). Cuando el transistor se utiliza como amplificador, el punto de operación de éste se ubica sobre una de las líneas de las funciones de transferencia que están en la zona activa, que son las líneas que están casi horizontales.

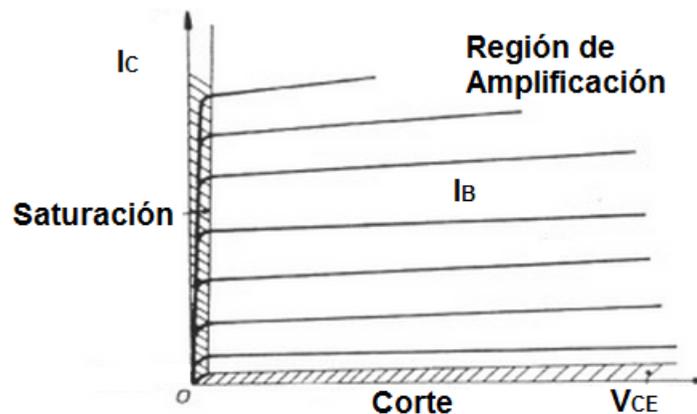


Figura 2.16. Gráfica V_{CE} vs I_C en un transistor TBJ.

Cuando un transistor se utiliza como interruptor o *switch*, la I_B debe tener un valor para lograr que el transistor entre en corte y otro para que entre en saturación. Un transistor en corte tiene una corriente de colector I_C mínima, prácticamente igual a cero y un voltaje colector emisor V_{CE} máximo, casi igual al voltaje de alimentación. Un transistor en saturación tiene una I_C máxima y un V_{CE} casi nulo.

Cuando un transistor opera en las regiones de corte y saturación se usa como interruptor. Para poder controlar un relevador desde un transistor, éste se configura como se muestra en la figura 2.17.

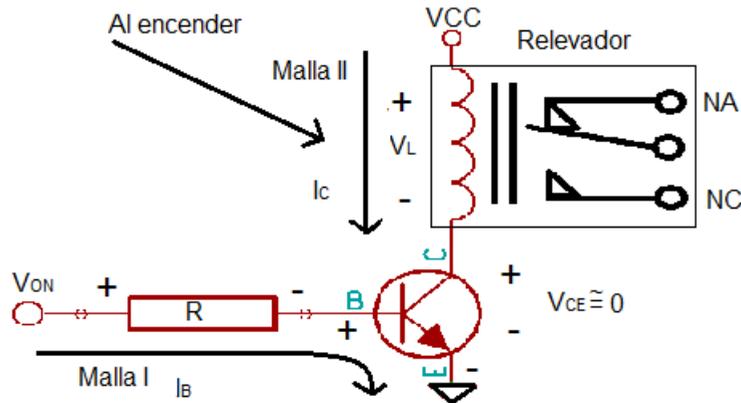


Figura 2.17. Transistor en saturación activando un relevador.

Para determinar el valor de R, se analiza el valor en saturación y corte. Para calcular el valor de R en saturación se analiza la malla I:

$$V_{ON} = V_R + V_{BE(sat)} \quad \rightarrow \quad V_{ON} = I_{B(sat)}R + V_{BE(sat)} \quad (2.10)$$

Despejando R:

$$R = \frac{V_{ON} - V_{BE(sat)}}{I_{B(sat)}} \quad (2.11)$$

Se sabe que existe una relación entre $I_{C(sat)}$ y $I_{B(sat)}$, pero sólo es válida para el límite entre las zonas de amplificación y saturación.

$$I_{C(sat)} = \beta I_{B(sat)} \quad \rightarrow \quad I_{B(sat)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta} \quad (2.12)$$

Sustituyendo la ec. 2.12 en la ec. 2.11:

$$R = \frac{V_{ON} - V_{BE(sat)}}{\frac{I_{C(sat)}}{\beta}} \quad \rightarrow \quad R = \frac{V_{ON} - V_{BE(sat)}}{I_{C(sat)}} \beta \quad (2.13)$$

Se puede observar que para obtener el valor de R en saturación depende que V_{ON} sea mayor a $V_{BE(sat)}$ para que el valor de R exista.

En la figura 2.18 se muestra el transistor en corte y el relevador apagado.

Para calcular la R en el estado de corte, de la malla I se considera que la corriente I_B es aproximadamente cero y el V_{BE} está apagado, entonces:

$$V_{OFF} = V_R \quad \rightarrow \quad V_{OFF} = RI_B \quad (2.14)$$

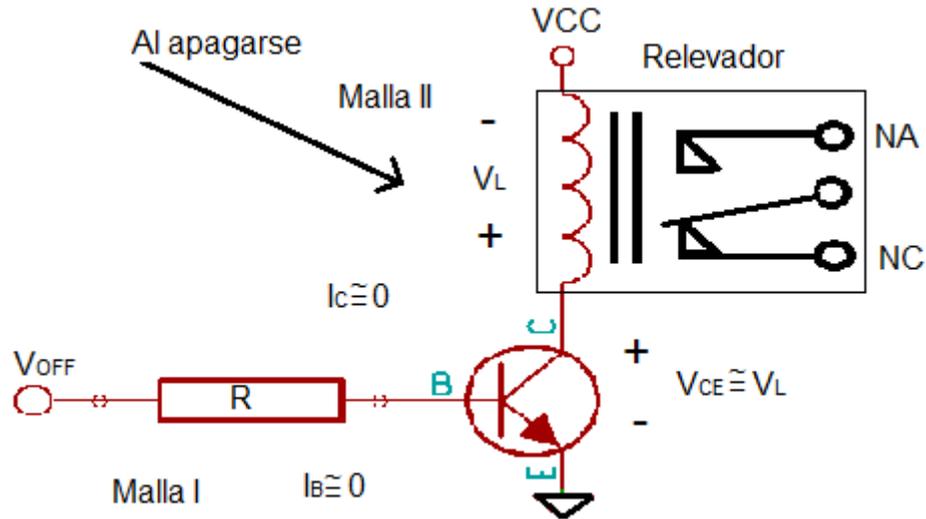


Figura 2.18. Transistor en corte apagando un relevador.

Si se considera que V_{OFF} es cero, la I_B es también cero para cualquier R . Entonces el valor que se va utilizar de R es el calculado en el estado de saturación.

Hay algunos problemas que se deben de considerar cuando el TBJ opera en la región de saturación, debido a que la corriente a través de la bobina no puede cambiar instantáneamente, y que de hecho, mientras más rápido cambie, mayor será el voltaje inducido a través de la bobina del relevador, como lo define la ecuación $V_L = L(di/dt)$. En este caso, la corriente que cambia rápidamente a través de la bobina, desarrollará un voltaje mayor a través de la bobina con la polaridad que se muestra en la figura 2.19 y que se presentará directamente a través de la salida del transistor. Es probable que su magnitud exceda los límites nominales máximos del transistor, y el semiconductor quedara dañado permanentemente.

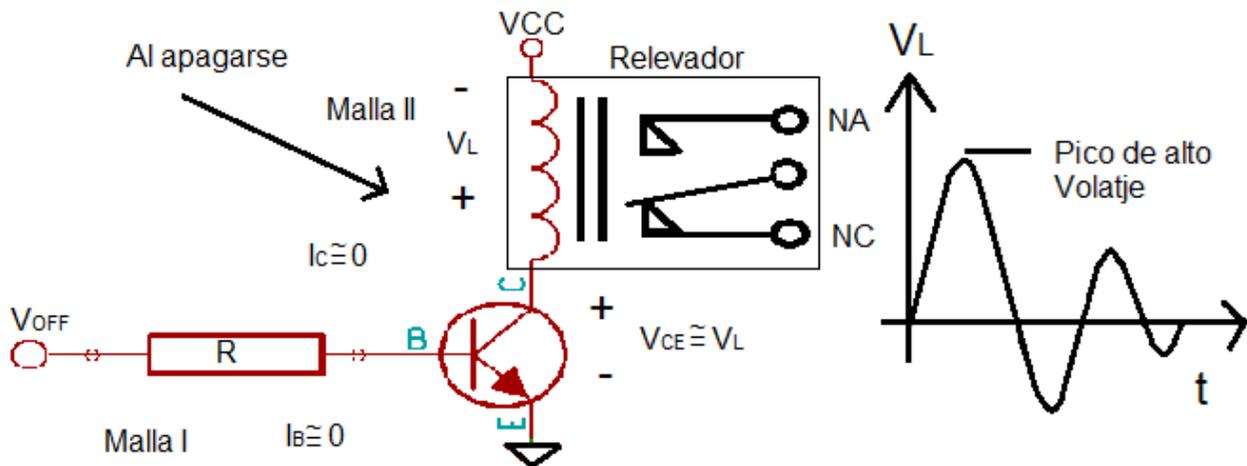


Figura 2.19. Problema al apagar un relevador con un transistor.

Para resolver el problema mencionado anteriormente, se coloca un diodo en paralelo con el relevador como se muestra en la figura 2.20.

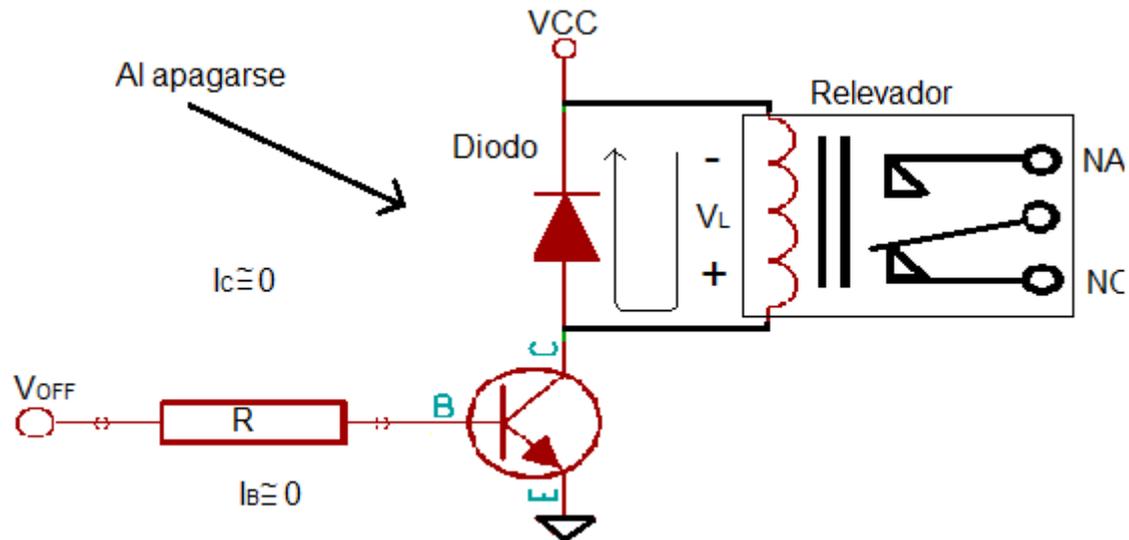


Figura 2.20. Mejor configuración para controlar un relevador con un transistor TBJ.

Debido a que la corriente inductiva se transfiere al diodo de forma prácticamente instantánea, una vez que el estado de apagado se establece, el diodo debe tener un valor nominal de corriente equivalente a la corriente a través del inductor y del transistor cuando se encuentre en el estado encendido. Eventualmente, por causa de los elementos resistivos, de la malla II, que incluyen la resistencia de las vueltas del devanado de la bobina y al diodo mismo, la variación a alta frecuencia (rápida oscilación) del nivel de voltaje a través de la bobina decaerá a cero, y el sistema se asentará. Se debe considerar que la velocidad de conmutación del diodo requiere ser mayor a la generada en alta frecuencia.

2.4.2. Relevador

Son interruptores electromecánicos controlados por una pequeña corriente eléctrica, funcionan por medio de una bobina que actúa como un electroimán, esto acciona un juego de uno o varios contactos y permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Los relevadores pueden ser disparados directamente por el microcontrolador si entre éstos hay otro dispositivo de control de potencia, como un transistor.

Al ser el relevador un interruptor electromecánico éste puede ser bastante lento, tarda un par de milisegundos en cerrarse, pero si la aplicación no necesita una gran velocidad de conmutación, es un buen dispositivo de control. Por lo general, el relevador lo utilizaremos para controlar fuentes de corriente alterna de alto voltaje (127 o 220 volts), como se muestra en la figura 2.21.

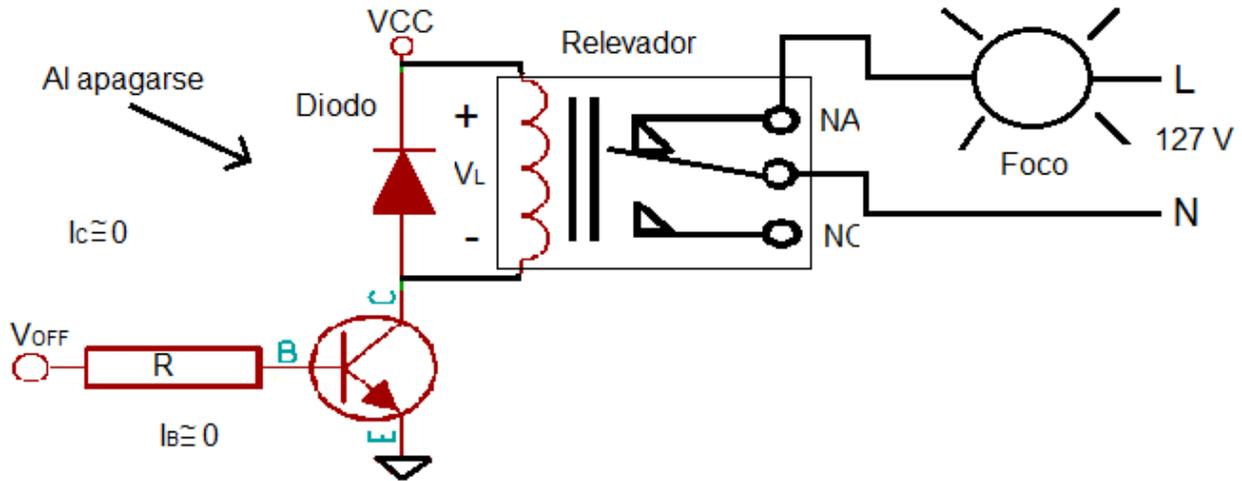


Figura 2.21. Control de un foco a través de un relevador y un transistor TBJ.

2.4.3. Varistor

Los varistores son semiconductores policristalinos, cuyo peculiar mecanismo de transporte de carga eléctrica origina unas propiedades de conducción extremadamente no lineales. Esta no linealidad extrema permite a los varistores ejercer una protección eficaz contra uno de los fenómenos electromagnéticos más habituales y dañinos: la sobretensión transitoria, que consiste en que la tensión aplicada a una parte de un sistema eléctrico excede, durante un cierto periodo de tiempo, la tensión nominal de funcionamiento de dicho sistema, pudiendo producir la rotura del aislamiento eléctrico y la destrucción del sistema. En la figura 2.22 se muestra varistor.

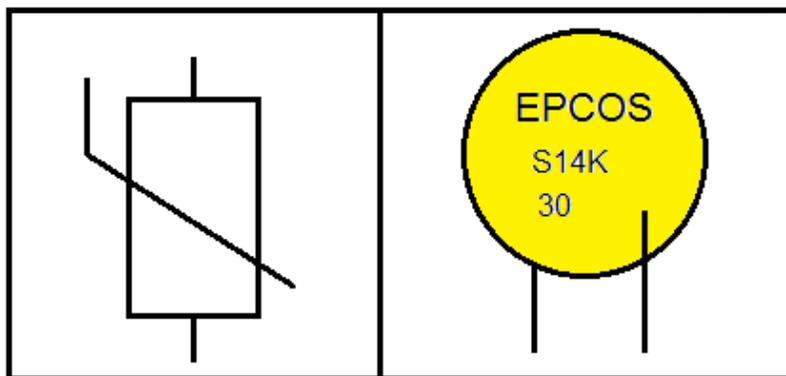


Figura 2.22. Símbolo y encapsulado del varistor.

El varistor se diseña de manera que en su régimen normal de funcionamiento esté sometido a un campo representado por el Punto 1 de la figura 2.23, entre sus terminales existirá una diferencia de potencial V_C llamada “de funcionamiento continuo”. Cuando el campo a través del varistor aumenta y alcanza un valor umbral V_B , representado por el Punto 2, el varistor pasa de un estado aislante, esencialmente capacitivo, a un estado conductor, esencialmente resistivo.

El varistor representa sustancialmente un cortocircuito en la red eléctrica, absorbiendo corriente de la misma y limitando la tensión en el punto en el que está conectado. El punto 3 representado por el voltaje V_R , es el punto de ruptura donde el varistor se destruye por el exceso de energía que esta disipando desde el punto 2 al punto 3.

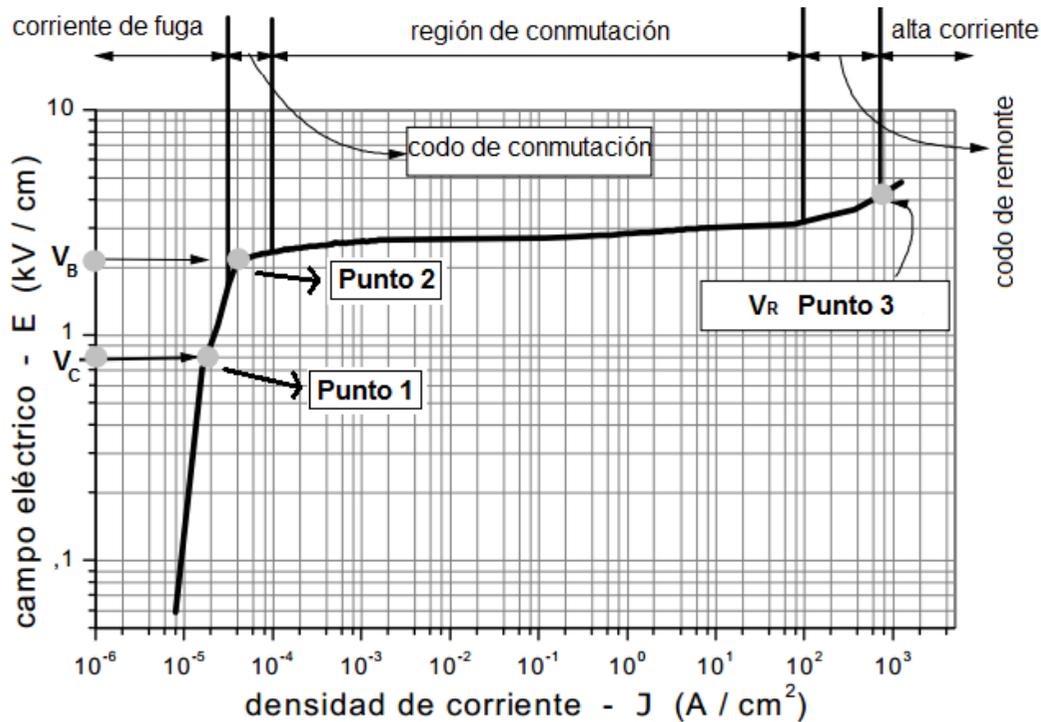


Figura 2.23. Característica J-E de un varistor.

Con la ayuda de todo el conocimiento teórico que se vio en el capítulo 2, diseñé los módulos base para el suministro de energía eléctrica en hoteles y lo mostraré en el siguiente capítulo.

Capítulo 3

Diseño e integración del sistema

En este capítulo presentaré los diseños de los prototipos de los módulos base para el control de suministro de energía eléctrica en hoteles. Los módulos base son: Lector de tarjetas, Controlador y Coordinador.

Mostraré el diseño de las tarjetas electrónicas para cada módulo, además de los gabinetes adecuados para su funcionamiento.

3.1. Módulo lector de tarjetas

El módulo lector de tarjetas permite identificar cuando un huésped de hotel se encuentra en la habitación. El huésped para que pueda utilizar el aire acondicionado deberá de introducir una tarjeta de identificación en el módulo lector tarjetas.

3.1.1. Definición de requerimientos

La definición de requerimientos para elaborar el módulo lector de tarjetas se realizó en conjunto con la empresa, teniendo como base el ofrecer un buen producto a un bajo costo. Los puntos más importantes que se consideraron fueron:

- Utilizar una TI que el usuario deje insertada en el lector
- Informar al huésped que la TI introducida es correcta o incorrecta
- Integrar un módulo RF
- Usar una batería para energizar el módulo lector de tarjetas
- Fácil de instalar

La TI de contacto con CI resuelve el problema de dejar insertada la TI, ya que su proceso de identificación necesita de tocar los contactos metálicos del conector de tarjetas. Las TI de RFID no servirían porque su transferencia de datos es por proximidad y las TI de banda magnética no servirían porque sólo hay que deslizarlas por el lector.

Para informar al huésped que la tarjeta fue introducida correctamente se enciende un *led* verde y en caso contrario se enciende un *led* rojo y un *buzzer* con un tono grave.

El módulo controlador tiene integrado un módulo RF, con el que se comunica de forma inalámbrica con otros dispositivos.

Para energizar el módulo lector de tarjetas de forma que no afecte la arquitectura de la habitación, utilicé una batería de Li-Po, para no tener que utilizar cables de corriente eléctrica. Desarrollé un sistema para que el lector consuma lo menos posible y la batería no tenga que ser recargada en poco tiempo.

Para facilitar la instalación del módulo lector de tarjetas requerí conseguir un gabinete con ranura para introducir la tarjeta de identificación, postes para colocar y atornillar la tarjeta, perforaciones para cerrar el gabinete y además puntos de sujeción para un par de pijas, ya que el lector se coloca en la pared de la habitación.

3.1.2. Tarjeta de identificación

En el proyecto utilicé una TI de contacto con CI que tienen una memoria EEPROM de 256 *bytes* y trabaja con un voltaje de alimentación de 3 V nominal, con un voltaje máximo de 3.6 V. El protocolo de comunicaciones que utiliza la TI de contacto con CI es el ISO 7816-3, pero se deben tomar algunas consideraciones, ya que la tarjeta tiene protegidos los primeros 32 *bytes*, como se muestra en la figura 3.1.

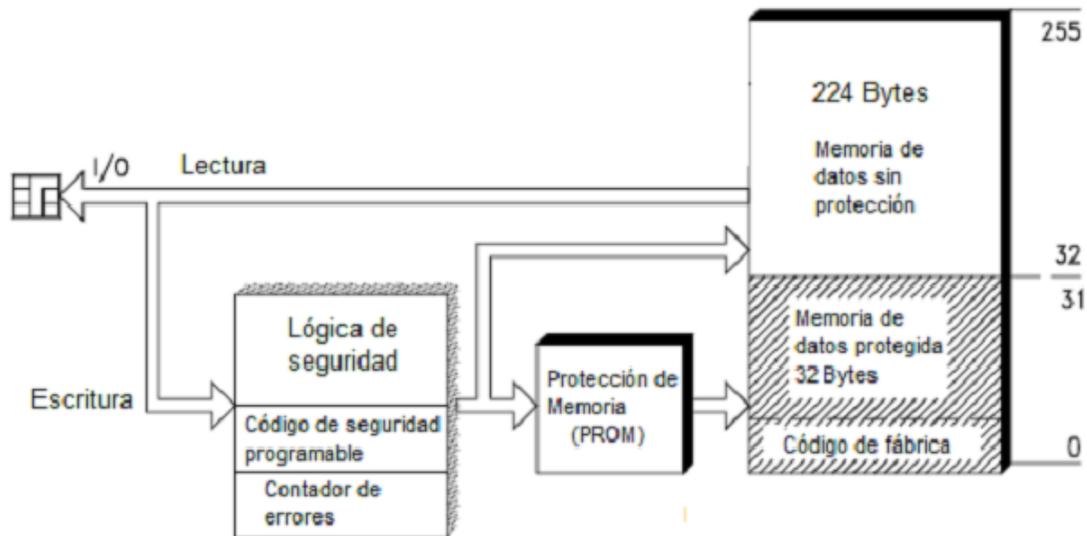


Figura 3.1. Dirección de memoria de la TI de contacto con CI.

En el diseño del proyecto sólo hice la lectura de la TI de contacto con CI. La escritura la hice con un lector de tarjetas del mismo fabricante, ya que cuenta con un *software* que tiene un ambiente gráfico amigable para la escritura. Por ejemplo, lo utilicé para introducirle un código (*password*) a

la tarjeta. En la figura 3.2 se muestra el *software* de escritura.

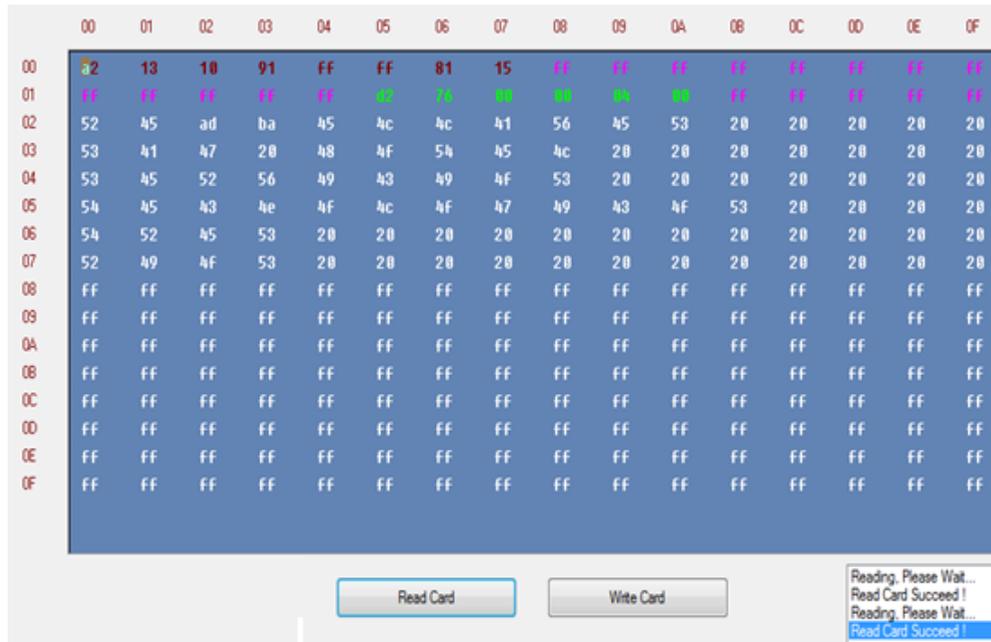


Figura 3.2. *Software* para la escritura de la TI de contacto con CI.

Otra de las consideraciones que tomé en cuenta es que la terminal I/O de la TI de contacto con CI es de drenado abierto y necesita una resistencia de *pull up*. En la figura 3.3 se muestra el diagrama de conexión.

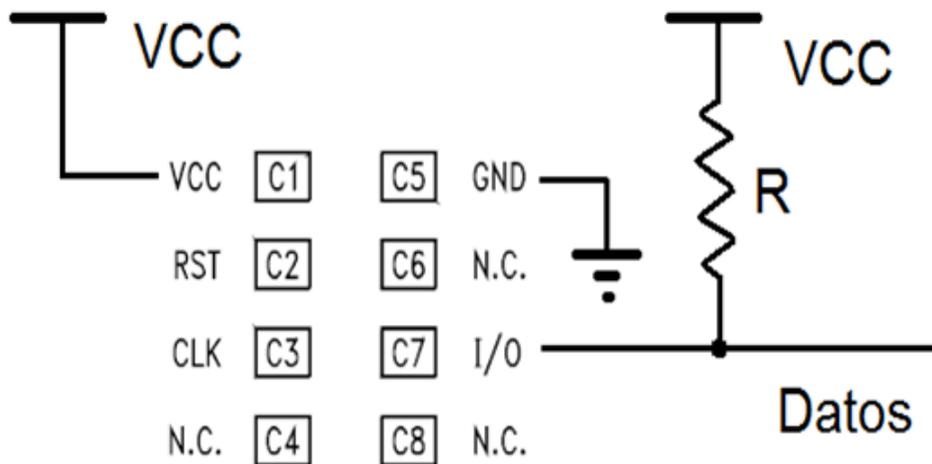


Figura 3.3. Diagrama de conexión para la terminal I/O de la TI de contacto con CI.

3.1.3. Microcontrolador PIC y componentes del sistema

El microcontrolador es el dispositivo de interfaz que me permitió comunicarme con la TI de contacto con CI. Del microcontrolador PIC se utilizan: una terminal de entrada para saber si la tarjeta fue introducida en el lector, una terminal de salida para la señal de *reset*, una terminal de salida que genere los pulsos de reloj, una terminal de entrada para leer los datos de la tarjeta y tres terminales de salida para notificar al usuario sobre el estado de la TI de contacto con CI.

EL módulo lector de tarjetas tiene integrado un módulo de RF con el que el PIC se comunica a través de SPI, para que se comunique de forma inalámbrica con otros dispositivos.

En la figura 3.4 se muestra un conector de tarjetas, el cual cuenta con un *switch* que me permitió saber el estado de la tarjeta. Cuenta con contactos metálicos para poder leer las 8 terminales de la TI de contacto con CI y conectarlas a una tira de terminales para su uso más fácilmente.

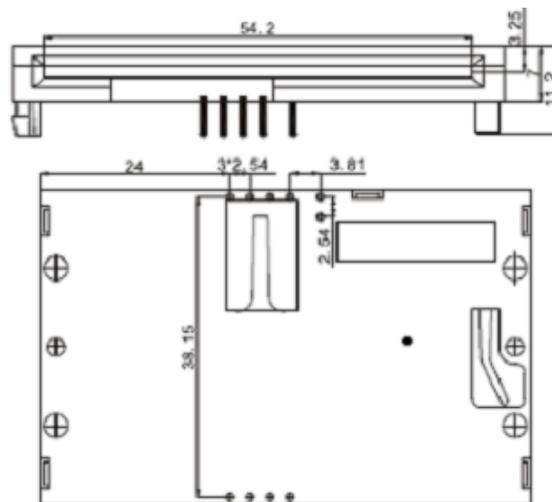


Figura 3.4. Conector de la TI de contacto con CI.

Además de las terminales ya mencionadas, se requirieron otras de información visual y sonora, como: un *led* de color verde para indicar que la tarjeta es correcta, además utilicé un *led* rojo y un tono grave con un buzzer, para indicar que la tarjeta es incorrecta.

El microcontrolador PIC que utilicé cuenta con un modo de operación denominado *sleep*, en donde consume 20 nA. Esto me permitió reducir consumos en momentos de inactividad. El PIC que utilicé trabaja en voltajes bajos desde 1.8 V – 3.6 V. Para poder utilizar una batería Li-Po que se llega a cargar hasta 4.2 V, necesité bajar el voltaje con la ayuda de un diodo que consuma 0.6 V, este diodo lo conecté en serie con el sistema y aseguré que el voltaje máximo del sistema no sea mayor a 3.6 V, además de brindar una protección en caso de que el usuario conecte la polaridad de la batería de forma inversa.

En la figura 3.5 se muestra el diagrama esquemático de conexiones que se necesitan para el módulo lector de tarjetas.

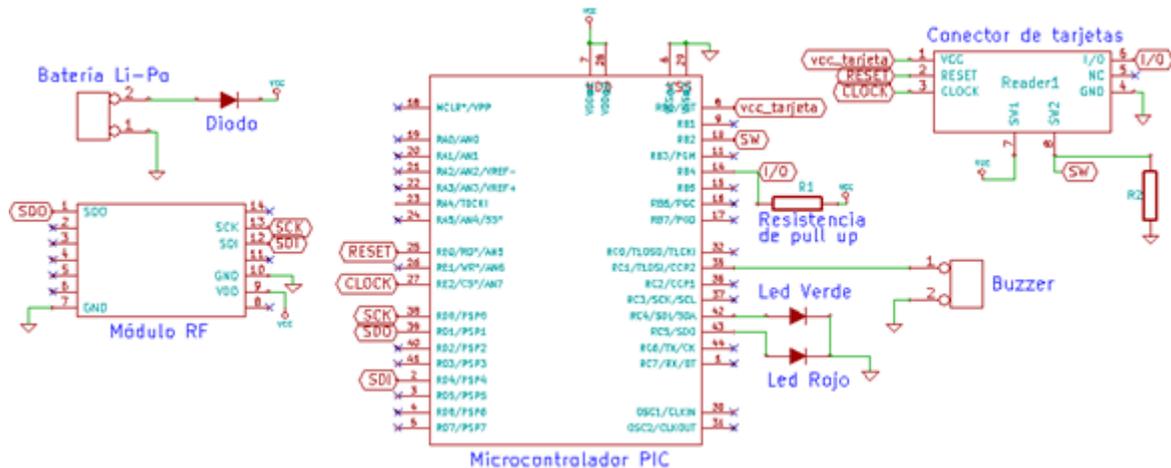


Figura 3.5. Diagrama de conexiones entre el microcontrolador y componentes del sistema.

El algoritmo de funcionamiento, a programar en el microcontrolador, debe considerar que la mayor parte del tiempo el módulo lector de tarjetas se va a encontrar sin actividad y por lo tanto se debe de poner en modo *sleep*, hasta que se detecte si la tarjeta de identificación fue introducida o retirada y el microcontrolador se despierte.

El algoritmo del módulo lector de tarjetas está dividido en dos partes importantes: el primero es el algoritmo de identificación y el segundo es el algoritmo de interrupción. El algoritmo que se muestra en la figura 3.6 es el de identificación, la principal función es saber si la tarjeta fue introducida correcta o incorrectamente, se emitirán sonidos y luces para informarle al huésped si la tarjeta es correcta o incorrecta y después se pondrá el microcontrolador en modo *sleep* para ahorrar energía.

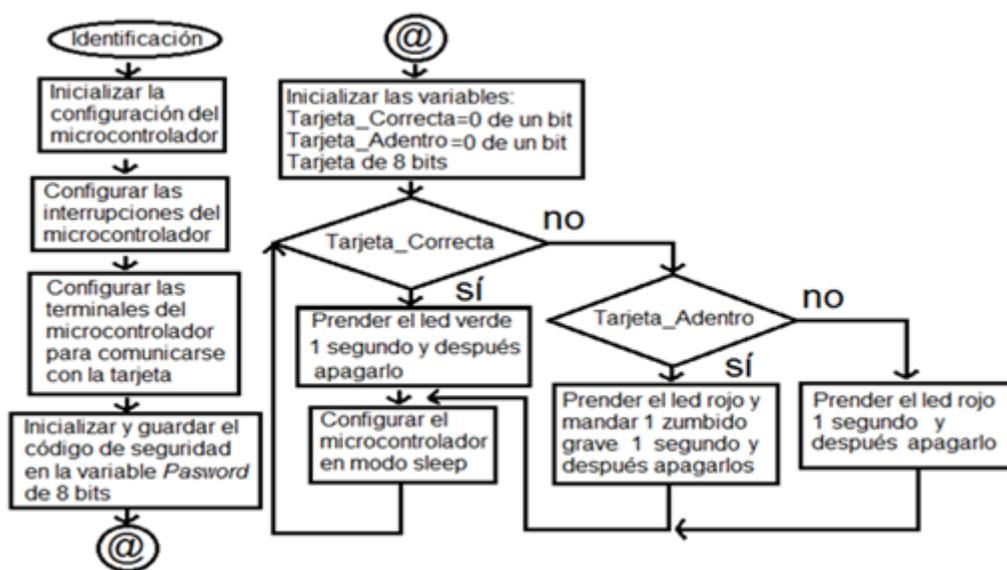


Figura 3.6. Algoritmo de Identificación.

El algoritmo de interrupción tiene como principal tarea el salir del modo *sleep* del algoritmo de identificación y detectar si la tarjeta entró o salió del conector de tarjetas; si entró se analiza el código de seguridad que tiene la tarjeta y si es correcto o incorrecto se le manda al algoritmo de inspección el estado de la tarjeta a través de la variable *Tarjeta_Correcta*. En la figura 3.7 se muestra el algoritmo de interrupción.

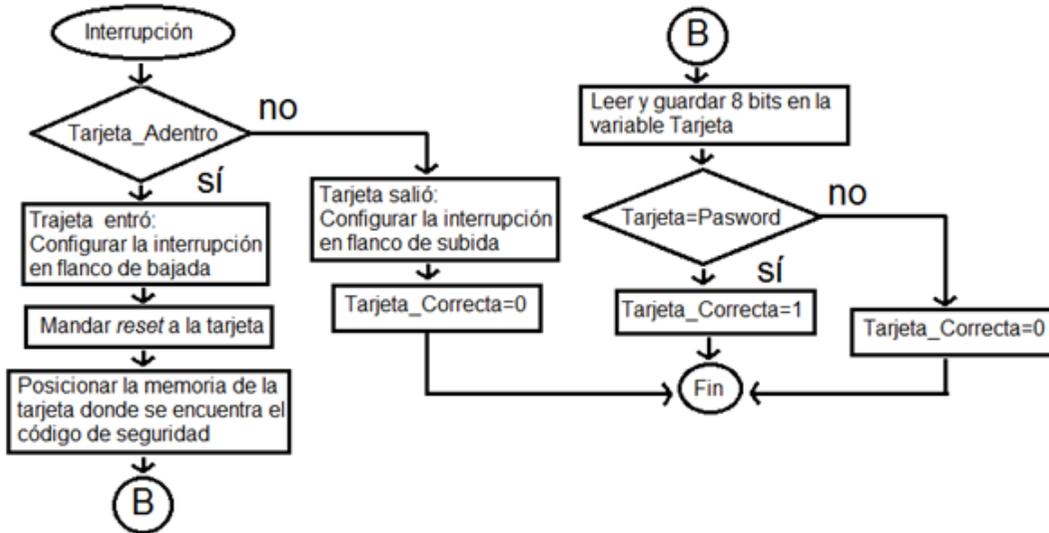


Figura 3.7. Algoritmo de interrupción.

3.1.4. Desarrollo

El proceso de desarrollo del lector inicio con la programación del algoritmo mencionado en los puntos anteriores, en lenguaje C en el *software* Mplab de la compañía *Microchip* y utilicé un compilador de C, el cual es el *CCS Compiler*. En la figura 3.8 se muestra el *software* donde programé el algoritmo.

```

File Edit View Project Debugger Programmer Tools Configure Window Help
Debug
Checksum:

#include <18Fxx.H>
#fuses INTRC_IO, NOPROTECT, NOWDT, NOBROWNOUT
#use delay(internal=8M)
#use rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7)

#byte ANSELA = 0xF38 //
#byte ANSELB = 0xF39 // Definiendo Regi
#byte ANSELC = 0xF3A // Definiendo Regi
  
```

Figura 3.8. *Software* Mplab de *Microchip* para programar microcontroladores PIC.

Después de programar el algoritmo, se debe compilar el programa: ejemplo.c en MPLAB, oprimiendo en *Make Project* y no detectar ningún error, como se muestra en la figura 3.9.

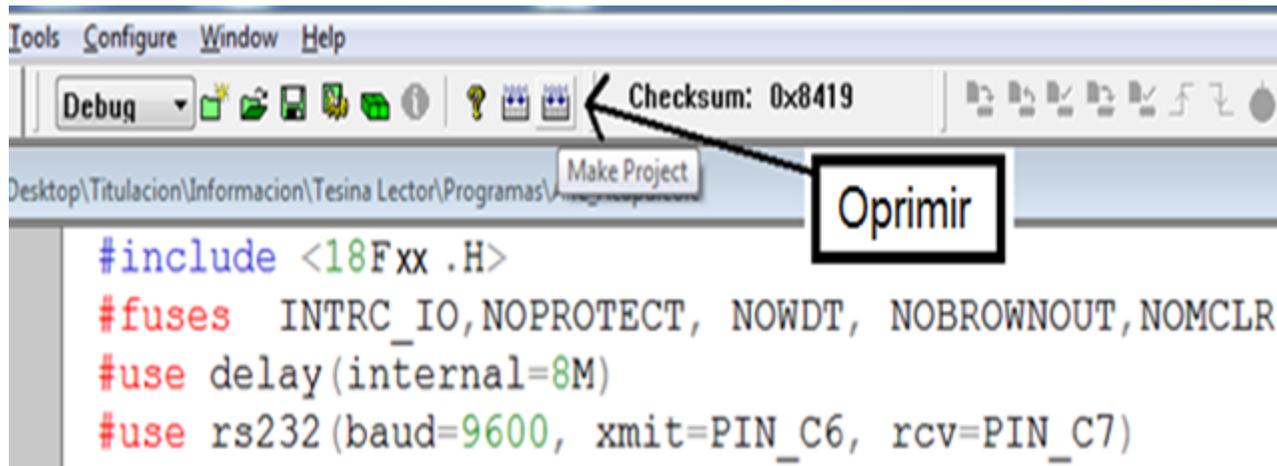


Figura 3.9. Compilar un programa en MPLAB.

Ya que se realizó el proceso de compilación se tiene que descargar, al microcontrolador, el archivo generado: ejemplo.exe, a través del programador de microcontroladores. Para escoger el programador correspondiente se tiene que oprimir en *Programmer*, después se debe oprimir en *Select Programmer* y finalmente se oprime en MPLAB ICD 3, como se puede observar en la siguiente figura.

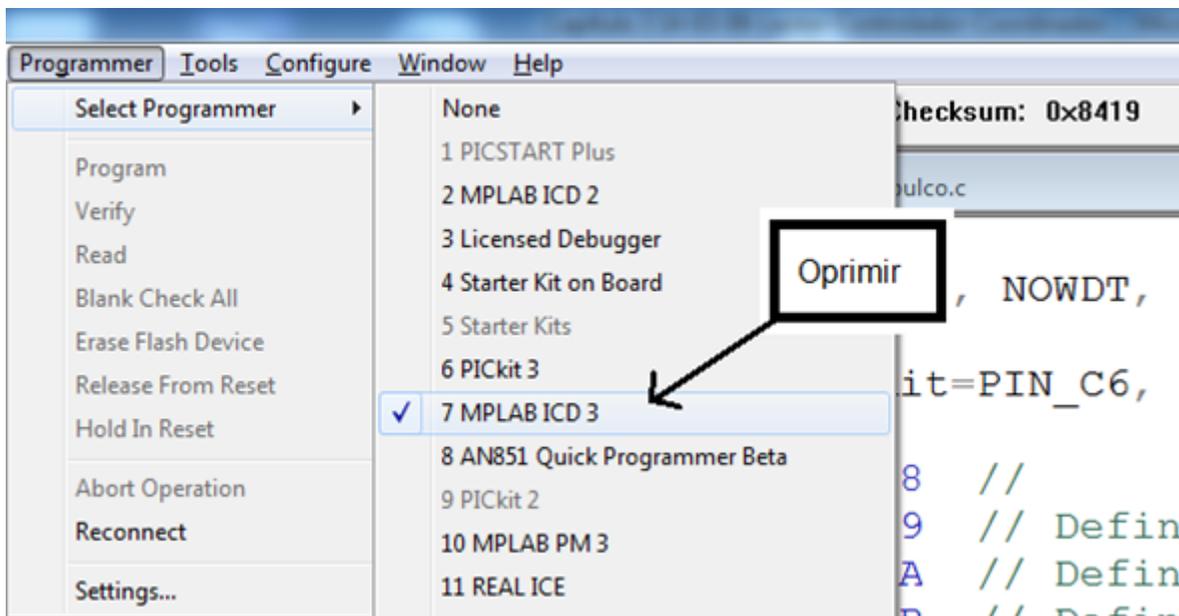


Figura 3.10. Selección del programador de microcontroladores.

Para poder descargar el programa al microcontrolador, necesité conectar a la PC la tarjeta Mplab ICD 3 de la compañía Microchip y conectar 5 terminales (VCC, GND, PGC, PGD, VPP) del programador al microcontrolador, como se muestra en la figura 3.11.

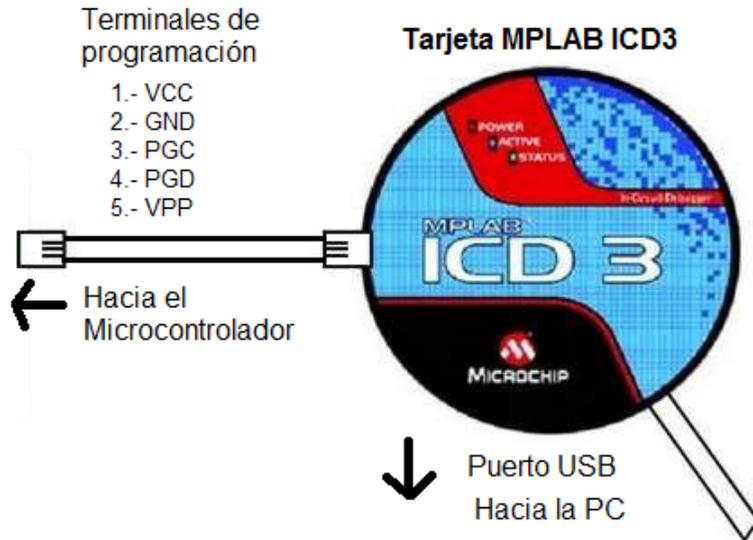


Figura 3.11. Tarjeta Mplab ICD 3 para programar microcontroladores PIC.

Una vez programado el PIC, lo coloqué en una tablilla de pruebas para ver el funcionamiento del microcontrolador. En esta tablilla de pruebas también coloqué cables de conexión desde el PIC hasta el conector de tarjetas y para identificar si la tarjeta es correcta, conecté un *led* verde, un *led* rojo y un *buzzer*. La tablilla de pruebas me permitió verificar si el programa del lector de tarjetas está funcionando correctamente. En la figura 3.12 se muestran las conexiones del conector de tarjetas al PIC.

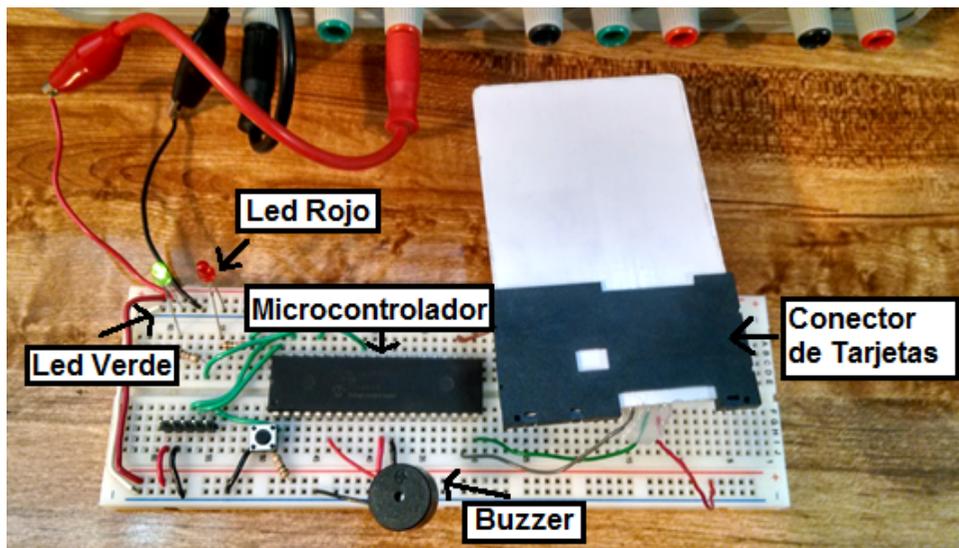


Figura 3.12. Tablilla de prueba entre el PIC y el conector de tarjetas.

Una vez que las pruebas en la tablilla fueron exitosas, pasé el diseño electrónico a una tarjeta de circuito impreso. El circuito impreso lo desarrollé en un programa de *software* libre especializado para este proceso, el programa es KiCad. Dentro del ambiente KiCad hay un programa: *Schematic Editor* que me permitió hacer el diagrama de conexiones del circuito, en la figura 3.13 se observa un ejemplo.

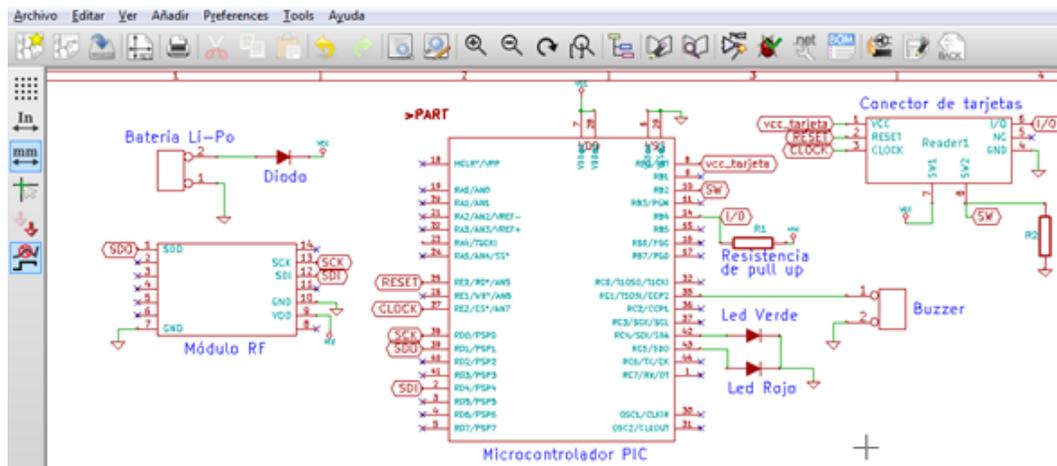


Figura 3.13. Programa *Schematic Editor* de KiCad.

Después de generar el diagrama, KiCad tiene un programa llamado: *Components to modules*, donde la principal tarea del *software* es asignarle a cada componente generado en *Schematic Editor* una plantilla de cómo se va a ver el componente en la tarjeta final, describiendo número de perforaciones, ancho de los *pads*, serigrafía, etc. En la figura 3.14 se muestra el *software*.

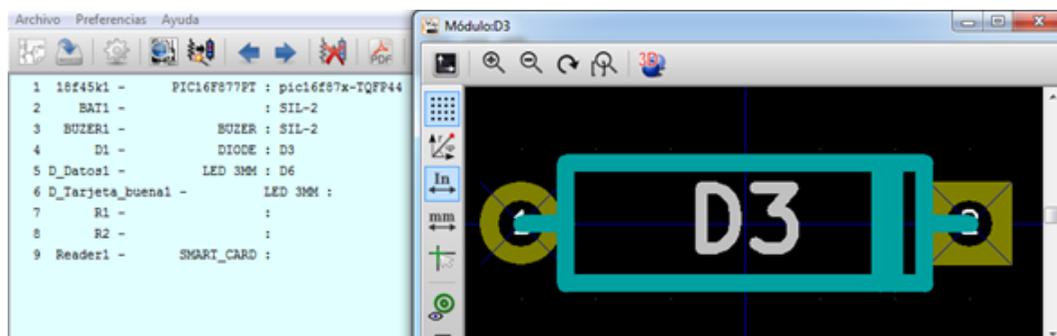


Figura 3.14. Programa *Components to modules* de KiCad.

El último proceso del diseño de la tarjeta electrónica lo hice en el *PCB Editor* del ambiente de KiCad, donde ya teniendo la forma de los componentes, procedí a definir de qué lado se van a colocar los componentes electrónicos, sí en la capa superior o inferior, después hice las conexiones entre los componentes, también diseñé el tamaño de la tarjeta así como las perforaciones que debe llevar para ser sujeta al gabinete. En la figura 3.15 se muestra el programa para diseñar circuitos impresos en KiCad.

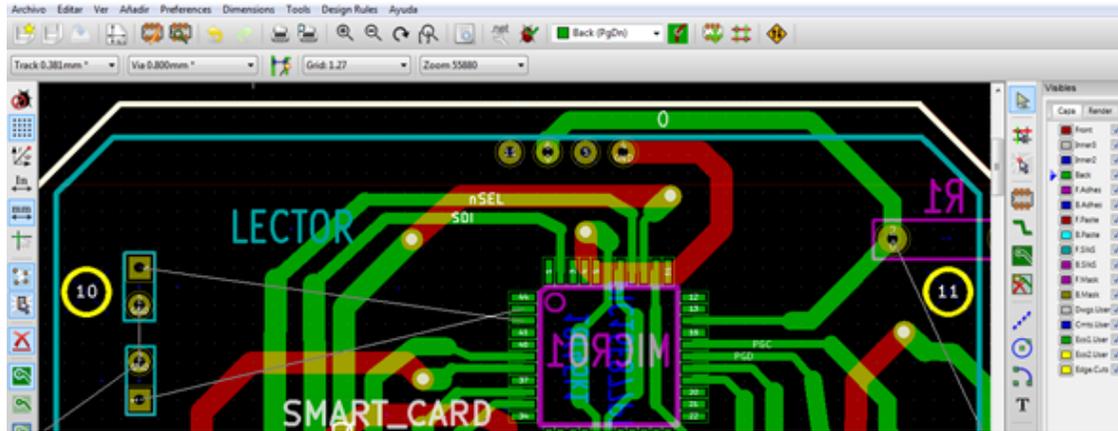


Figura 3.15. Programa *PCB Editor* de KiCad para diseñar circuitos impresos.

Cuando terminé el diseño del circuito impreso fabriqué la tarjeta electrónica. El primer paso fue imprimir en papel *couche* las capas superior e inferior del diseño de circuito impreso y utilizando una tarjeta fenólica de doble cara de cobre coloqué las impresiones sobre cada capa. Posteriormente utilicé una plancha caliente y por transferencia térmica se le adhieren las líneas del papel *couche* a la tarjeta fenólica. El segundo paso fue revelar las líneas de la fenólica utilizando cloruro férrico; la función del cloruro férrico fue la de disolver el cobre que no está cubierto con tinta, dejando al final las pistas de cobre que forman el circuito impreso. El tercer paso fue hacer las perforaciones necesarias con un taladro de banco para insertar los componentes electrónicos y después soldarlos con soldadura de estaño y un cautín. En la figura 3.16 se muestra el prototipo de circuito impreso para el lector de tarjetas.

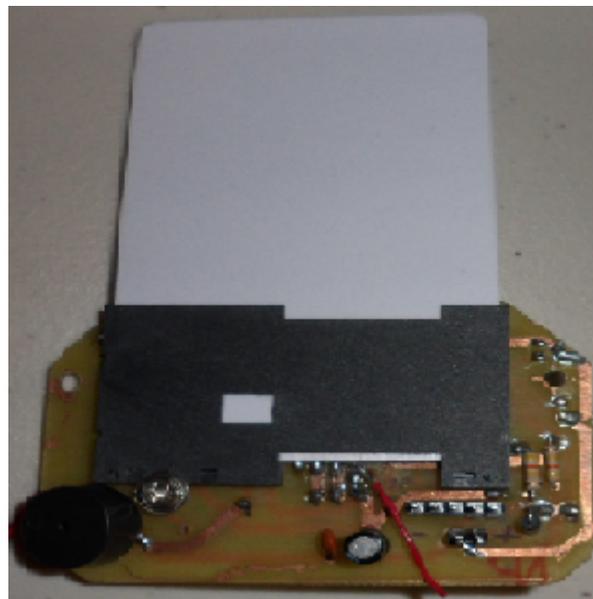


Figura 3.16. Prototipo de circuito impreso para el módulo lector de tarjetas.

3.2. Módulo controlador

El módulo controlador me permitió interrumpir el suministro eléctrico al equipo de aire acondicionado en la habitación de un hotel. El huésped para que pueda utilizar el aire acondicionado deberá de introducir una tarjeta de identificación en el lector de tarjetas, después se enviará una información de forma inalámbrica al controlador para su activación.

3.2.1. Definición de requerimientos

La definición de requerimientos para elaborar el módulo controlador la realicé en conjunto con la empresa, teniendo como base el ofrecer un buen producto a un bajo costo. Los puntos más importantes que se consideraron fueron:

- Debe poder controlar el suministro de la línea eléctrica
- Integrar un módulo RF en el controlador
- No se debe modificar la arquitectura de la habitación
- Fácil de instalar

Para controlar el suministro eléctrico de una habitación utilicé un par de etapas de control, para ello utilicé un transistor que controló el encendido de un relevador, el cual me permitió interrumpir la energía eléctrica de 127 VCA a una carga máxima de 30 A.

El módulo controlador tiene integrado un módulo RF, con el que se comunica de forma inalámbrica con otros dispositivos.

No modificar la arquitectura de la habitación del hotel es uno de los requerimientos más importantes, necesité que no se agreguen cables de forma externa, que vayan por la pared para energizar el módulo controlador. Utilicé el contacto eléctrico donde se conecta el aire acondicionado de tipo ventana o minisplit, colocando de forma externa sobre éste el gabinete del módulo controlador.

Utilizar gabinetes comerciales facilitó la instalación del módulo controlador, como es el uso de contactos eléctricos para exteriores, ya que son comúnmente utilizados por instaladores eléctricos y esto permite que ya estén familiarizados con el gabinete y tengan el conocimiento para sujetarlos a la pared de la habitación. Existen en el mercado una gran variedad de gabinetes de contactos eléctricos para exteriores, esto me permitió tener diferentes tamaños para adaptar la tarjeta de circuito impreso al gabinete.

3.2.2. Fuente de alimentación

La fuente de alimentación, que energizó los componentes electrónicos del módulo controlador, necesitó de 2 voltajes de corriente continua; el microcontrolador y el módulo de RF trabajan a 3.3 VCC y la etapa de potencia trabaja a 12 VCC.

La fuente de alimentación debe de contar con protección contra variaciones pequeñas de sobrevoltajes, para esto utilicé un varistor. Para obtener voltaje de corriente continua utilicé un convertidor VCA-VCC, que me permitió convertir los 127 VCA a 12 VCC. Después del convertidor VCA-VCC agregué una etapa de filtrado, un filtro pasa bajas LC, quedándome sólo con la componente de VCC y eliminar el ruido. Para obtener el voltaje de 3.3 VCC utilicé un regulador lineal de voltaje y un capacitor C_2 en la salida, que recomienda el fabricante para una mejor estabilidad. En la figura 3.17 se muestra el circuito de la fuente de alimentación que se va a emplear para el módulo controlador.

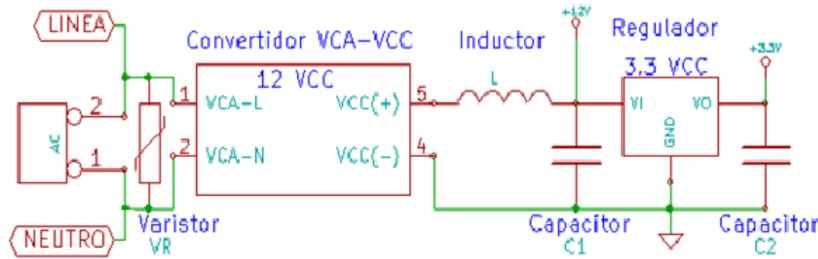


Figura 3.17. Diagrama del circuito electrónico para la fuente de alimentación.

3.2.3. Microcontrolador PIC y etapa de control

El algoritmo que implementé en el módulo controlador depende solamente de la información que se reciba del módulo RF de forma inalámbrica, éste se comunica con el microcontrolador PIC a través de SPI. El algoritmo depende básicamente de la variable Aire_Acondicionado, que es la variable modificada que recibe información en el módulo RF. El suministro eléctrico se activa si la variable Aire_Acondicionado es igual a 1 y se apaga si la variable Aire_Acondicionado es igual a 0. El diagrama de flujo del algoritmo se muestra en la figura 3.18.

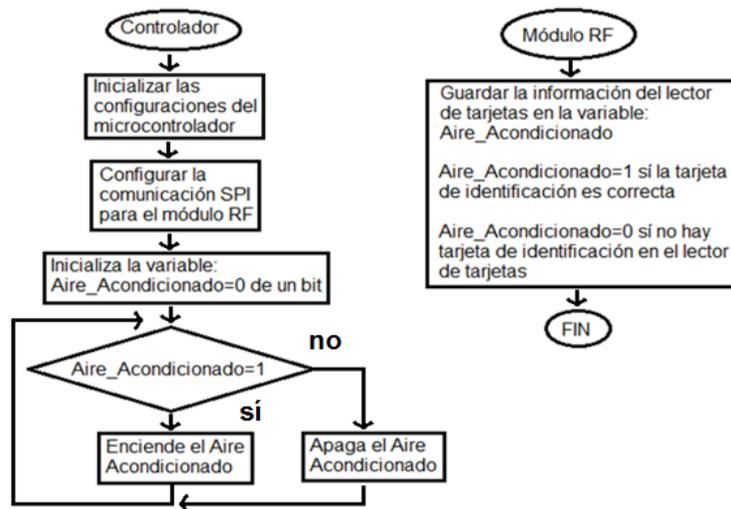


Figura 3.18. Diagrama de flujo para el algoritmo del módulo controlador.

Para controlar el suministro eléctrico desde el microcontrolador necesité de un par de etapas de control. La primera etapa de control fue utilizar un transistor en configuración saturación y corte. El transistor me permitió encender o apagar la segunda etapa de control que es un relevador. Con el relevador controlé 127 VCA de la línea eléctrica a una carga máxima de 30 A y utilicé un diodo en paralelo al relevador para evitar dañar el transistor al apagar el relevador. En la figura 3.19 se muestran al microcontrolador PIC y sus etapas de control.

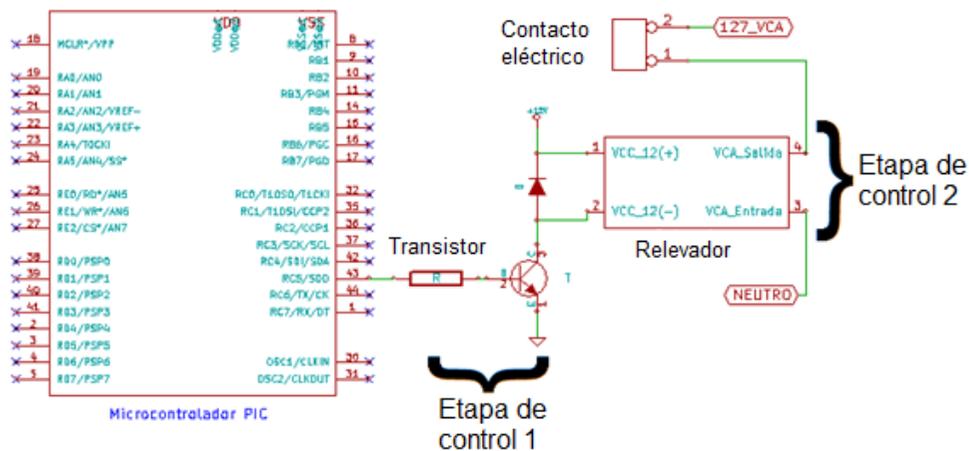


Figura 3.19. Diagrama electrónico entre el microcontrolador PIC y etapas de control.

3.2.4. Desarrollo del módulo controlador

La primera actividad en el desarrollo del módulo controlador fue programar el algoritmo en lenguaje C, con el *software* Mplab de *Microchip* y el compilador *Compiler*. Una vez que desarrollé el programa, éste fue descargado en el microcontrolador PIC a través del programador de microcontroladores Mplab ICD 3. En la figura 3.20 se muestra la tablilla de prueba con las conexiones entre el microcontrolador PIC y la etapa de control.

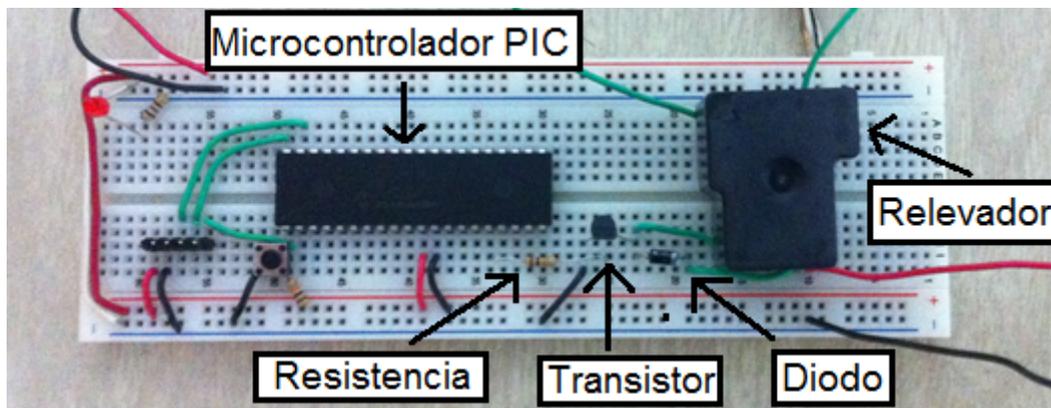


Figura 3.20. Tablilla de prueba entre el microcontrolador PIC y la etapa de control.

Cuando las pruebas en la tablilla fueron exitosas, pasé el diseño electrónico a una tarjeta de circuito impreso. En la figura 3.21 se muestra el prototipo de circuito impreso para el módulo controlador.

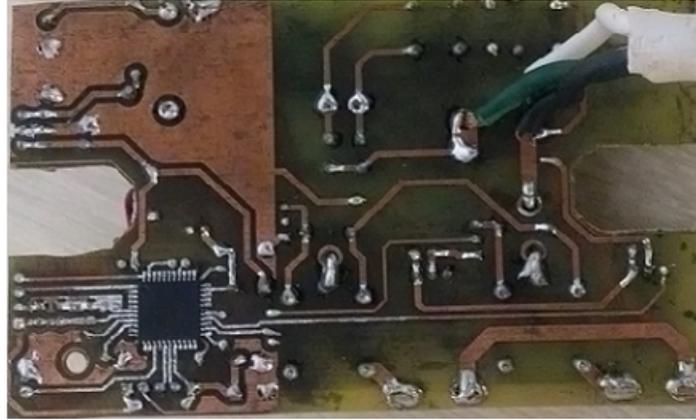


Figura 3.21. Prototipo de circuito impreso para el módulo controlador.

3.3. Módulo coordinador

El módulo coordinador es el encargado de controlar el flujo de la información entre módulos lectores y controladores. Éste, al recibir la información de que un módulo lector tiene una TI correcta, manda la información al módulo controlador correspondiente, para permitir el acceso al suministro eléctrico y poder encender el aire acondicionado.

El control del suministro eléctrico del aire acondicionado también se puede hacer desde un módulo coordinador conectado a la PC. El módulo coordinador se conecta a través del puerto USB a la PC y se utiliza un *software* que desarrollo la empresa, donde se indica que número de módulo controlador se quiere encender o apagar.

Para lograr una red de comunicación inalámbrica en todo el hotel, cada coordinador debe contar con dos módulos RF, un primer módulo RF para distancia corta, que controla la información entre módulos lectores y controladores, además un segundo módulo de RF para distancia larga, que controla el flujo de información entre módulos coordinadores para que llegue la información a la PC.

3.3.1. Definición de requerimientos

Los puntos más importantes que definieron el desarrollo del coordinador son:

- Se debe contar con dos módulos de RF para corta y larga distancia
- Tener una fuente de alimentación de 3.3 VCC y 12 VCC
- Debe contar con un sistema de configuración externa
- Debe conectarse a la PC a través del puerto USB

Se interconectó un microcontrolador PIC al módulo RF de corta distancia a través de SPI y otro microcontrolador PIC al módulo RF de larga distancia también por SPI.

Para el desarrollo de la fuente de alimentación del módulo coordinador se puede utilizar la fuente de alimentación del módulo controlador, ya que la corriente máxima que se le puede demandar es de 250 mA y la demanda máxima de los componentes electrónicos del módulo coordinador es de 200 mA, además la fuente de alimentación del módulo controlador brinda los voltajes de 3.3 VCC y 12 VCC que se necesita.

Para que la tarjeta electrónica cuente con un sistema de configuración externa, agregué un *dip switch* de 8 interruptores para poder configurar a cada coordinador con un número en la red inalámbrica, además de poder configurar la red del hotel y diferenciarla de otros hoteles que cuente con el mismo sistema. Los interruptores 1-5 configuran el número de coordinador y los interruptores 6-8 configuran el número de hotel. En la figura 3.22 se muestra la forma de configuración.

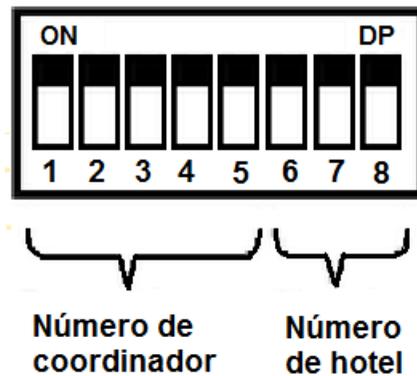


Figura 3.22. Configuración del número de coordinador y hotel.

La tarjeta electrónica tiene un microcontrolador PIC dedicado al manejo de la comunicación USB para que se pueda conectar a la PC. La tarea de este microcontrolador es de controlar el flujo de información entre el microcontrolador conectado al módulo RF de distancia corta y el microcontrolador conectado al módulo RF de distancia larga, además recibe el número de configuración que tiene el *dip switch* para asignárselo al módulo coordinador.

3.3.2. Diagrama a bloques y circuito impreso

Para realizar la tarjeta electrónica del módulo coordinador, interconecté por SPI los dos microcontroladores con su respectivo módulo de RF y agregué un tercer microcontrolador para que maneje la comunicación por USB. El microcontrolador PIC con comunicación USB lo conecté por SPI a cada microcontrolador para poder enviarle a la PC la información que necesite, además de que él tiene agregado el *dip switch* para configurar el número de coordinador en la red inalámbrica del hotel.

Todos los microcontroladores cuentan con terminales del programador, para descargarles el código del protocolo de comunicaciones y las tareas que desempeñan en la tarjeta. Los microcontroladores cuentan con una salida de comunicación RS-232, para que se comuniquen por el puerto serie a una PC y se pueda depurar el código del protocolo de comunicaciones en el módulo coordinador. En la figura 3.23 se puede observar el diagrama a bloques de la tarjeta electrónica del módulo coordinador.

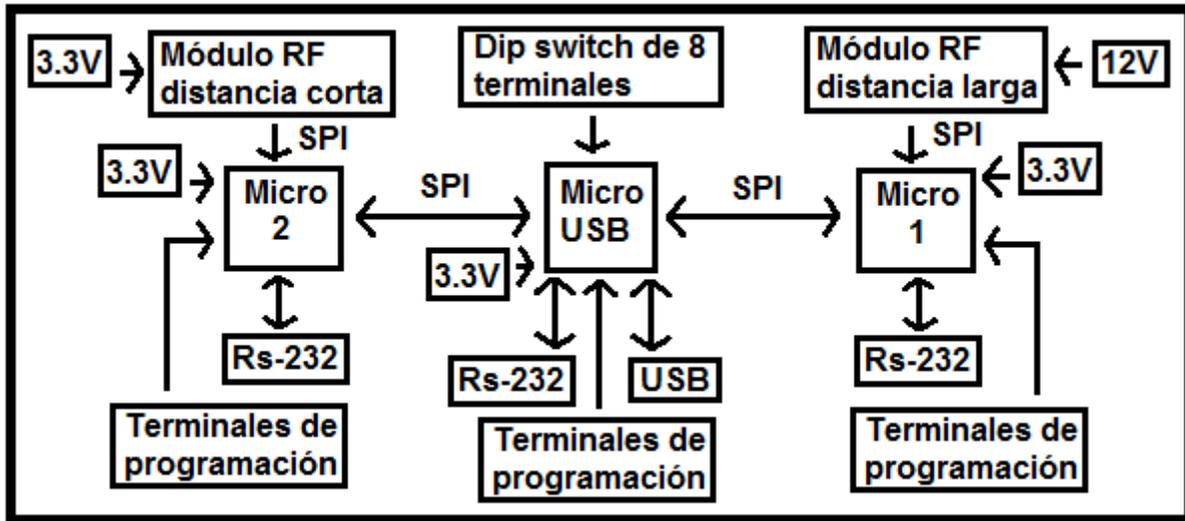


Figura 3.23. Diagrama a bloques del módulo coordinador.

Una vez terminado el esquemático electrónico del módulo coordinador, realicé la tarjeta de circuito impreso en KiCad. En la figura 3.24 se muestra el prototipo de circuito impreso para el módulo coordinador.

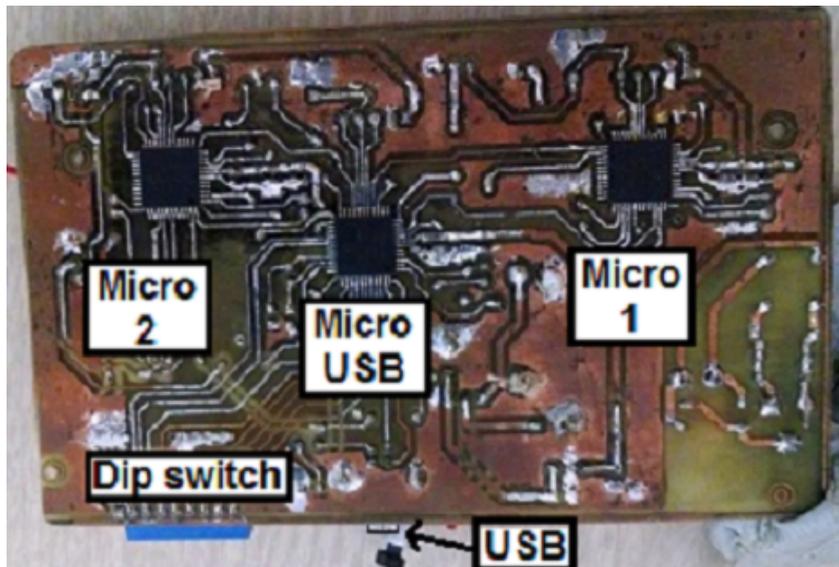


Figura 3.24. Prototipo de circuito impreso para el módulo coordinador.

3.4. Integración

La integración de los módulos base para el control de suministro de energía eléctrica en hoteles es muy importante, ya que permite ver como interactuarán los módulos entre sí y poder hacer pruebas de funcionamiento del sistema total, para revisar si las tarjetas electrónicas se desempeñan adecuadamente y además verificar si el algoritmo que se propuso es correcto.

3.4.1. Integración de los módulos lector de tarjetas y coordinador

La integración entre los módulos lector de tarjetas y coordinador consiste en introducir la TI con su código de seguridad, para que el módulo lector de tarjetas lea y envíe por RF al módulo coordinador, que la TI está adentro y su información es correcta. El módulo coordinador recibe la información del módulo lector de tarjetas por RF y envía esa información al microcontrolador que maneja la comunicación con la PC a través del puerto serie y muestre la información que le envió el módulo lector de tarjetas en pantalla.

Para lograr la comunicación entre la PC y el microcontrolador utilicé un circuito electrónico que adapta los niveles de voltaje. El circuito soluciona los problemas de niveles de voltaje cuando se requiere enviar unas señales digitales sobre una línea RS-232. Este circuito integrado lo utilicé en aquellas aplicaciones donde no se dispone de fuentes dobles de +12V y -12V. El circuito necesita solamente una fuente de +3.3V para su operación, internamente tiene un elevador de voltaje que convierte el voltaje de +3.3V al de doble polaridad de +12V y -12V, como se muestra en el diagrama de la figura 3.25.

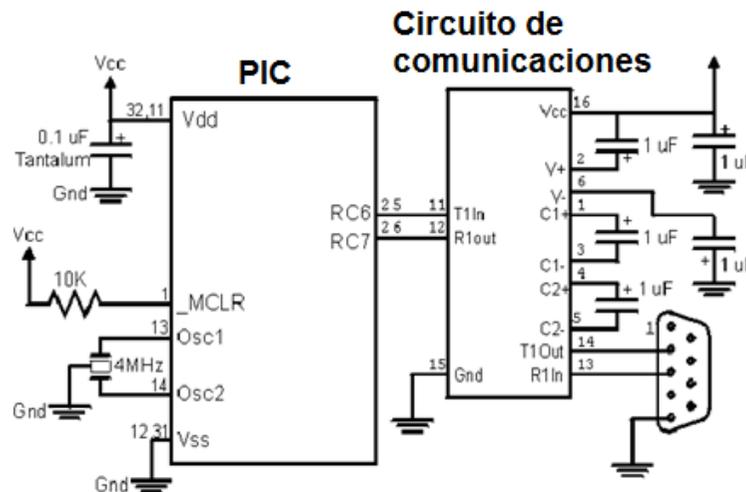


Figura 3.25. Conexión entre microcontrolador y circuito de comunicaciones.

Para visualizar los datos en la PC utilicé el programa *hyperterminal*, que es un programa informático que simula el funcionamiento del puerto serie de una PC. En la *hyperterminal* se configuraron algunos datos de comunicación, como son: puerto de comunicación, velocidad de transmisión, *bit* de paridad, *bits* de datos y *bits* de paro, como se observa en la figura 3.26.

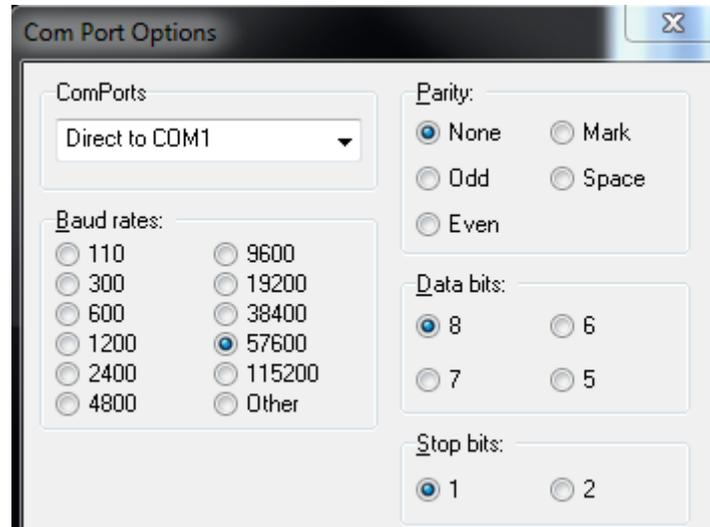


Figura 3.26. Configuración de la *hyperterminal* en la PC.

Realicé varias pruebas introduciendo y retirando la TI del módulo lector de tarjetas, para revisar el comportamiento y observando los mensajes que envía a través de la PC en la *hyperterminal*, los mensajes están encriptados, para tener una mejor seguridad en la información. Los mensajes cortos indican que el módulo lector de tarjetas tiene comunicación con el módulo coordinador y los mensajes largos indican que la TI se introdujo en el módulo lector de tarjetas con el código correcto y el segundo mensaje largo indica que la TI salió, en la figura 3.27 se pueden ver los mensajes.

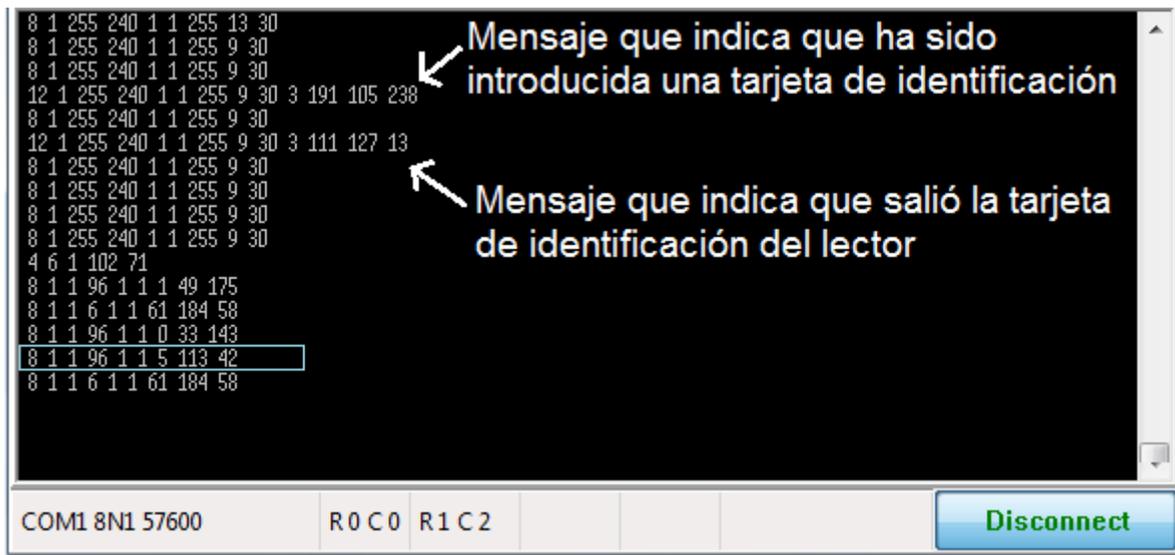


Figura 3.27. Mensajes enviados entre los módulos lector de tarjetas y coordinador.

3.4.2. Integración de los módulos controlador y coordinador

Para la integración de los módulos controlador y coordinador, conecté a la PC el módulo coordinador a través del puerto USB y utilizando un *software* diseñado por la empresa, se envían los mensajes desde el módulo coordinador hasta el módulo controlador por RF, como se observa en la figura 3.28.

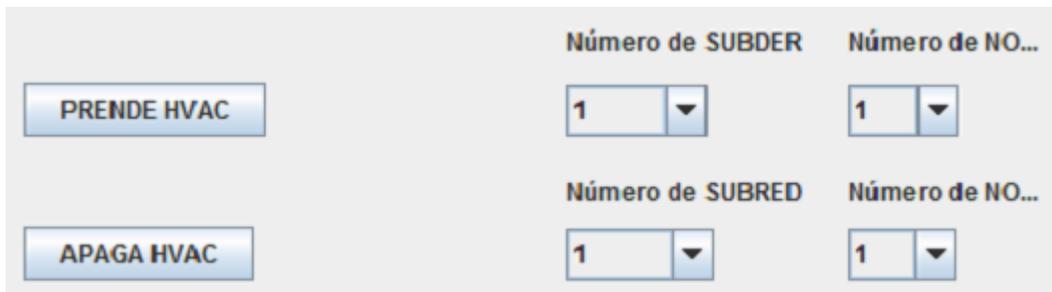


Figura 3.28. *Software* para enviar mensajes desde la PC por RF al controlador.

Ya que el módulo coordinador envió el mensaje de encendido al módulo controlador por RF, utilicé el aire acondicionado que se encuentra conectado al enchufe que tiene el módulo controlador, como se observa en la figura 3.29, después hice pruebas a distancia alejando el módulo controlador y conectando un foco en el enchufe, pudiendo prender y apagar el foco desde la PC.



Figura 3.29. Acceso al suministro eléctrico desde la PC.

3.4.3. Integración de los módulos lector de tarjetas, coordinador y controlador

En la integración de todos los módulos base: lector de tarjetas, coordinador y controlador, primero se tiene que asignar un número de identificación al módulo lector de tarjetas y al módulo controlador, después se conecta el módulo coordinador por USB a la PC, y por medio del *software* desarrollado por la empresa, se hace una relación entre el número de identificación del módulo lector de tarjetas y el número de identificación del módulo controlador, quedando asociados en la red inalámbrica que tiene el módulo coordinador, como se observa en la figura 3.30.

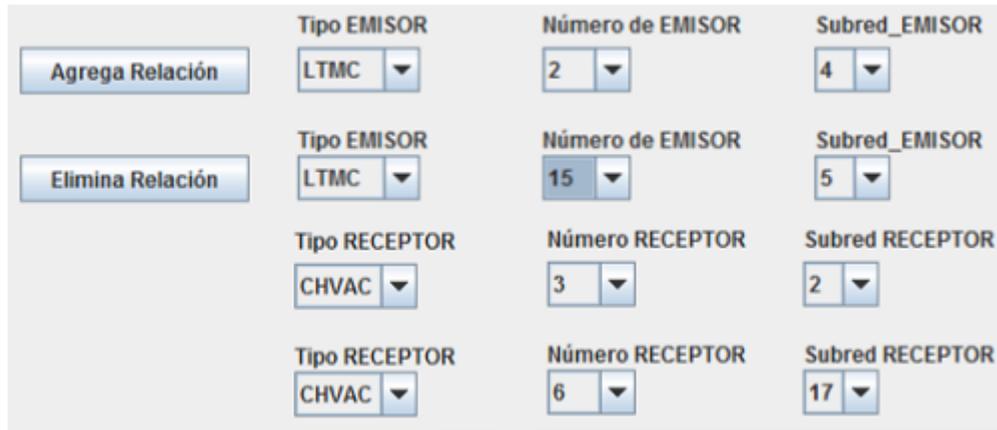


Figura 3.30. Configuración de relación entre los módulos base.

Después de hacer las relaciones en el *software*, se probaron los módulos base. Se introdujo la TI en el módulo lector de tarjetas y después se encendió el foco que estaba conectado al enchufe del módulo controlador, como se muestra en la figura 3.31, después se retiró la TI y el foco se apagó, se repitió varias veces este procedimiento para comprobar que los módulos base estaban integrados correctamente.

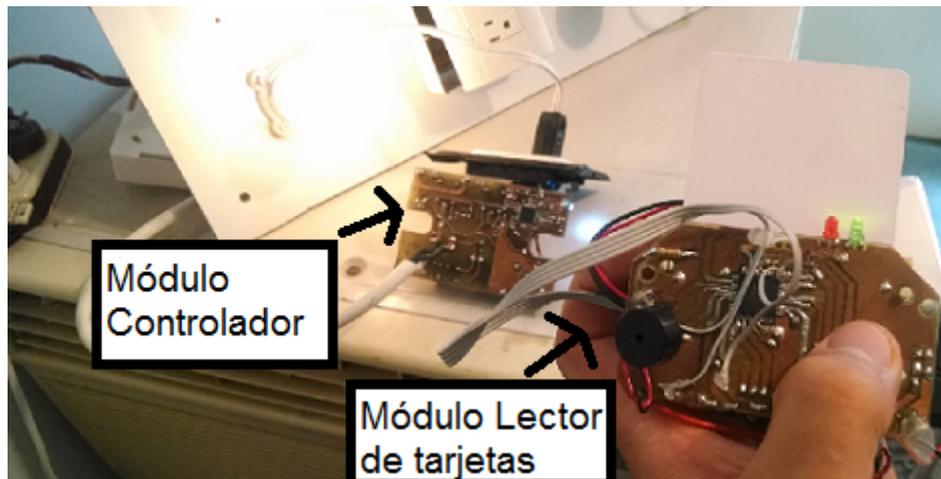


Figura 3.31. Integración entre los módulos base.

3.5. Gabinetes

Los gabinetes que se obtuvieron son para las tarjetas electrónicas de los módulos: lector de tarjetas, controlador y coordinador. El gabinete es una de las partes más importantes que tiene un producto, ya que dependiendo de su diseño, facilita su instalación. El gabinete debe de contar con postes plásticos para sujetar la tarjeta electrónica con tornillos y sellar perfectamente para no permitir la entrada de polvo y esto dañe con el tiempo los componentes electrónicos de la tarjeta electrónica.

3.5.1. Gabinete del módulo lector de tarjetas

El gabinete del módulo lector de tarjetas tiene varias consideraciones, la primera fue que el gabinete cuente con una ranura para introducir la TI, como se muestra en la figura 3.32.



Figura 3.32. Ranura del gabinete del módulo lector de tarjetas.

El segundo parámetro que consideré fue que el gabinete cuente con al menos dos postes plásticos para sujetar la tarjeta electrónica. En la figura 3.33 se observan los postes plásticos.



Figura 3.33. Sujeción para la tarjeta electrónica.

El tercer parámetro a considerar, fue que el gabinete cuente con inserciones plásticas para poder fijarse a la pared y con esto facilite su instalación, como se observa en la figura 3.34.



Figura 3.34. Inserciones plásticas para el módulo lector de tarjetas.

3.5.2. Gabinete del módulo controlador

El gabinete del módulo controlador consistió en encontrar una caja de contacto eléctrico comercial, pero que tuviera espacio suficiente en su interior, para poder introducir la tarjeta electrónica. La caja de contacto eléctrico para exteriores cumple con esas características, como se muestra en la figura 3.35.



Figura 3.35. Caja de contacto eléctrico para exteriores.

La caja de contacto eléctrico para exteriores de uso comercial, facilita la instalación para los electricistas, ya que las perforaciones que tiene para fijarse a la pared son una distancia estándar en cajas de contacto eléctrico. En la figura 3.36 se observan las perforaciones para sujetar el gabinete del módulo controlador a la pared.



Figura 3.36. Perforaciones del gabinete del módulo controlador.

3.5.3. Gabinete del módulo coordinador

El gabinete del módulo coordinador debe de considerarse bastante amplio, ya que el prototipo de la tarjeta electrónica del módulo coordinador que desarrollé fue de 10x15cm. El gabinete cuenta con al menos 2 puntos de sujeción para atornillar la tarjeta electrónica, en la figura 3.37 se muestran los postes plásticos.

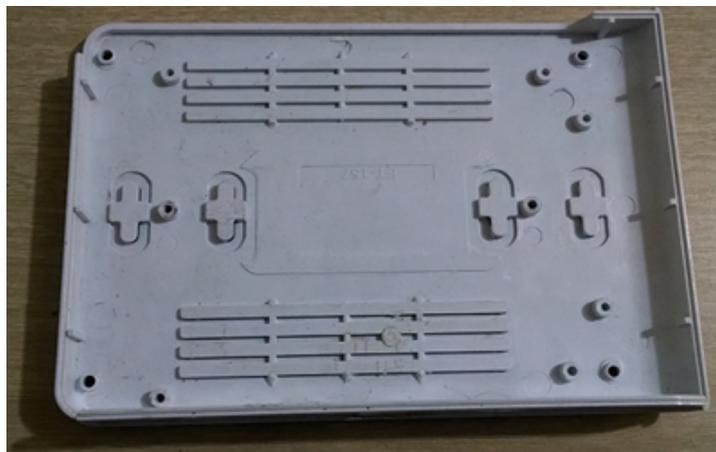


Figura 3.37. Postes plásticos del gabinete del módulo coordinador.

El gabinete cuenta con inserciones de plástico para poder fijarse a la pared y esto facilite su instalación, como se muestra en la figura 3.38.



Figura 3.38. Puntos de inserción del gabinete del módulo coordinador.

El desarrollo del diseño e integración de los módulos base para el control de suministro de energía eléctrica en hoteles se completó, ahora el siguiente paso es terminar el producto final, evaluarlo y hacer pruebas de campo del sistema en un hotel, que se desarrollará en el siguiente capítulo.

Capítulo 4

Fabricación, evaluación y rediseño

En este capítulo presentaré la fabricación de los módulos base para el control de suministro de energía eléctrica en hoteles. Mostraré una prueba del funcionamiento del sistema que se hizo en las oficinas de la empresa. También presentaré la evaluación que se hizo de su operación ya en una aplicación real, en el hotel “Rey del Mar”, y finalmente los resultados y correcciones realizadas.

4.1. Fabricación

La fabricación de los módulos base para el control de suministro de energía eléctrica en hoteles, consistió en que cambié el contorno de las tarjetas electrónicas de los prototipos de los módulos base: lector de tarjetas, controlador y coordinador, para que se adaptaran a la forma de sus gabinetes correspondientes, también realicé las perforaciones correspondientes para que las tarjetas electrónicas se puedan atornillar a los gabinetes. Agregé serigrafía poniendo el logo del producto y página de internet de la empresa.

Para poder manufacturar las tarjetas electrónicas se tiene que generar un archivo *gerber* RS-274X que es un estándar de diseño de circuitos impresos, que contiene información de las características de manufactura que se requieren para su fabricación. El archivo *gerber* RS-274X lo generé desde el *software* de KiCad.

Las capas que agregué al archivo *gerber* RS-274X se muestran en pares, capa superior y capa inferior, que son las que interconectan los componentes electrónicos; capas de máscara, que brindan un recubrimiento de barniz en las pistas de cobre de la tarjeta para protegerla, el único lugar donde no se pone máscara es en los puntos de soldadura de los componentes electrónicos; las capas de serigrafía, que son las que ayudan a identificar el lugar donde se colocan los componentes electrónicos para ser soldados, además de ponerles polaridad a los circuitos electrónicos que lo requieran; la capa de perforaciones, que es la que indica el número y tamaño de perforación que requieren los componentes electrónicos, así como uniones entre capa de cobre superior e inferior; la capa de cortes, que es la que permite definir los cortes en la tarjeta electrónica, como son: el contorno y los agujeros para que se pueda sujetar con tornillos a algún gabinete. En la figura 4.1 se muestran las capas que se agregan a las tarjetas electrónicas.

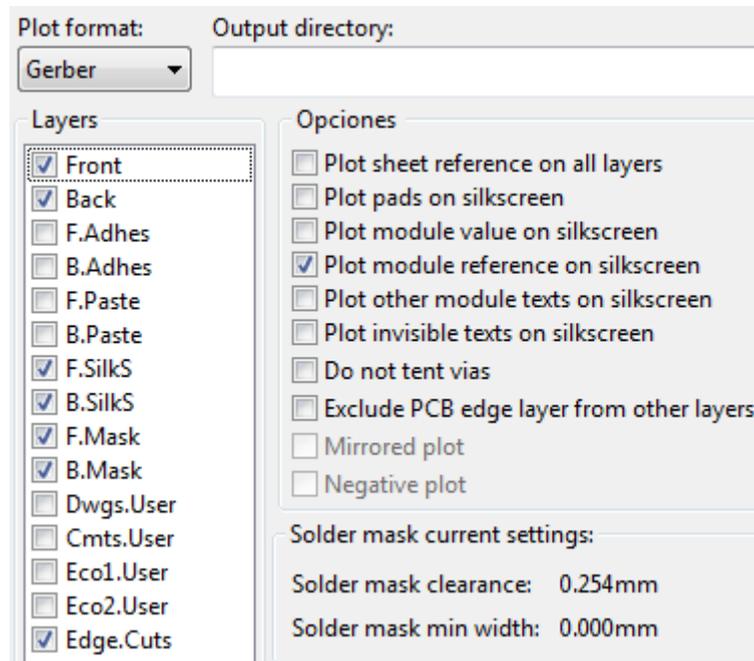


Figura 4.1. Capas que se agregan al archivo *gerber* RS-274X.

Después de que realicé el archivo *gerber* RS-274X de cada tarjeta electrónica de los módulos base, las envié al proceso de manufactura.

En las figuras 4.2, 4.3 y 4.4 se muestran las tarjetas electrónicas de los módulos base con un proceso de manufactura industrial.

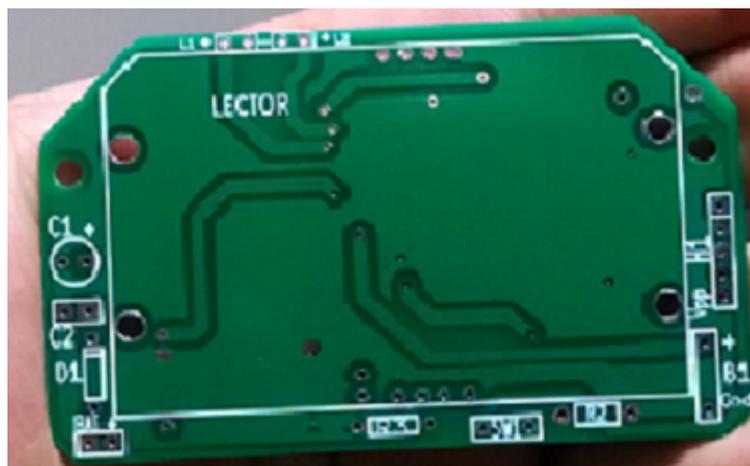


Figura 4.2. Tarjeta electrónica del módulo lector de tarjetas.



Figura 4.3. Tarjeta electrónica del módulo controlador.

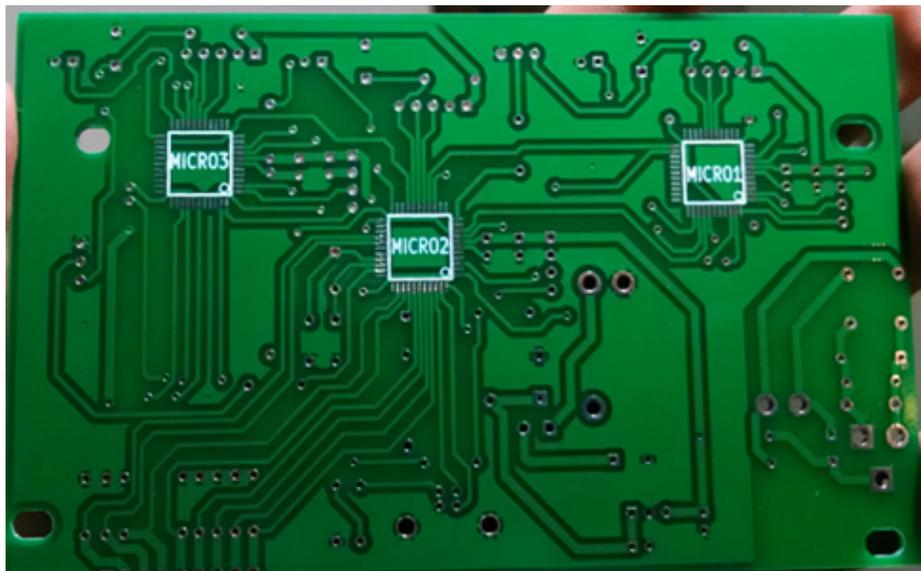


Figura 4.4. Tarjeta electrónica del módulo coordinador.

Ya que tenía todas las tarjetas electrónicas manufacturadas, junté todos los componentes electrónicos para cada tarjeta electrónica y las envié a una empresa, donde se soldaron los componentes electrónicos a través de máquinas especializadas, en la figura 4.5 se muestran las tarjetas electrónicas de los módulos con los componentes electrónicos soldados.

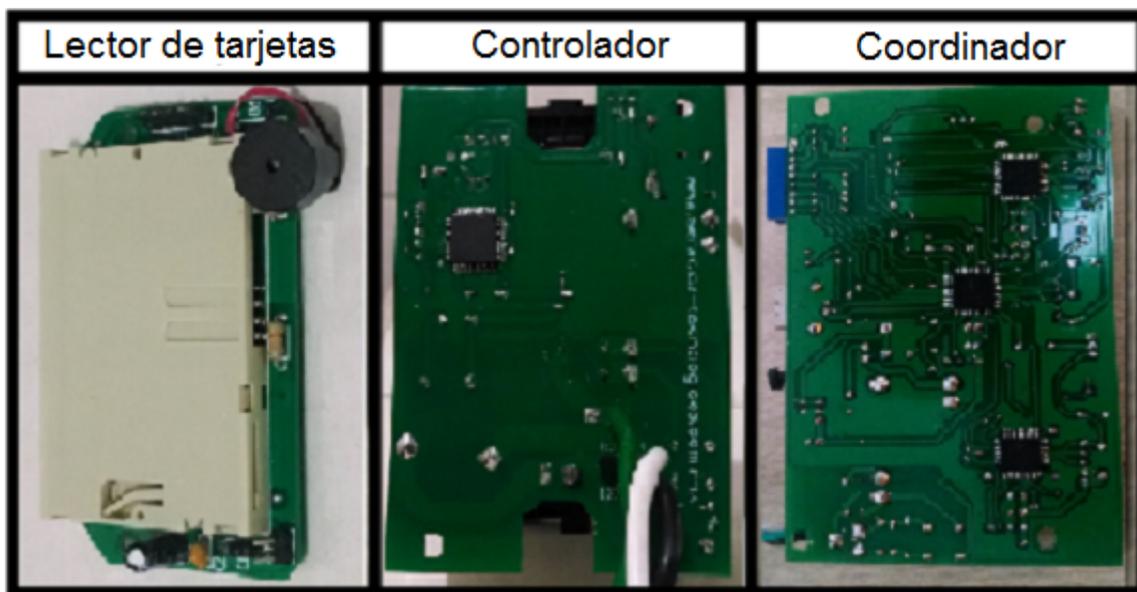


Figura 4.5. Tarjetas electrónicas con componentes.

Cuando las tarjetas electrónicas ya se encuentran con los componentes electrónicos soldados, procedí al ensamble, atornillé las tarjetas electrónicas a los gabinetes correspondientes y descargué el código de programa a cada microcontrolador, además medí los voltajes de alimentación de los circuitos electrónicos y verifiqué la comunicación SPI. En la figura 4.6 se muestran los gabinetes con las tarjetas electrónicas correspondientes ya ensambladas.

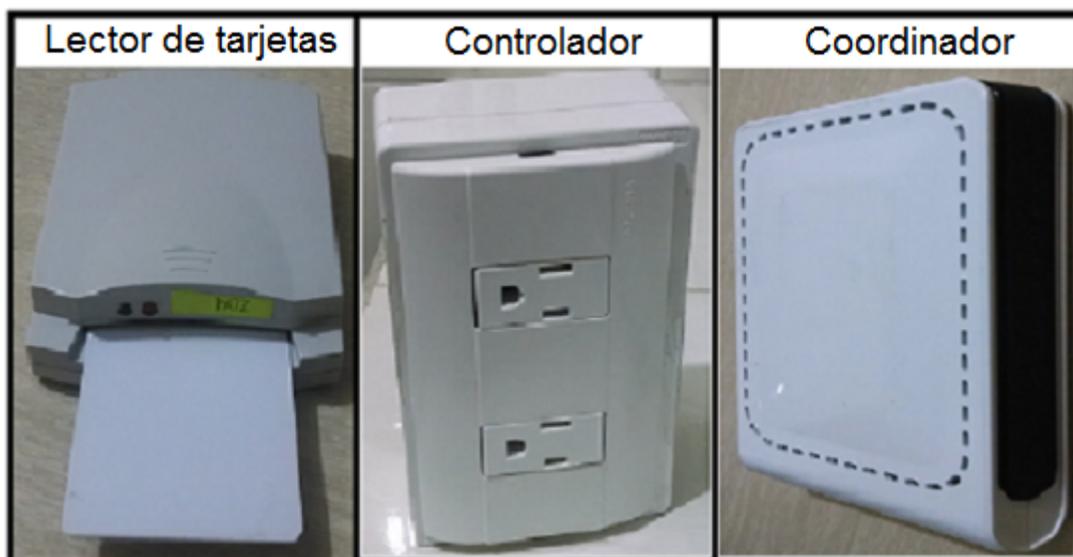


Figura 4.6. Gabinetes y tarjetas electrónicas correspondientes.

4.2. Evaluación del proyecto

Evalué el desempeño de los módulos base para el control de suministro de energía eléctrica en hoteles, para ello hice pruebas en la empresa con 14 módulos lectores de tarjetas, 14 módulos controladores y un módulo coordinador, para verificar el comportamiento de la red inalámbrica. En las figuras 4.7 y 4.8 se muestra correspondientemente el panel de módulos controladores y los módulos lectores de tarjetas que se utilizaron para evaluar el sistema.



Figura 4.7. Panel de controladores.



Figura 4.8. Módulos lectores de tarjetas.

Para iniciar la prueba en la oficina de la empresa, conecté el módulo coordinador a una PC a través del puerto USB y por medio del *software* que desarrolló la empresa se hicieron las relaciones entre los 14 módulos lectores de tarjetas y los 14 módulos controladores, como se muestra en la figura 4.9.

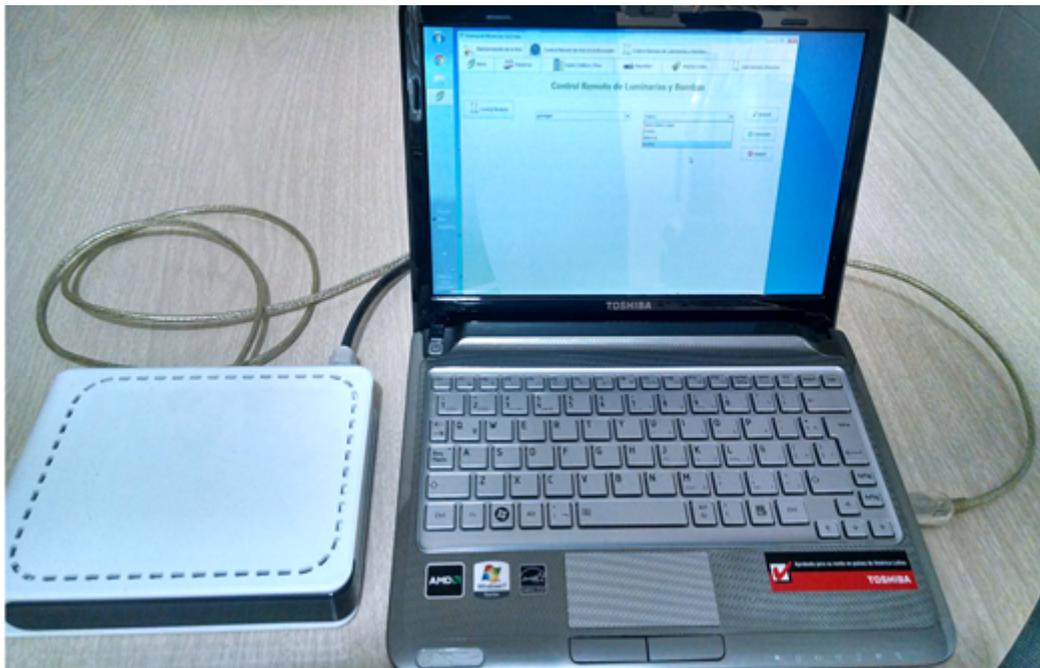


Figura 4.9. Módulo coordinador y *software*.

La prueba consistió en introducir una TI en cada módulo lector de tarjetas y que el módulo controlador correspondiente permitiera el acceso al suministro eléctrico. La prueba cumplió las expectativas de funcionamiento y ahora proseguí a hacer pruebas de campo en un hotel.

4.3. Prueba de campo del sistema

La prueba de campo del sistema para el control de suministro de energía eléctrica en hoteles, que consta de los módulos: lector de tarjetas, controlador y coordinador, previamente configurados para estar conectados en la misma red inalámbrica, la realicé en el hotel “Rey del Mar”, en Acapulco estado de Guerrero. Las pruebas que realicé fueron dos: la primera fue probar que el producto se instalara de forma fácil y la segunda fue probar que el funcionamiento fuera el adecuado en 3 habitaciones del hotel.

La prueba de instalación consistió en conectar el controlador en el contacto eléctrico donde se conecta, comúnmente, el aire acondicionado; esto lo realicé en cada una de las 3 habitaciones del hotel. En la figura 4.10 se muestra el controlador ya instalado en la habitación.



Figura 4.10. Controlador instalado.

Instalé también un lector de tarjetas en cada una de las 3 habitaciones, considerando que estuviera muy cerca de la puerta de la habitación para que el huésped lo encuentre fácilmente; en la figura 4.11 se muestra la instalación del lector.

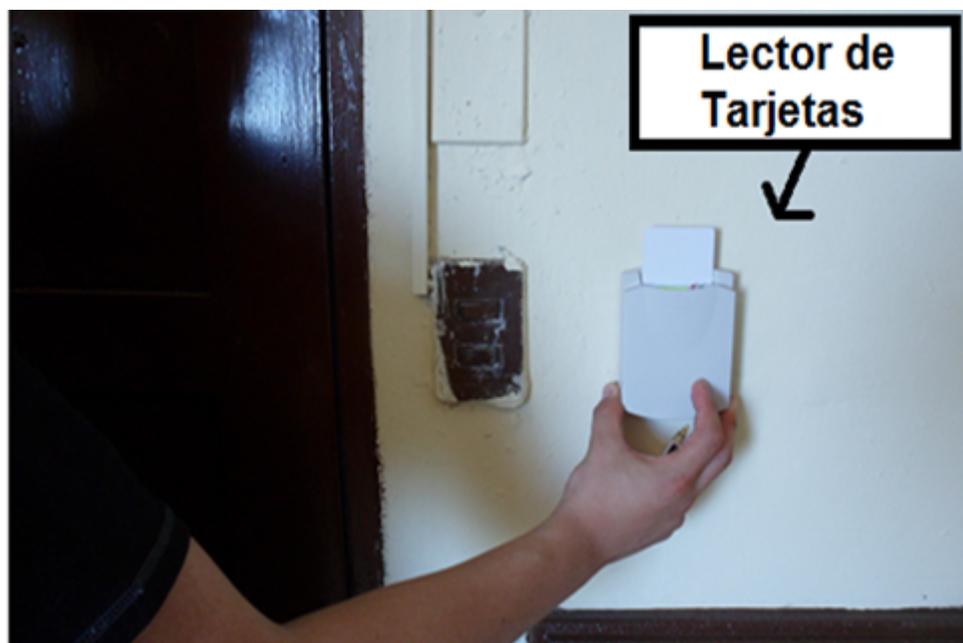


Figura 4.11. Instalación del lector de tarjetas.

En el caso del coordinador, éste lo instalé en el pasillo para que las 3 habitaciones estuvieran conectadas en la red inalámbrica del sistema, en la figura 4.12 se muestra el coordinador ya instalado.

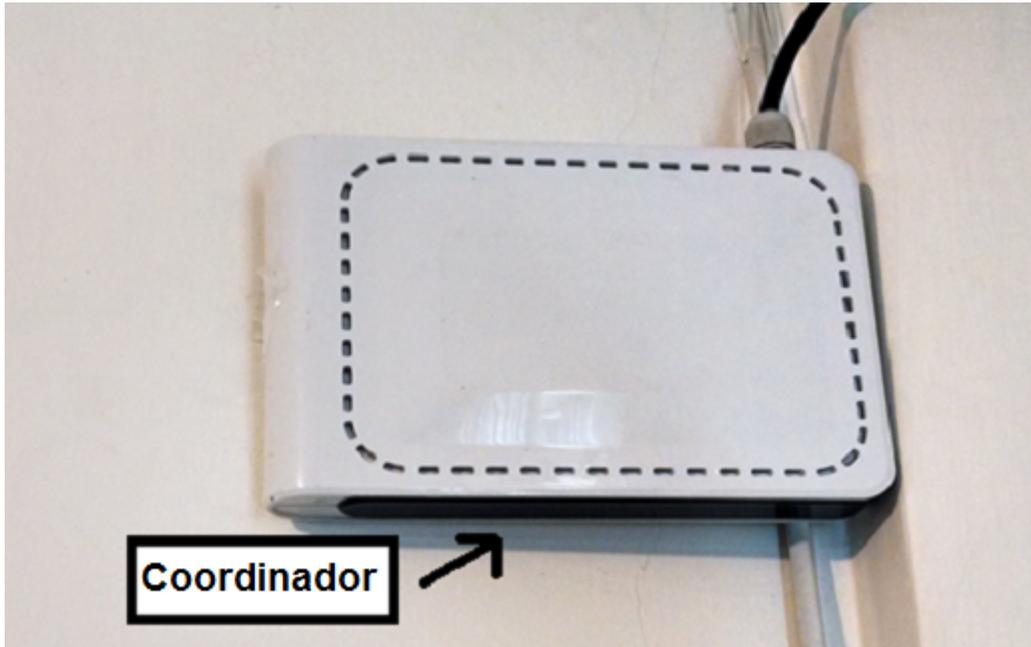


Figura 4.12. Coordinador ya instalado.

Conecté también un coordinador maestro a la PC de la recepción del hotel e instalé el *software* que desarrollo la empresa para que se permitiera el acceso al suministro eléctrico desde la PC a cualquiera de los tres controladores que se encuentran instalados en las habitaciones.

La segunda prueba fue comprobar que el sistema funcionara correctamente. Noté que al introducir la TI en el lector de tarjetas la señal tardaba mucho en que el controlador permitiera acceso al suministro eléctrico, o simplemente no permitía el acceso al suministro eléctrico porque la señal no llegaba.

Hice un análisis visual de las instalaciones eléctricas del hotel y encontré que el sistema eléctrico cuenta con una subestación con tres líneas de distribución. Una que energizaba un minisúper con varios refrigeradores, otra línea de distribución energizaba unos departamentos con algunos aires acondicionados tipo ventana y la tercera línea de distribución energizaba el hotel que cuenta con algunas bombas de agua, ventiladores, aires acondicionados tipo ventana y minisplit. Observé que las instalaciones eléctricas de las habitaciones no cuentan con tierra física.

Los ventiladores y aires acondicionados son muy antiguos y se encuentran en mal estado. El aire acondicionado tipo ventana tenía las rendijas llenas de polvo, además de no se encontraba sellado a la pared y por esos orificios entraba el polvo y el aire caliente del exterior de la habitación, provocando que el aire acondicionado trabaje al máximo. En la figura 4.13 se muestra el aire acondicionado tipo ventana y los orificios.



Figura 4.13. Aire acondicionado tipo ventana.

Observé que en el techo del hotel había unas antenas de comunicaciones, las antenas se pueden observar en la figura 4.14.



Figura 4.14. Antenas en el techo del hotel.

Dadas las condiciones mencionadas, consideré que alguna de ellas podría ser factor para que el sistema no funcionara. Para hacer una inspección más objetiva necesité instrumentos de medición, que no contaba en ese momento para poder saber cuál era el ruido que afectaba al sistema, si era el ruido que radiaban las antenas o el ruido que había en la instalación eléctrica del hotel. Dada la situación anterior, realicé una segunda visita al hotel para saber qué fue lo que afectó al sistema.

4.4. Análisis de ruido en el hotel

El análisis de ruido lo realicé en la segunda visita al hotel “Rey del Mar”, contando ya con instrumentos de medición. El análisis consistió en hacer pruebas de temperatura y humedad, pruebas de ruido radiado y pruebas de ruido conducido.

Las pruebas de temperatura y humedad se realizaron para saber si hay alguna relación en el mal funcionamiento de nuestro equipo con estas variables, en la figura 4.15 se muestra el medidor de temperatura y humedad que se utilizó para las pruebas.



Figura 4.15. Medidor de temperatura y humedad.

Las mediciones de temperatura y humedad se muestran en la tabla 4.1. El sistema se probó a diferentes horas, pero el sistema se comportó igual en el transcurso del día con todas las pruebas que se hicieron.

TIEMPO	TEMPERATURA °C	HUMEDAD %
13:47	33.1	63.00
16:12	32.9	64.00
16:55	33.4	64.00
18:30	32.1	70.00
19:10	31.5	72.00
20:05	31.7	59.00
22:00	31.4	65.00
23:04	31.8	65.00
23:24	31.8	65.00

Tabla 4.1. Mediciones de temperatura y humedad.

Las pruebas de ruido radiado que podían generar las antenas de comunicaciones en el hotel, las hice con un analizador de espectros de mano, como se muestra en la figura 4.16.



Figura 4.16. Analizador de espectros de mano.

Hice mediciones de las potencias recibidas de las señales inalámbricas que emitían las antenas que se encontraban en el techo del hotel, además medí señales inalámbricas que se detectaran alrededor del hotel. Me coloqué lo más cerca posible de las antenas y al apuntar con la antena receptora del analizador de espectros de mano hice la medición, en la figura 4.17 se muestra el proceso de medición.



Figura 4.17. Medición de la potencia recibida de las señales inalámbricas.

Se anotaron las mediciones de las potencias de las señales recibidas alrededor del hotel en la tabla 4.2.

SEÑAL INALÁMBRICA	POTENCIA MÁXIMA RECIBIDA [dbm]
RADIO FM	94.5 MHz =-45 103.1 MHz =-44 107.5 MHz =-47
TV	193.2 MHz =-40
GSM 900(Hotel)	860.4 MHz =-32 882.6 MHz =-31
3G(Hotel)	1945 MHz =-33

Tabla 4.2. Potencia recibida de las señales inalámbricas.

El siguiente paso fue colocar el sistema lo más cerca posible de las antenas de GSM 900 y 3G que tenía el hotel, para ver el funcionamiento. El hotel contaba con una habitación debajo de las antenas, la cual fue conveniente para las pruebas.

La primera prueba consistió en introducir la TI en el lector de tarjetas y después permitir el acceso al suministro eléctrico a través del controlador, el cual en ese momento no se le conecto ningún equipo en su contacto eléctrico. El sistema funcionó correctamente, no hubo ningún cambio al estar más cerca de las antenas, además de que no había ninguna frecuencia que trabajara a 915 MHz, que es la frecuencia de los módulos RF.

En la segunda prueba se introdujo la TI en el lector de tarjetas y con esto se permitió el acceso al suministro eléctrico a través del controlador, conecté el aire acondicionado tipo ventana al contacto eléctrico que tiene el controlador. El sistema funcionó correctamente, pero al conectar un ventilador al mismo contacto eléctrico donde se tenía conectado el coordinador, el sistema dejaba de funcionar.

Al no funcionar el sistema cuando se conectaba el ventilador, observé el voltaje que energizaba a los circuitos electrónicos y provocaba el mal funcionamiento, esto lo hice con un osciloscopio, el cual se muestra en la figura 4.18.



Figura 4.18. Osciloscopio.

La prueba la hice al medir el voltaje de salida del regulador lineal de 3.3 V del coordinador, en la figura 4.19 se muestra el voltaje de salida en el osciloscopio.

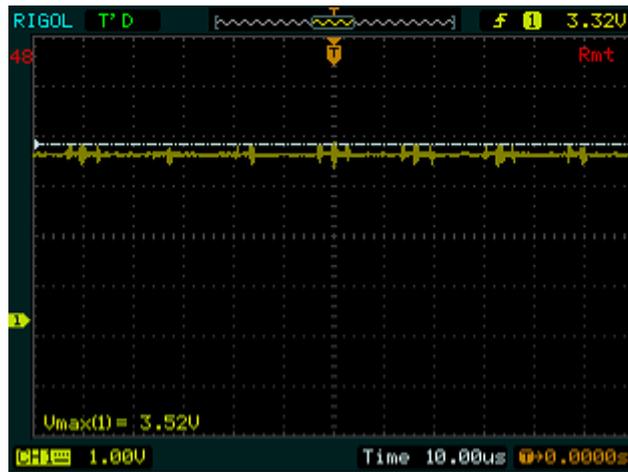


Figura 4.19. Medición en el osciloscopio.

Las pruebas que se realizaron en la oficina de la empresa no presentaban mal funcionamiento, ni ruido en la salida del regulador lineal de voltaje. En el hotel observé que al conectar el coordinador había ruido en la salida de voltaje del regulador lineal y además al ir incorporando más cargas en la línea eléctrica de la habitación el voltaje del ruido aumentaba.

Las pruebas que se realizaron mostraron que el sistema no es afectado por la temperatura y la humedad del lugar. El ruido radiado generado por las antenas del hotel no afectó el sistema, además de que no había otra señal inalámbrica trabajando en la misma frecuencia. Dado lo anterior inferí que el problema que hace que el sistema falle, sea probablemente por una mala calidad de la energía eléctrica que hay en el hotel, posiblemente se presente distorsión armónica y el factor de potencia no sea el adecuado. Debido a esto me di cuenta que el sistema es sensible a lugares con mala calidad de la energía eléctrica, entonces procedí a proteger el sistema para que funcione correctamente y realicé un rediseño.

4.5. Rediseño

Con base en lo descrito anteriormente, consideré que se necesitaba hacer un estudio de la calidad de la energía eléctrica en el hotel, para conocer sobre los posibles problemas que hicieron que el sistema funcionara mal. Estudié sobre el tema de la calidad de la energía eléctrica y las soluciones eran recomendaciones que el hotel debería llevar a cabo, las cuales son: balancear cargas, poner banco de capacitores y aislar equipos generadores de armónicos; pero lo que estaba buscando eran soluciones para que el sistema no fuera sensible a ruido en la línea eléctrica, así que investigué sobre interferencia electromagnética y sus filtros para la línea eléctrica. Para ello, participé en un seminario de interferencia electromagnética, que se llevó a cabo en las instalaciones de LAPEM (Laboratorio de Pruebas Equipos y Materiales) de CFE (Comisión Federal de Electricidad) en Irapuato, estado de Guanajuato. En dicho seminario además de los equipos de medición EMI

(*Electromagnetic Interference*) se mencionaron equipos generadores de transitorios rápidos. Considerando la respuesta del sistema en el hotel pensaba que lo que se necesitaba era un lugar donde se generaran estos transitorios y ver como el sistema se comportaba a ellos y hacer pruebas con respecto a normas específicas IEC (*International Electrotechnical Commission*).

Regresando del seminario investigué sobre las normas mencionadas, encontré una definida como IEC 61000-4-4 (*Electrical fast transient/burst immunity test*), que permite probar el ruido conducido. Dado lo anterior procedí a buscar un laboratorio que tuviera un generador de transitorios rápidos. Para realizar esta prueba se utilizó equipo que se encuentra en la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Los parámetros que describen la norma IEC 61 000 4-4 son el pico de voltaje y frecuencia, como se muestra en la tabla 4.3.

Nivel	Pico de voltaje kV	Frecuencia kHz
1	0,5	5 or 100
2	1	5 or 100
3	2	5 or 100
4	4	5 or 100
X ^a	Special	Special

Tabla 4.3. Nivel de severidad de la norma IEC 61000-4-4.

Para cada nivel mostrado en la tabla 4.3, la norma sugiere las características de la prueba, esto en función de las características eléctricas del lugar. Además del uso de filtros para las fuentes de alimentación, tener una buena tierra física en la instalación eléctrica, buen aislamiento en los cables de la línea eléctrica, separación en la instalación eléctrica entre fuentes de poder, control y cables de comunicación. Cabe comentar que el nivel 3 es el que se parece más a las instalaciones eléctricas que había en el hotel y es el nivel que se utilizó.

Las pruebas que se realizaron fueron generando transitorios de 2000 V a la frecuencia de ruido que había en la salida de voltaje del regulador lineal del coordinador, con un tiempo de duración de transitorios de 15 ms y 100 ms de tiempo de recuperación, como se muestra en la figura 4.20.

Una vez convenidas las pruebas que se iban a realizar en el sistema para asistir a la Facultad de Ciencias de la UNAM, lo que hice fue integrar un lector de tarjetas, un controlador y un coordinador previamente configurados. Utilizando los tres dispositivos conectados de la siguiente forma: el lector de tarjetas utilizaba una batería, el coordinador conectado a la línea convencional de energía eléctrica, mientras que el controlador estaba conectado al equipo simulador de transitorios. Con base en este actuar, observé que el lector de tarjetas respondió adecuadamente reconociendo la tarjeta, mientras que el controlador no respondió a la tarea que debería estar haciendo.



Figura 4.20. Transitorios rápidos de la norma IEC 61000-4-4.

En la segunda prueba se le dio energía eléctrica de la línea convencional al controlador y el coordinador se conectó al simulador de transitorios, inserté la tarjeta al lector, se reconoció la tarjeta pero no hubo respuesta en el sistema.

Las pruebas muestran que si no se tenía una línea de energía eléctrica adecuada para el controlador o el coordinador, el sistema dejaba de funcionar. Para tener más énfasis sobre los resultados, se midieron los picos de voltaje en la salida de voltaje del regulador lineal y observé ruido, como lo que sucedió en el hotel. En la figura 4.21 se observa en el osciloscopio los picos de voltaje que hay en la salida del regulador lineal de voltaje del coordinador.



Figura 4.21. Voltaje de salida del regulador lineal.

Dado lo anteriormente descrito, se necesitaba hacer un rediseño en la fuente de alimentación para que el ruido no afectara el comportamiento del sistema. Investigué sobre filtros de interferencia electromagnética que se necesitaba para los rediseños. Lo primero fue saber que el ruido se puede presentar en la línea eléctrica a través de dos formas: ruido en modo diferencial y ruido en modo común, como se muestra en la figura 4.22.

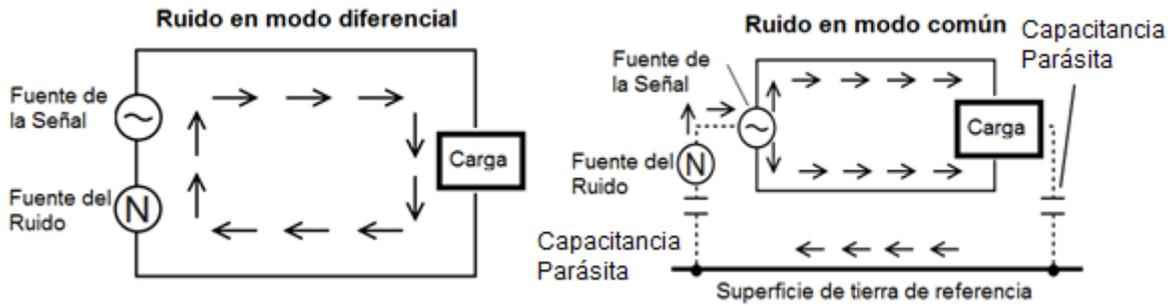


Figura 4.22. Ruido en modo diferencial y común⁶.

El filtro que se puede utilizar para eliminar el ruido en modo diferencial se muestra en la figura 4.23.

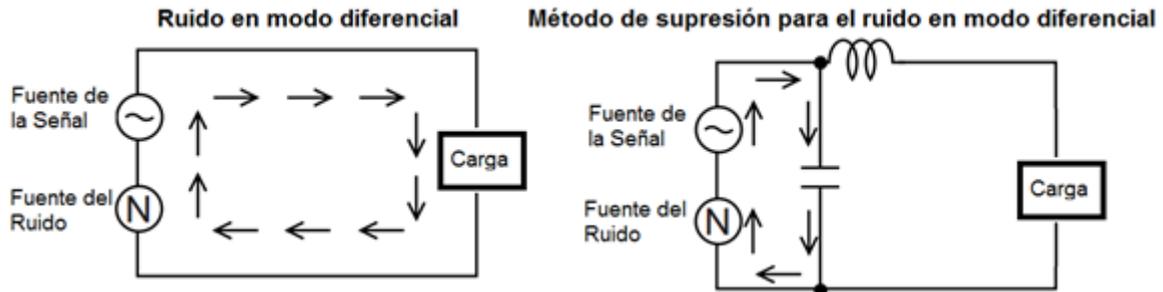


Figura 4.23. Método de supresión para el ruido en modo diferencial⁷.

Para eliminar el ruido en modo común se utiliza un inductor de choke, como se muestra en la siguiente figura.

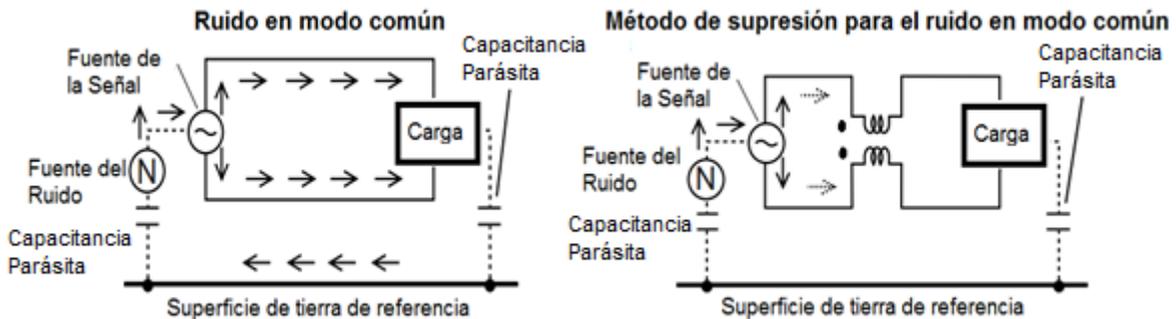


Figura 4.24. Método de supresión para el ruido en modo común⁸.

[†]6. 7. y 8. "Differential and common mode noise", pag. 1, Murata Manufacturing Co, Japón, 1998.

Con base en la teoría presentada agregué un capacitor para eliminar el ruido en modo diferencial y para eliminar el ruido en modo común utilicé un inductor de choke. En la figura 4.25 se muestra la gráfica de atenuación de un inductor de choke.

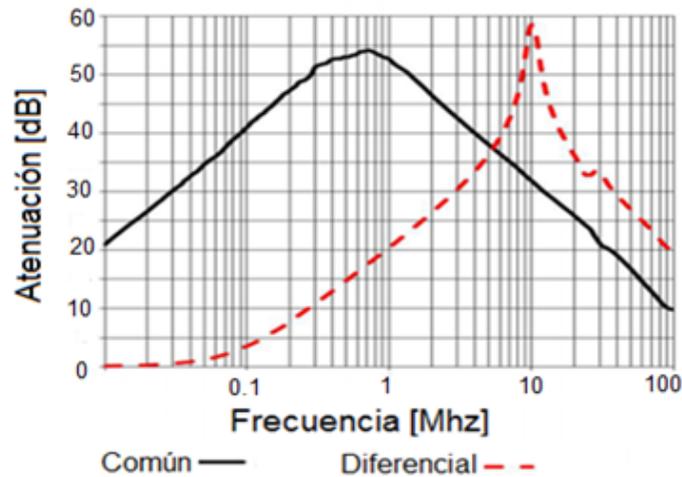


Figura 4.25. Gráfica de atenuación del inductor de choke.

Con base en las pruebas que se hicieron en el hotel y la frecuencia de ruido que encontré en el regulador lineal de voltaje escogí el inductor de choke. Además, para agregar una etapa adicional de protección procedí a utilizar TVS (*Transient Voltage Suppression*). Se utilizaron diodos TVS, los cuales se dividen en diodos unidireccionales que se utilizan en voltaje de corriente continua y diodos bidireccionales que se utilizan en voltaje de corriente alterna. Los diodos TVS tienen 3 voltajes que se deben de considerar: el primero es el voltaje V_{BR} que es el voltaje donde el diodo empieza a suprimir los transitorios; el segundo es el V_C que es el voltaje máximo de supresión de transitorios del diodo y el tercero es el V_R que es el voltaje donde el diodo se destruye por el exceso de energía que está disipando. En la figura 4.26 se muestra la gráfica del diodo TVS bidiraccional.

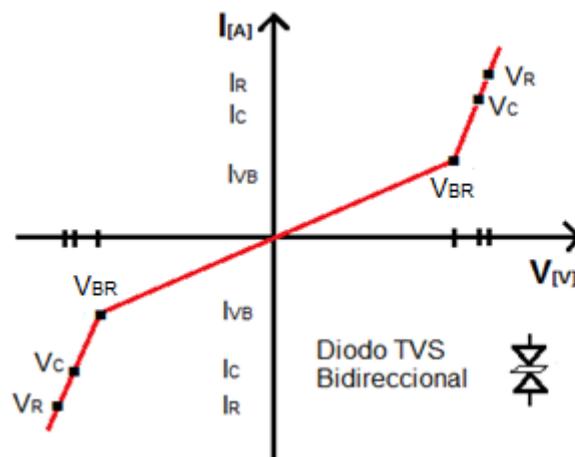


Figura 4.26. Gráfica del diodo TVS bidireccional.

En el diseño consideré los diodos TVS bidireccionales para eliminar los transitorios de voltaje en la línea eléctrica de 127 VCA, considerando los voltajes V_{BR} , V_C y V_R .

Con base en los elementos ya mencionados procedí a elaborar el circuito, el cual se muestra en la figura 4.27.

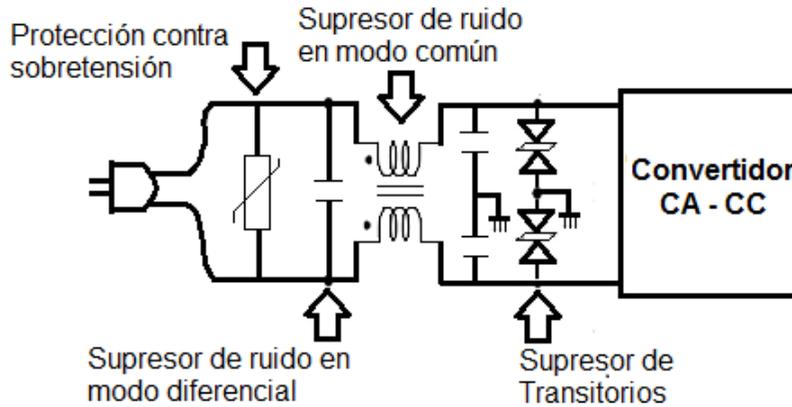


Figura 4.27. Sistema de filtrado en la línea eléctrica.

Cabe comentar que como los circuitos van dentro de las tarjetas electrónicas del controlador y coordinador hubo que modificar las tarjetas electrónicas para incluir los elementos.

Desarrollé nuevas tarjetas electrónicas y procedí a hacer nuevas pruebas de laboratorio. Para ello fuí al laboratorio de la Facultad de Ciencias de la UNAM y se replicaron las pruebas, con base en las nuevas modificaciones. Se volvieron a hacer las mismas pruebas de laboratorio de la norma IEC 61000-4-4 y comprobé que el sistema funcionó correctamente. Se seguían presentando algunos transitorios de voltaje, pero se redujo su amplitud y con esto el sistema seguía funcionando. En la figura 4.28 se observan los resultados de la prueba midiendo el voltaje de salida en el regulador lineal de voltaje del coordinador en el osciloscopio.



Figura 4.28. Voltaje de salida del regulador lineal.

Las pruebas cumplieron las expectativas y lo único que resta es hacer una prueba de puesta a punto del sistema en un hotel y después comercializarlo para su venta.

Capítulo 5

Resultados y conclusiones

Cumplí el objetivo de crear los módulos base para el control de suministro de energía eléctrica en hoteles, especialmente en aires acondicionados de tipo ventana y minisplit. Diseñé las tarjetas de circuito impreso, programé el sistema de identificación en el lector de tarjetas, implementé el sistema de control de acceso al suministro eléctrico en el controlador y una fuente de alimentación para el controlador y coordinador que se energizan por medio de voltaje de corriente alterna.

También realicé, en conjunto con otras personas, pruebas de laboratorio del sistema en cuanto a la conexión inalámbrica entre 14 módulos lectores de tarjetas, 14 módulos controladores y un módulo coordinador, éste último conectado a la PC. Cabe comentar que el sistema en conjunto funcionó de forma adecuada en la oficina de la empresa; además de poder controlar desde la PC el encendido o apagado del suministro eléctrico de cualquier controlador.

Las pruebas de campo que se realizaron en el hotel “Rey del Mar”, en cuanto a la fácil instalación de los módulos fueron exitosas. Las pruebas de funcionamiento del sistema no fueron exitosas, entonces procedí a hacer un análisis del porque sucedía esto. El análisis realizado mostró que el sistema no es afectado por la temperatura, la humedad del lugar y el ruido radiado que podía generar las antenas que había en el techo del hotel. Observé que al conectar el coordinador había ruido en la salida de voltaje del regulador lineal y además al ir incorporando más cargas en la línea eléctrica de la habitación el voltaje del ruido aumentaba. Dado lo anterior inferí que el problema que hace que el sistema falle era, probablemente, por una mala calidad de la energía eléctrica.

Debido a lo anterior investigué sobre la calidad de la energía eléctrica e interferencia electromagnética y analicé cómo el ruido podía afectar nuestro sistema; además estudié sobre la norma IEC 61000-4-4 y probé esta norma en el laboratorio de la Facultad de Ciencias de la UNAM con el sistema. Hice una prueba de laboratorio con un equipo simulador de transitorios rápidos al sistema y no funcionó, como lo que sucedido en el hotel. Dado lo anterior, procedí a rediseñar la fuente de alimentación del controlador y coordinador. Utilicé componentes electrónicos para suprimir el ruido en modo común, ruido en modo diferencial y los transitorios de voltaje. Hechas las adecuaciones mencionadas, regresé al laboratorio para efectuar de nuevo las pruebas, simulando con el equipo los transitorios, los resultados fueron exitosos.

No obstante que el sistema se ha probado a nivel de oficina y a nivel de laboratorio, se necesita hacer una prueba de puesta a punto del sistema en un hotel, de preferencia el hotel “Rey del Mar”.

Cabe comentar que los conocimientos que adquirí al tratar de resolver el problema de ruido en la línea eléctrica fueron muy buenos para mi desarrollo profesional. Personalmente los conocimientos que aprendí fueron sobre interferencia electromagnética y como eliminar el ruido en modo común, ruido en modo diferencial y transitorios. Por otra parte, con la intención de mejorar el funcionamiento del sistema, sugiero que además de realizar protecciones en la fuente de alimentación del controlador y coordinador, se agregue una etapa de blindaje a cada microcontrolador, así como una etapa de filtrado en su respectiva alimentación y terminales de comunicación serie.

Otra cosa que sugiero es llevar varios instrumentos de medición a las pruebas de campo, por si se encuentra alguna anomalía en el sistema, se detecte el problema de inmediato y no se tenga que realizar una segunda visita para identificarla.

BIBLIOGRAFÍA

1. Boylestad Robert, “Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos”, ed. 8a, Pearson, USA, 2003.
2. Brander T., Gerfer A., Zenkner H., “Design guide for EMI Filter Design”, ed. 4a, Würth Elektronik, Germany, 2010.
3. Chidiak M., Paredes H., Rowe L., “Análisis de mercado para la aplicación de tecnologías de energías renovables y eficiencia energética en hoteles en México, y mercado potencial para el sector hotelero”, CONUEE, México, 2008.
4. Dranetz-BMI, “Power Quality Analysis”, Dranetz-BMI, USA, 2003.
5. Frankfurt School-UNEP, “Global Trends in Renewable Energy Investment”, Frankfurt School-UNEP, Germany, 2012.
6. Linden ., Reddy T., “Handbook of Batteries”, ed. 3a, McGraw-Hill, USA, 2002.
7. Texas Instruments, “AN-556 Introduction to Power Supplies”, Texas Instruments, USA, 2004.

MESOGRAFÍA

1. <http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/globaltrendsreport2012.pdf>
2. <http://www.oecd.org/centrodemexico/publicaciones/energia.htm>
3. <http://www.hotelesmexicanos.org/Directorios/Hoteleswww.fide.org.mx>
4. <http://www.conuee.gob.mx/wb/Conuee/programaswww.cfe.gob.mx>
5. <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/8bit/www.kicad-pcb.org>
6. <http://www.aaronia.com/products/spectrum-analyzers/www.iec.ch>
7. <http://www.murata.com/products/emc>
8. <http://www.ti.com/lit/an/szza009/szza009.pdf>
9. http://www.we-online.de/web/en/electronic_components