

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN TRANSMISOR  
Y RECEPTOR DE UN SISTEMA DOMOTICO  
UTILIZANDO TECNOLOGÍA DE CORRIENTES  
PORTADORAS Y EL PROTOCOLO X-10**

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

Diego Armando Lozada Díaz

Asesor: Oscar Antonio Melgarejo Ponte

Lima, diciembre del 2008

## RESUMEN

La automatización de la vivienda tiene como objetivo fundamental el brindar confort a las personas y un mayor nivel de seguridad, además es posible realizar esto optimizando el uso de los recursos y la energía eléctrica utilizada. Como medida para lograr esto es necesario desarrollar un sistema de control automatizado de la vivienda que se encargue de controlar los dispositivos eléctricos y electrónicos instalados en ella, así como los sistemas que los gobiernan.

En la actualidad existen una gran variedad de sistemas y tecnologías disponibles que pueden ser utilizados y permiten obtener las prestaciones antes mencionadas tales como: LonWorks, Instabus EIB, Hometronic, etc. Sin embargo, se decidió trabajar con la tecnología de corrientes portadoras, teniendo como base el Protocolo X-10.

El presente trabajo de tesis esta desarrollado en cuatro capítulos. En el primer capítulo se plantea el concepto de domótica y la posibilidad de utilizarla como medio de automatización de la vivienda. En el segundo capítulo se muestra el estado actual de las tecnologías existentes, así como los sistemas que pueden ser utilizados y las características principales de estos. En el tercer capítulo se especifica el sistema que se pretende desarrollar, y se plantea la propuesta de diseño y desarrollo de sus componente principales como son el módulo transmisor y receptor del sistema domótico. En el cuarto capítulo se evalúa el sistema domótico propuesto realizando pruebas las cuales verifican su correcto funcionamiento.

El objetivo principal del presente trabajo de investigación es desarrollar un dispositivo transmisor y uno receptor, con los cuales será posible implementar un sistema domotico básico, que podrá ser instalado en viviendas unifamiliares.

Como conclusión principal del trabajo realizado se obtuvo que el sistema implementado funciona adecuadamente, por lo que el diseño y el desarrollo basado en la tecnología de corrientes portadoras, es una técnica que puede ser utilizada para implementar un sistema domótico que permita automatizar la vivienda.

## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño y Desarrollo de un Transmisor y Receptor de un Sistema Domótico Utilizando Tecnología de Corrientes Portadoras y el Protocolo X-10

Área : Electricidad  $\neq$  SSI

Asesor : Oscar Melgarejo

Alumno : Diego Armando Lozada Díaz

Código : 20030497.3.20

Fecha : 19 de Noviembre de 2007



### Descripción y Objetivos

La automatización de la vivienda tiene como objetivo brindar confort a las personas, así como mayor seguridad, además es posible optimizar el uso de la energía eléctrica utilizada. Para esto es necesario desarrollar un sistema de control automatizado de la vivienda que se encargue de controlar los dispositivos eléctricos y electrónicos instalados en ella, así como los sistemas que los gobiernan.

Existe una gran variedad de sistemas y tecnologías que pueden ser utilizados y permiten lograr las características antes mencionadas tales como: LonWorks, Instabus EIB, Homematic, etc. Sin embargo, se decidió trabajar con la tecnología de corrientes portadoras, teniendo como base el Protocolo X-10. Porque esta tecnología se caracteriza por utilizar la red eléctrica instalada como medio de comunicación para interconectar a los dispositivos.

En el presente trabajo de tesis se plantea el diseño y desarrollo del módulo transmisor y receptor del sistema domótico. El módulo transmisor es el encargado de generar y transmitir la información codificada a través de la red eléctrica. Además cumple la función de centro de control, debido a que desde este módulo será posible controlar al resto de dispositivos receptores. El módulo receptor es el encargado de decodificar la información transmitida por medio de la red eléctrica, también cumple con la función de actuador, porque se encarga de regular la potencia que será entregada al dispositivo asociado a él.

El objetivo de la tesis es desarrollar un dispositivo transmisor y receptor, con los cuales será posible implementar un sistema domótico básico, el cual podrá ser instalado en viviendas unifamiliares.

MÁXIMO 100 PÁGINAS



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

Ing. ANDRÉS FLORES ESPINOZA  
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño y Desarrollo de un Transmisor y Receptor de un Sistema Domótico Utilizando Tecnología de Corrientes Portadoras y el Protocolo X-10

### Índice

#### Introducción

1. La Domótica como Medio de Automatización de la Vivienda
2. Sistemas Domóticos y Tecnologías Utilizadas
3. Especificaciones del Sistema y Diseño del Transmisor y Receptor
4. Pruebas Finales y Verificación del Funcionamiento

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos



*OK*

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
SECCION ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA

*Andres Flores Espinoza*

Ing. ANDRES FLORES ESPINOZA  
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

*[Signature]*

MÁXIMO 100 PÁGINAS

Quiero agradecer a mis padres por el apoyo y la confianza que depositaron en mí, y a todas las personas que creyeron en mí y cuya motivación y aliento me impulsaron a culminar la tesis.



## ÍNDICE

<b><u>INTRODUCCIÓN</u></b>	I
<b><u>CAPÍTULO 1: LA DOMOTICA COMO MEDIO DE AUTOMATIZACION DE LA VIVIENDA</u></b>	
1.1 La domótica	1
1.1.1 Definición de la domótica	1
1.1.2 Prestaciones de un sistema domótico	2
1.1.3 Elementos que componen un sistema domótico	3
1.2 Variables externas	3
1.3 Variables internas	4
1.4 Marco problemático	5
<b><u>CAPÍTULO 2: SISTEMAS DOMOTICOS Y TECNOLOGÍA UTILIZADA</u></b>	
2.1 Estado del arte	7
2.1.1 Sistemas por cable dedicado	8
2.1.1.1 Instabus EIB	8
2.1.1.2 Lonworks	10
2.1.1.2.1 Funcionamiento de Lonworks	10
2.1.2 Sistemas por radiofrecuencia	12
2.1.2.1 Hometronic	12
2.1.3 Sistemas por corriente portadora	13
2.1.3.1 Protocolo X-10	13
2.1.3.2 Funcionamiento del Protocolo X-10	14
2.1.3.3 Módulos X-10	17
2.1.3.4 Dispositivos X-10	18
<b><u>CAPÍTULO 3: ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA Y DISEÑO DEL TRANSMISOR Y RECEPTOR</u></b>	
3.1 Identificación de la Tecnología y Sistema a utilizar	20
3.2 Planteamiento del Sistema	21
3.3 Protocolo de Comunicación	21
3.4 Diseño de los Módulos	26
3.4.1 Modulo Transmisor-Centro de Control	26
3.4.1.1 Descripción	26
3.4.1.2 Funcionamiento	26
3.4.1.3 Etapas	28
3.4.2 Modulo Receptor-Actuador	36
3.4.2.1 Descripción	36
3.4.2.2 Funcionamiento	36
3.4.2.3 Etapas	38
3.5 Objetivos	45
3.5.1 Objetivo General	45
3.5.2 Objetivos Específicos	45

## **CAPÍTULO 4: PRUEBAS FINALES Y VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO**

4.1 Instrumentos utilizados	46
4.1.1 Software	46
4.1.2 Hardware	46
4.2 Pruebas Realizadas	47

<b><u>CONCLUSIONES</u></b>	57
----------------------------	----

<b><u>RECOMENDACIONES</u></b>	59
-------------------------------	----

<b><u>FUENTES</u></b>	61
-----------------------	----

### **ANEXOS**

Anexo N°1 Código de programa del ATMEGA8 del Modulo Transmisor	63
Anexo N°2 Código de programa del ATMEGA8 del Modulo Receptor	69
Anexo N°3 Lista de componentes del Modulo Transmisor	76
Anexo N°4 Lista de componentes del Modulo Receptor	77

## INTRODUCCIÓN

La automatización de la vivienda tiene como objetivo principal brindar confort a las personas, un mayor nivel de seguridad y además es posible optimizar el uso de la energía eléctrica utilizada. Para lograr esto es necesario desarrollar un sistema de control automatizado de la vivienda que se encargue de controlar los dispositivos eléctricos y electrónicos instalados en ella, así como los sistemas que los gobiernan. Una manera de automatizar la vivienda es implementar un sistema domótico.

Cuando se habla de domótica, se debe de pensar en el concepto de control integrado de dispositivos eléctricos y electrónicos instalados en la vivienda, tanto de forma presencial como remota. La domótica permite controlar dispositivos en el lugar y tiempo deseado, esto es posible gracias a la facilidad de programación y de interconexión que dispone. El desarrollar la domótica tiene como finalidad integrar en una unidad centralizada todos los sistemas de control de la vivienda, de manera que la interacción entre ellos de lugar a una mayor eficiencia en el uso de los recursos.

Existe una gran variedad de sistemas y tecnologías que pueden ser utilizados y permiten lograr las características antes mencionadas tales como: LonWorks, Instabus EIB, Hometronic, etc.

Aun con todos los beneficios que la automatización de la vivienda posee no se ha tenido la difusión esperada. Esto se debe principalmente a la desinformación por parte de la sociedad sobre las tecnologías existentes y a sus aplicaciones prácticas. Además el elevado costo de adquisición e instalación es otro factor apremiante.

El objetivo principal de la tesis es desarrollar un dispositivo transmisor y receptor, con los cuales será posible implementar un sistema domótico básico, que podrá ser instalado en viviendas unifamiliares,

El presente trabajo de tesis esta desarrollado en cuatro capítulos. En el primer capítulo se plantea el concepto de domótica y la posibilidad de utilizarla como medio de automatización de la vivienda. Además se analiza el marco problemático existente y los factores más apremiantes.

En el segundo capítulo, se muestra el estado actual de las tecnologías existentes sobre automatización de la vivienda. También se ahonda en los sistemas domóticos mas utilizados y en sus características principales, las cuales serán tomadas en cuenta para determinar la tecnología a utilizar.

En el tercer capítulo se realizan las especificaciones y características del sistema que se pretende desarrollar y la tecnología que se utilizará. Además, se plantea la propuesta de diseño y desarrollo de sus componentes principales, el módulo transmisor y el módulo receptor.

En el cuarto capítulo se evalúa el sistema domótico propuesto realizando pruebas a los módulos diseñados. Se analiza el resultado de la pruebas para concluir si el sistema funciona adecuadamente.

Como conclusión principal del trabajo realizado se obtiene que el sistema implementado funciona adecuadamente, por lo que el diseño y el desarrollo basado en la tecnología de corrientes portadoras es una técnica que puede ser utilizada para implementar un sistema domótico que permita automatizar una vivienda unifamiliar.



## CAPÍTULO 1

### LA DOMOTICA COMO MEDIO PARA AUTOMATIZAR DE LA VIVIENDA

#### 1.1 La domótica

##### 1.1.1 Definición de la domótica

Cuando se habla de domótica, se debe de pensar en el concepto de control integrado de dispositivos eléctricos y electrónicos instalados en la vivienda, tanto de forma presencial como remota.

De acuerdo con Domótica Viva (2008) y Jiménez (2002), la domótica permite controlar dispositivos en el lugar y tiempo deseado, esto es posible gracias a la facilidad de programación y de interconexión que dispone. También es posible acceder a ellos de forma remota, utilizando un mando a distancia, realizando una llamada telefónica o celular o por medio de una conexión a Internet. El desarrollar la domótica tiene como finalidad integrar en una unidad centralizada todos los sistemas de control de la vivienda, de manera que la interacción entre ellos de lugar a una mayor eficiencia en el uso de los recursos.

A la domótica también se le asocia el concepto de "hogar digital" del cual se entiende: desde control de los electrodomésticos hasta la conexión de servicios multimedia y de comunicaciones disponibles en todos los ambientes del hogar. El sistema de seguridad del hogar también puede ser integrado al sistema domótico,

por lo que sería el encargado de velar por el bienestar de sus habitantes. Otro aspecto importante es la capacidad de controlar sistemas complejos, que se encargan de la protección contra fugas de agua, gas, concentraciones dañinas de emisiones naturales de gases o artificiales, detección de humo y fuego, seguridad contra intrusos, tele-asistencia, control de calefacción, sistemas de televisión, etc. De esta manera un sistema domótico puede crecer indefinidamente integrando sistemas especializados y diseñados para cumplir una función específica.

En cualquier caso, debemos tener claro que la domótica significa comodidad y seguridad. Además, aprovechando la domótica de manera eficiente es posible optimizar el uso de la energía eléctrica utilizada.

#### 1.1.2 Prestaciones de un sistema domótico

- **Confort:** Se podrá controlar los dispositivos desde sus propios interruptores o de preferir mayor comodidad es posible utilizar mandos a distancia para controlar luces, persianas o electrodomésticos desde un mismo sitio. Según el tipo de mando a usar, se lo podrá configurar de manera que uno solo controle tanto el sistema de encendido y apagado como la regulación de la intensidad de luz o potencia suministrada a una carga, por lo que no habría necesidad de cambiar de mando para acceder a las distintas funciones.
- **Seguridad:** La utilización de sensores contra intrusos, de movimiento, de temperatura, fuga de agua entre otros, permite tener un conocimiento global del estado de la vivienda. Además, de ser necesario, sería posible contactar a una central de alarmas o comunicarse con teléfonos programados en caso de producirse alguna irregularidad.
- **Ahorro Energético:** De manera conjunta con el uso de sensores, es posible adecuar y programar el sistema de tal manera que se logre esto. Por ejemplo, se puede dar el caso que ante la presencia de una persona a

determinadas horas, se accione el funcionamiento de algún dispositivo, se regule la intensidad de luz a un nivel conveniente o se contacte con algún número de emergencia previamente determinado

### 1.1.3 Elementos que componen un sistema domótico

- Controladores. Permiten actuar sobre el sistema, bien de forma automática o por una decisión tomada por centrales previamente programadas (puede ser un PC), pulsadores, teclados, pantallas táctiles o no, mandos a distancia: por infrarrojos IR (locales), por radiofrecuencia RF (hasta 50 metros), por teléfono, SMS o por PC (de forma local e incluso a través de Internet). Estos elementos emiten órdenes que necesitan un medio de transmisión.
- Medio de transmisión. Según la tecnología a utilizar existen distintos medios tales como: fibra óptica, bus dedicado, red eléctrica, línea telefónica, TCP/IP, por el aire.
- Actuadores. Reciben las órdenes y las transforman en señales de aviso, regulación o conmutación. Ejercen acciones sobre los elementos a controlar en el hogar.
- Sensores. Son los encargados de realizar la adquisición de datos del sistema. Estos pueden ser sofisticados o simples, lo importante es que el sistema se encuentre en la capacidad de interpretarlos. Estos datos pueden ser órdenes directas a los actuadores o señales que se transmitirán a un centro de control para su procesamiento, desde donde se enviará la orden final al actuador correspondiente.

## 1.2 Variables Externas

Conforme al texto de Ablondi (2006), en la actualidad existen diversos sistemas encargados de automatizar las viviendas, sin embargo estos no están

siendo utilizando por la mayor parte de la sociedad. Esto se debe principalmente a dos motivos.

- La falta de conocimiento sobre el tema.

Gran parte de la población tiene poco o ningún tipo de conocimiento sobre las tecnologías existentes y las aplicaciones que pueden tener. Así mismo no tienen conocimiento de la gama de beneficios que recibirían.

- Gasto excesivo que la instalación implica.

La adquisición de los sistemas existentes tiene un costo elevado que la mayoría de las personas no puede costear, no cuentan con la capacidad económica para adquirir estos sistemas, lo cual limita su uso.

Debido a la complejidad de estos sistemas, comúnmente se requiere de personal calificado para realizar la instalación en el hogar. Aún con la existencia de productos que motiven a las personas a realizar la instalación como un pasatiempo, no se ha producido un avance significativo, esto se debe a que muchas personas no disponen de tiempo o la capacidad necesaria para cumplir con esta tarea, por lo que es preciso encontrar un nuevo medio para brindar este servicio.

### 1.3 Variables Internas

La instalación de un sistema domótico en una vivienda debe tomar en cuenta las características propias que la vivienda pueda presentar. De acuerdo a las especificaciones requeridas se deberá elegir la mejor alternativa que resuelva sus deficiencias de manera efectiva.

La disposición de los ambientes, la cantidad de dispositivos que se desea controlar, el presupuesto disponible, que sistemas se desea instalar, etc. son algunas de las consideraciones a tomar en cuenta.

En una vivienda unifamiliar común, que es donde se planea instalar el sistema domótico, se identificaron ciertos problemas.

- Generación de ruido en la línea eléctrica. Un electrodoméstico que funciona con motores (por ejemplo secadores de cabello, máquinas de ejercicio, aspiradoras, etc.) o un dispositivo electrónico avanzado (por ejemplo, las fuentes de alimentación conmutadas de computadoras portátiles, televisores de pantalla grande, etc.) son generadores de ruido.
- Atenuación excesiva de señales entre dos conductores vivos de una red trifásica. Las señales de un transmisor en un conductor vivo se propaga inadecuadamente debido a la alta impedancia del transformador de distribución. La trayectoria es poco confiable e impide que las señales se propaguen de una fase a otra.
- Atenuación de la señal debido a dispositivos conectados en la red eléctrica. Esto significa que las señales que pasan por estos dispositivos carecen de la suficiente fuerza como para proporcionar una comunicación confiable.

#### 1.4 Marco problemático

La automatización de la vivienda no ha tenido la difusión esperada, debido a la desinformación por parte de la sociedad sobre las tecnologías existentes; tales como los sistemas por cable dedicado, de corrientes portadoras y medios inalámbricos (RADIOFRECUENCIA); y a sus aplicaciones prácticas, las cuales pueden adecuarse a sus necesidades básicas y mejorar considerablemente el confort que las personas pueden disponer.

Por otra parte, aquellas personas que están enteradas e interesadas en adquirir estos sistemas no se encuentran en la capacidad para solventar los gastos que esto implica y debido a la complejidad que la instalación requiere, es necesaria la presencia de personal capacitado, lo cual eleva mas aun los costos.

Los hogares en la actualidad disponen de una red trifásica distribuida en toda la vivienda, a la cual se interconectan todos los dispositivos eléctricos los cuales pueden estar instalados en fases diferentes, lo que presenta dificultades en la comunicación. Además algunos de estos dispositivos; por ejemplo las computadoras personales, secadoras de cabello, etc.; generan ruido en la red eléctrica lo que distorsiona las señales existentes. Otro punto para tomar en cuenta es la atenuación que sufren las señales al transitar por ciertos dispositivos instalados como por ejemplo interruptores termo-magnéticos.



## CAPÍTULO 2

### SISTEMAS DOMOTICOS

#### 2.1 Estado del Arte

Existen diversos tipos de sistemas domóticos los cuales se encargan de la automatización de la vivienda, sin embargo se basan en tecnologías completamente diferentes. La gran diferencia entre estos es el medio de comunicación que utilizan.

Los sistemas comúnmente usados utilizan un medio físico para realizar la comunicación entre sus dispositivos, lo cual requiere una planificación previa de la infraestructura en donde se planea implementar. También se tienen sistemas que hacen uso de la banda de radiofrecuencias, aunque no requieren cableado alguno, presentan como desventaja un limitado alcance y además son susceptibles a interferencias. Los sistemas que trabajan con corrientes portadoras emplean las líneas eléctricas para realizar la transmisión de información. (CasaIP, 2008)

A continuación se detallan las características principales de estos sistemas.

##### 2.1.1 Sistemas por cable dedicado

###### 2.1.1.1 Instabus EIB

De acuerdo con Jiménez (2008) y UDEC (2008), el Instabus EIB es un sistema descentralizado utilizado para el control de los dispositivos eléctricos y electrónicos instalados en una vivienda mediante un bus de comunicación. Es un sistema de los llamados abiertos, porque actualmente existen numerosas empresas europeas (Asociación EIB) que han adoptado el mismo protocolo de comunicaciones y por lo tanto es posible usar componentes de diferentes marcas en una misma instalación.

El Bus de Instalación Europeo (EIB) permite que todos los componentes eléctricos de las instalaciones del edificio estén interconectados entre sí. De esta manera es posible que cualquier dispositivo controle a otro, independientemente de la distancia entre ellos y de su ubicación. Es decir, que todos los aparatos que utilizan la energía eléctrica en su funcionamiento quedan integrados en una sola red, tales como interruptores, pulsadores, motores, electro válvulas, contactores, sensores de cualquier tipo, etc.

El Bus es un par trenzado de cobre de  $2 \times 0,5 \text{ mm}^2$ , que recorre toda la vivienda y al cual se conectan los sensores y actuadores pertenecientes a las instalaciones de iluminación, calefacción, aire acondicionado, persianas, cortinas, toldos, alarmas, información, etc.

La red del EIB se encuentra estructurada de forma jerárquica. La unidad más pequeña se denomina línea, a la cual se pueden conectar hasta 64 dispositivos. Las líneas se agrupan en áreas. Un área se compone de una línea principal del cual cuelgan hasta 15 líneas secundarias. Esto suman hasta 960 dispositivos. Cada una de las líneas secundarias se conecta con la línea principal mediante un dispositivo llamado acoplador de línea. Puede haber hasta 15 áreas unidas mediante una línea principal, lo que da la posibilidad de controlar hasta

14.400 dispositivos en una misma instalación. No es necesario un puesto de control central ya que el sistema trabaja de forma descentralizada, teniendo una estructura lineal, estrellada o ramificada, siendo capaz de transmitirse comandos desde una PC.

Para este tipo de instalaciones es necesario tener en cuenta ciertos aspectos:

- La forma de la estructura de la instalación es completamente libre.
- Se debe disponer de una fuente de alimentación.
- La longitud de una línea no debe superar los 1000 metros.
- La distancia entre la fuente de alimentación y un dispositivo debe ser menor de 350 metros.
- La distancia máxima entre dispositivos no puede superar los 750 metros.
- La distancia mínima entre dos fuentes de alimentación dentro de una misma línea debe ser mayor de 200 metros.

Es un sistema destinado fundamentalmente a obras de nueva construcción o de reforma, pues para su instalación requiere una preinstalación a nivel de canalizaciones y cajas de registro. Además, es necesaria la utilización de herramientas de programación. EIB resulta muy adecuado para edificios, tiene la flexibilidad necesaria para controlar grandes instalaciones como oficinas, industrias o edificios completos de todo tipo. Los principales fabricantes de esta tecnología, son Siemens y Jung.

#### 2.1.1.2 Lonworks

Según Jiménez (2008), en 1992, la compañía Echelon presentó la tecnología ®LonWorks la cual cubre desde el nivel físico hasta el nivel de aplicación

para cualquier proyecto de domótica ofreciendo una arquitectura descentralizada. Desde entonces se ha venido implementando con éxito en edificios de oficinas, hoteles o industrias gracias a su gran robustez y fiabilidad, pero debido a su alto costo no ha logrado introducirse ampliamente en el mercado doméstico, ya que en la actualidad existen otras tecnologías mucho más económicas que cuentan con funciones y servicios similares.

#### 2.1.1.2.1 Funcionamiento de LonWorks

Todos los dispositivos LonWorks están basados en el microcontrolador Neuron Chip. Tanto el chip como la programación del mismo, la cual se implementa bajo el protocolo LonTalk, fueron desarrollados por Echelon en 1990.

El Neuron Chip tiene un identificador único, el Neuron ID, que permite direccionar cualquier dispositivo dentro de una red de control LonWorks. Este identificador, con una longitud de 48 bits, se graba en la memoria EEPROM durante la fabricación del circuito.

La tecnología LonWorks puede funcionar sobre RS-485 opto-aislado, cable coaxial, par trenzado, corrientes portadoras, fibra óptica e incluso radio frecuencia. El transmisor-receptor se encarga de adaptar las señales del Neuron Chip a los niveles que necesita cada medio físico.

Dentro de cada Neuron Chip se encuentra un sistema operativo que ejecuta y planifica la aplicación distribuida además de manejar las estructuras de datos que se intercambian los dispositivos mediante el protocolo LonTalk, el cual proporciona servicios de transporte y direccionamiento.

Los dispositivos LonWorks se comunican entre sí a través de mensajes de hasta 229 bytes, generados por cada Neuron Chip, que contienen la dirección destino, información para el encaminamiento, datos de control y de la aplicación, además de un código de detección de errores.

Los mensajes pueden ser de dos tipos: explícitos y variables de red. Los primeros son la forma más sencilla de intercambiar datos entre Neuron Chips del mismo segmento, mientras que las variables de red, aunque menos flexibles, proporcionan un modelo estructurado para el intercambio automático de datos distribuidos en un segmento.

La preinstalación consiste en preparar la instalación de los elementos que llegarán a conformar el sistema definitivo siguiendo las preferencias de cada cliente.

Los elementos físicos que integran la preinstalación, son los siguientes:

- Cajas de empalme de empotrar, que albergan los módulos de control.
- Caja de distribución de empotrar, que alberga los módulos de mando.
- Bus de comunicaciones, que une todas las cajas de empalme.
- Tubos para detectores de presencia, agua, humos, fuego.

Los principales fabricantes de esta tecnología son Isde, BJC y Simon.

### 2.1.2 Sistemas por radiofrecuencia

#### 2.1.2.1 Hometronic

Según CasalP (2008), el sistema Hometronic de Honeywell destaca por su facilidad de instalación (y de expansión a futuras ampliaciones) al ser un sistema modular y vía radio (sin cables). Ésta característica facilita su preinstalación en obra al eliminar las canalizaciones necesarias en otros sistemas.

Además, su cuidada estética y su relación calidad-precio lo convierten en una de las opciones más empleadas en viviendas construidas en las que no es posible acometer ningún tipo de obra.

Al ser Hometronic un desarrollo de Honeywell, se destaca, también, por su completo control sobre la calefacción de una vivienda, al disponer sistemas específicos para sistemas por suelo radiante o por radiadores. En este sentido, dispone de termostatos electrónicos regulables individuales por radiador que nos permiten seleccionar la temperatura deseada en cada estancia donde los ubiquemos.

Respecto a su fiabilidad de transmisión, su tecnología de radio ha sido probada de acuerdo con ETS y opera en la fiable banda ISM, entre 433,05 y 434,79 MHz, y la 868 MHz. En cuanto a su desarrollo, se han tomado las medidas necesarias para evitar interferencias de transmisores externos. El transmisor de cada componente Hometronic tiene su propio número de serie. Después del proceso de enseñanza (la asignación que se produce como parte del arranque) este número de serie se convierte en parte del protocolo de transmisión. Esto garantiza que cada módulo receptor sólo reacciona al módulo transmisor que tiene asignado y realiza correctamente la instrucción. Por lo tanto, es posible operar, sin ningún problema, distintos sistemas Hometronic en todas las viviendas de un mismo edificio.

Esta tecnología, también, garantiza que señales extrañas no sean interpretadas como comandos de conmutación. Su tecnología de radio también está totalmente preparada para el caso más desfavorable, en que un dispositivo extraño transmite permanente-mente en la misma frecuencia, perturbando la transmisión de

datos de Hometronic. Su tecnología transmite en frecuencias individuales dentro de la banda ISM y, por lo tanto, casi siempre encuentra una forma de transferir los datos con fiabilidad. Por último, la interferencia intencionada de frecuencias en el sistema Hometronic es casi imposible, porque las transmisiones están en el orden de milisegundos de duración y son escalonadas.

### 2.1.3 Sistemas por corriente portadora

#### 2.1.3.1 Protocolo X10

Según Domótica Viva (2008), los sistemas enmarcados dentro de los denominados por corriente portadora, utilizan la propia instalación eléctrica de una vivienda para comunicar a los dispositivos instalados. Es decir, no es necesaria la instalación de cableado adicional.

La red eléctrica de una vivienda proviene de una única toma antes del tablero general, luego todos los dispositivos eléctricos que en ella conviven, están comunicados entre sí.

El protocolo X10 es uno de los primeros estándares creados bajo esta tecnología. Su comercialización es completamente modular al estar compuesto mediante módulos de carril DIN, para instalar en cuadros eléctricos o en cajas de registro, módulos de enchufe (plug & play) para ínter posicionar entre la toma de enchufe del dispositivo a controlar y el propio dispositivo y, por último, módulos en formato pulsador para ubicarlos donde actualmente se encuentran los interruptores convencionales.

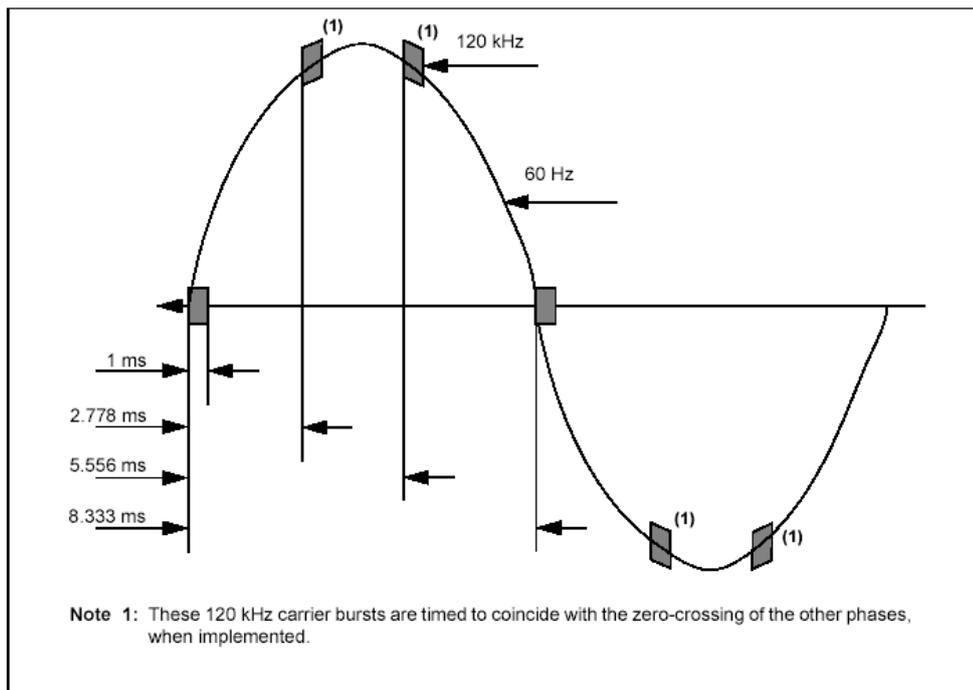
#### 2.1.3.2 Funcionamiento del Protocolo X-10

El sistema X-10 utiliza la señal sinusoidal de la red eléctrica para transportar la información. La técnica se denomina "corrientes portadoras (Power Line Carrier)".

El protocolo de modulación X-10 se basa en normas, las cuales siguen todos los fabricantes de productos X-10 con el fin de lograr una estandarización del producto, de este manera los productos fabricados por los distintos fabricantes son compatibles e intercambiables entre si. Entre los fabricantes más conocidos podemos citar: Leviton Manufacturing Co., General Electric, C&K Systems, Honeywell, Busch Jaeger, Ademco, DSC, IBM.

Para modular la señal de 50 Hz en Europa y 60Hz en América, el transmisor utiliza un oscilador opto acoplado que vigila el paso por cero de la señal senoidal.

Se puede insertar la señal X-10 en el semiciclo positivo o en el negativo de la onda senoidal. La codificación de un bit 1 o de un bit 0, depende de cómo se inyecte esta señal en los dos semiciclos. Un 1 binario se representa por un pulso de 120 KHz durante 1 milisegundo y el 0 binario se representa por la ausencia de ese pulso de 120 KHz. En un sistema trifásico el pulso de 1 milisegundo se transmite con el paso cero para cada una de las tres fases. Por lo tanto, el Tiempo de Bit coincide con los 20 mseg. que dura el ciclo de la señal, de forma que la velocidad binaria viene impuesta por la frecuencia de la red eléctrica. En América sería de 60 bps, y en Europa de 50bps.



**Fig. 1: Señal X-10 en la Red Eléctrica (Burroughs, 2002)**

La transmisión completa de una orden X-10 necesita once ciclos de corriente alterna. Esta trama se divide en tres campos de información: los dos primeros representan el código de inicio, los cuatro siguiente el código de casa (Letras A - P), y los cinco últimos código numérico (1 - 16) o bien el código función (encendido, apagado, aumento o disminución de intensidad).

**Tabla 1: Código de Casa del Protocolo X-10 (Burroughs, 2002)**

House Addresses	House Codes			
	H1	H2	H4	H8
A	0	1	1	0
B	1	1	1	0
C	0	0	1	0
D	1	0	1	0
E	0	0	0	1
F	1	0	0	1
G	0	1	0	1
H	1	1	0	1
I	0	1	1	1
J	1	1	1	1
K	0	0	1	1
L	1	0	1	1
M	0	0	0	0
N	1	0	0	0
O	0	1	0	0
P	1	1	0	0

**Tabla 2: Código de Unidad y Función del Protocolo X-10  
(Burroughs, 2002)**

Unit Addresses	Key Codes					
	D1	D2	D4	D8	D16	
1	0	1	1	0	0	
2	1	1	1	0	0	
3	0	0	1	0	0	
4	1	0	1	0	0	
5	0	0	0	1	0	
6	1	0	0	1	0	
7	0	1	0	1	0	
8	1	1	0	1	0	
9	0	1	1	1	0	
10	1	1	1	1	0	
11	0	0	1	1	0	
12	1	0	1	1	0	
13	0	0	0	0	0	
14	1	0	0	0	0	
15	0	1	0	0	0	
16	1	1	0	0	0	
Function Codes	All Units Off	0	0	0	0	1
	All Units On	0	0	0	1	1
	On	0	0	1	0	1
	Off	0	0	1	1	1
	Dim	0	1	0	0	1
	Bright	0	1	0	1	1
	All Lights Off	0	1	1	0	1
	Extended Code	0	1	1	1	1
	Hail Request	1	0	0	0	1
	Hail Acknowledge	1	0	0	1	1
	Pre-set Dim	1	0	1	X	1
	Extended Code (Analog)	1	1	0	0	1
	Status = On	1	1	0	1	1
	Status = Off	1	1	1	0	1
Status Request	1	1	1	1	1	

Para aumentar la fiabilidad del sistema, esta trama (Código de Inicio, Código de Casa y Código de Función o Numérico) se transmite siempre dos veces, separándolas por tres ciclos completos de corriente. Hay una excepción, en funciones de regulación de intensidad, se transmiten de forma continuada (por lo menos dos veces) sin separación entre tramas.

Código Inicio	Código Casa	Código Numérico	Código Inicio	Código Casa	Código Numérico
---------------	-------------	-----------------	---------------	-------------	-----------------



Fig. 2: Trama de información del Protocolo X-10

### 2.1.3.3 Módulos X-10

#### ➤ Actuadores:

- ◆ Módulos de Aparato o de Potencia. Para el encendido/apagado de equipos.
- ◆ Módulos de Iluminación. Para el control de luces con variación de su intensidad de iluminación (dimmer).
- ◆ Módulos de Persiana. Para regular el movimiento de persianas, cortinas, toldos, válvulas motorizadas con movimiento en dos direcciones.

#### ➤ Sensores:

- ◆ Sensores no X-10 adaptados mediante transmisor universal X-10. Detectores de humo y fuego, detectores de rotura de cristal, de apertura de puertas y ventana, de fuga de gas y agua, termostatos convencionales...
- ◆ Sensor de presencia X-10 por RF con sensibilidad de luz.

#### ➤ Controladores:

- ◆ Mini programador. Programación horaria, simulación de presencia, teclado
- ◆ Mandos a distancia multimedia por RF. Domótica + Mando universal.
- ◆ Mandos RF de X-10.
- ◆ Programador PC + Software Active Home. Macros, programación horaria, simulación de presencia

Los equipos X-10 poseen dos ruedas las cuales son utilizadas para la configuración en la red eléctrica, la primera es de color rojo esta representa el código de la casa y esta identificada con las letras de la “A” a la “P” y la segunda marcada de color negro representa el número del módulo o numérico que corresponde a dicho dispositivo. Se pueden realizar todas las combinaciones posibles entre las dos ruedas para identificar sus equipos de esta forma podrá obtener hasta 256 direcciones distintas. Este es el máximo número de dispositivos diferenciados que compone un sistema domótico X-10.

Si dos actuadores tienen los mismos códigos de casa y numérico, ejecutarán simultáneamente las órdenes procedentes por la red eléctrica. Si a dos detectores de presencia X-10 se les asigna los mismos códigos, mandarían la misma orden. Entre las más comunes pueden destacarse las siguientes:

**Tabla 3: Órdenes transmitidas por el Protocolo X-10**

On	Activación del módulo a direccional
Off	Desactivación del módulo a direccional
All Lights On	Activación de todos los módulos de luces
All Lights Off	Desactivación de todos los módulos de luces
Dim	Reducción de intensidad
Bright	Aumento de intensidad
Extended Code	Para transmisión de hasta 256 códigos de función adicional
Extended Data	Para transmisión de bytes adicionales (por Ej. conversor A/D)

#### 2.1.3.4 Dispositivos X-10

- ◆ Transmisores: Envían una señal especialmente codificada de bajo voltaje que es superpuesta sobre el voltaje del cableado. Un transmisor es capaz

de enviar información hasta 256 dispositivos sobre el cableado eléctrico.

Múltiples transmisores pueden enviar señales al mismo módulo.

- ◆ **Receptores:** Como los receptores y transmisores, pueden comunicarse con 256 direcciones distintas. Cuando se usan con algunos controladores de computadoras, estos dispositivos pueden reportar su estado.
- ◆ **Bidireccionales:** Estos dispositivos toman la señal enviada por los dispositivos transmisores. Una vez que la señal es recibida el dispositivo responde encendiéndose (ON) o apagándose (OFF). Los receptores generalmente tienen un código establecido por el usuario para indicar la dirección del dispositivo. Múltiples dispositivos con el mismo código pueden coexistir y responder al mismo tiempo dentro de una misma casa. Los dispositivos bidireccionales, tienen la capacidad de responder y confirmar la correcta realización de una orden, lo cual puede ser muy útil cuando el sistema X-10 está conectado a un programa de ordenador que muestre los estados en que se encuentra la instalación domótica de la vivienda. Este es el caso del Programador para PC
- ◆ **Inalámbricos:** Una unidad que permite conectarse a través de una antena y enviar señales de radio desde una unidad inalámbrica e inyectar la señal X10 en el cableado eléctrico.

### **CAPÍTULO 3**

#### **ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA Y**

#### **DISEÑO DEL TRANSMISOR Y RECEPTOR**

##### **3.1 Identificación de la Tecnología y Sistema a utilizar**

Para el siguiente trabajo de tesis se optó por utilizar la tecnología de corrientes portadoras tomando como base el Protocolo X-10. Esta elección se basó fundamentalmente en las ventajas ofrecidas en comparación a otras tecnologías y sistemas existentes.

En primer lugar, la tecnología de corrientes portadoras se caracteriza por hacer uso de la red eléctrica como medio de comunicación para transmitir información, por lo cual no es necesario otro medio de interconexión. Es por esto que los sistemas que hacen uso de esta tecnología tienen la posibilidad de ser instalados en todo tipo de viviendas, tanto nuevas como antiguas.

Un aspecto importante del Protocolo X-10 es que no necesita herramientas complicadas de programación, a diferencia de otros sistemas que tienen esta característica como requerimiento indispensable. Además, el Protocolo X-10 ofrece un sistema de menor complejidad con simplicidad en la instalación, lo cual facilita su adquisición.

También cabe recalcar la característica modular que el Protocolo X-10 aporta, lo cual permite realizar una modernización sistemática de la vivienda. Esto se puede considerar como una manera de proteger la inversión realizada, ya que es totalmente universal y por lo tanto transportable. Todos los módulos basados en esta tecnología son fáciles de instalar y desinstalar, y seguirán siendo útiles en otra vivienda.

Sin embargo, el aspecto mas resaltante es el bajo costo de adquisición e instalación que un sistema basado en esta tecnología posee.

### 3.2 Planteamiento del Sistema

Se propone desarrollar un sistema domótico básico que se encargue de la automatización de la vivienda, tomando como base el Protocolo X-10. Para lo cual se han determinado partes importantes en el desarrollo.

En primera instancia debemos identificar que como en todo sistema de comunicación se tienen que cumplir ciertos requisitos mínimos e indispensables, tales como:

- Protocolo de comunicación
- Transmisor
- Receptor
- Medio de comunicación: Red eléctrica 220VAC 60 Hz

### 3.3 Protocolo de comunicación

Para poder realizar la comunicación entre los dispositivos transmisor y receptor es necesario especificar el protocolo de comunicación empleado. De esta manera se establece el método utilizado para formar la trama de información, la codificación empleada y la manera como se transmitirá la información.

En primer lugar definimos el formato de la trama de información, la cual esta dividida en cuatro campos de información:

- Cabecera o código de inicio
- Código de casa (Letras A - P)
- Código de unidad (1 - 16)
- Código función. (encendido, apagado, aumento o disminución de intensidad)

La cabecera o código de inicio es utilizada como bandera para indicar que se comenzará a transmitir la información. Los códigos de casa y unidad son los mismos del protocolo X-10.

**Tabla 4: Códigos de casa**

DIRECCION DE CASA	CODIGO DE CASA			
	H1	H2	H3	H4
A	0	1	1	0
B	1	1	1	0
C	0	0	1	0
D	1	0	1	0
E	0	0	0	1
F	1	0	0	1
G	0	1	0	1
H	1	1	0	1
I	0	1	1	1
J	1	1	1	1
K	0	0	1	1
L	1	0	1	1
M	0	0	0	0
N	1	0	0	0
O	0	1	0	0
P	1	1	0	0

**Tabla 5: Códigos de unidad**

DIRECCION DE UNIDAD	CODIGO DE UNIDAD			
	D1	D2	D3	D4
1	0	1	1	0
2	1	1	1	0
3	0	0	1	0
4	1	0	1	0
5	0	0	0	1
6	1	0	0	1
7	0	1	0	1
8	1	1	0	1
9	0	1	1	1
10	1	1	1	1
11	0	0	1	1
12	1	0	1	1
13	0	0	0	0
14	1	0	0	0
15	0	1	0	0
16	1	1	0	0

Si bien se tomo como base para la comunicación el protocolo X-10, no se lo hace en su totalidad. Para esta implementación solamente se utilizan cuatro funciones posibles.

**Tabla 6: Códigos de función**

FUNCION	CODIGOS DE FUNCION			
	F1	F2	F3	F4
ENCENDIDO	0	0	1	0
REGULACIÓN NIVEL 1	0	1	0	0
REGULACIÓN NIVEL 2	0	1	0	1
APAGADO	0	0	1	1

La codificación se aplica a los códigos de casa, unidad, y función. Utilizando pares de bits complementarios.

**Tabla 7: Códigos de transmisión**

CASA	UNIDAD	CODIGO GENERADO	CODIGO TRANSMITIDO	
			BINARIO	HEXADECIMAL
A	0	0 1 1 0	01101001	69
B	1	1 1 1 0	10101001	A9
C	2	0 0 1 0	01011001	59
D	3	1 0 1 0	10011001	99
E	4	0 0 0 1	01010110	56
F	5	1 0 0 1	10010110	96
G	6	0 1 0 1	01100110	66
H	7	1 1 0 1	10100110	A6
I	8	0 1 1 1	01101010	6A
J	9	1 1 1 1	10101010	AA
K	10	0 0 1 1	01011010	5A
L	11	1 0 1 1	10011010	9A
M	12	0 0 0 0	01010101	55
N	13	1 0 0 0	10010101	95
O	14	0 1 0 0	01100101	65
P	15	1 1 0 0	10100101	A5

FUNCIÓN				
ON		0 0 1 0	01011001	59
V2		0 1 0 0	01100101	65
V3		0 1 0 1	01100110	66
OFF		0 0 1 1	01011010	5A

La trama de información a transmitir tendrá el siguiente formato.



**Fig. 3: Trama de información del protocolo de comunicación**

En primera instancia cabe recalcar que se utilizará la señal sinusoidal de la red eléctrica 220VAC 60Hz como medio de comunicación para transmitir la información. Sin embargo, se requiere una señal de sincronización, para esto se utiliza la señal de cruce de paso por cero de la señal senoidal.

La información que se desea transmitir será acoplada a la red en cada cruce de paso por cero. Para la codificación de la información a transmitir se establece que un bit 1 lógico se representa por un pulso de 120 KHz. durante 1 milisegundo y el 0 binario se representa por la ausencia de ese pulso de 120 KHz.

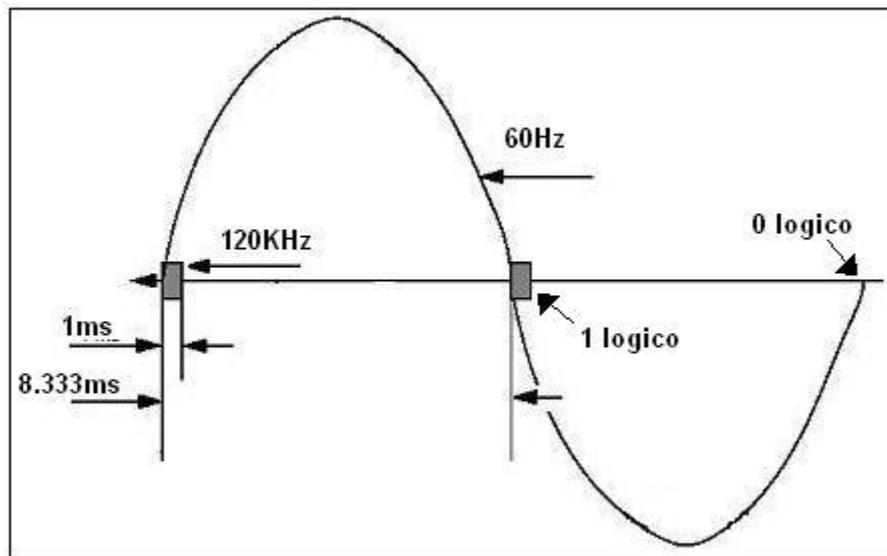


Fig. 4: Señal en la red eléctrica

Para aumentar la fiabilidad del sistema, la trama de información es enviada dos veces separándolas por tres ciclos completos.

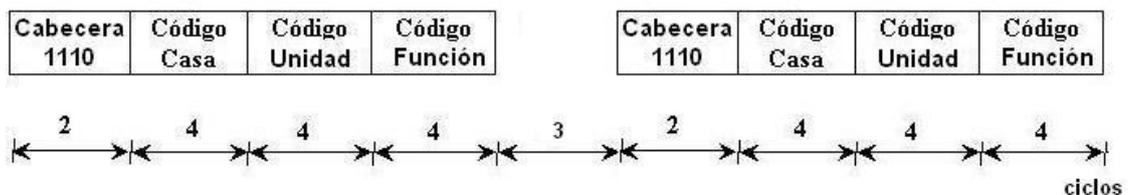


Fig. 5: Trama de información enviada

Se puede observar que el tiempo necesario para enviar una orden desde el dispositivo transmisor es 248mseg.

### 3.4 Diseño de los Módulos

#### 3.4.1 Módulo Transmisor-Centro de Control

##### 3.4.1.1 Descripción

El módulo transmisor es el encargado de generar los pulsos de 120KHz de 1ms de duración e inyectarlos en cada cruce por cero de la señal de 220VAC 60Hz de la red eléctrica.

El protocolo de comunicación definido con anterioridad nos indica como se forma la trama y la manera como es transmitida. Ahora se debe especificar como se adquieren las señales de cruce por cero, los códigos de casa, códigos de unidad y códigos de función. Sin estas señales, el protocolo establecido carece de importancia.

Para seleccionar el dispositivo de destino al que se desea controlar se emplean micro-interruptores y mediante un pulsador se determina la función que se desea realizar. De esta manera es posible construir la trama de información y eventualmente transmitirla.

Para poder interconectar todas las funciones que el módulo transmisor debe realizar se utiliza el microcontrolador ATMEGA8, que realizará el procesamiento de las señales recibidas y generara las señales de control correspondientes.

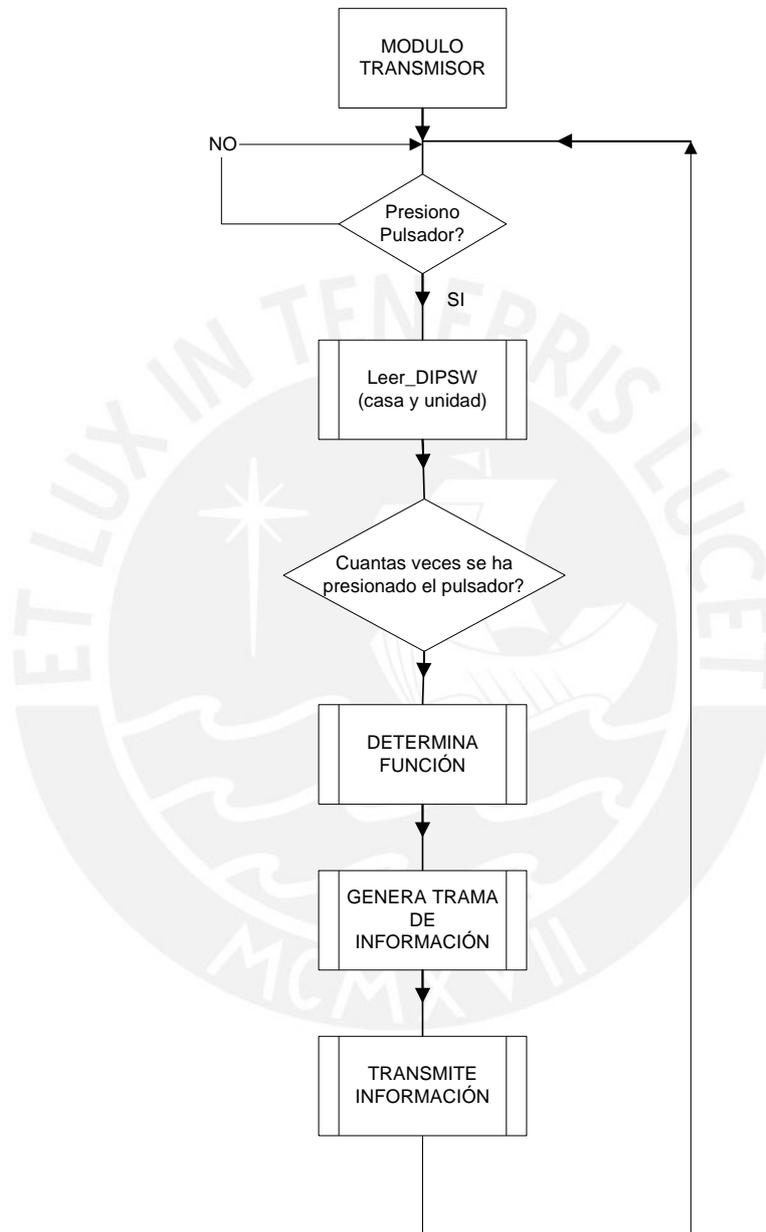
#### 3.4.1.2 Funcionamiento

El módulo transmisor se encuentra en espera en todo momento. Cuando se presiona el pulsador, inmediatamente se lee el valor de la CASA y UNIDAD de destino. Luego se determina la función a realizar dependiendo del número de veces que se haya presionado el pulsador.

EL pulsador presionado por primera vez selecciona la función de ENCENDIDO, presionado una segunda vez selecciona un nivel 2 que regula la potencia suministrada a un nivel determinado, presionado por tercera vez regula la

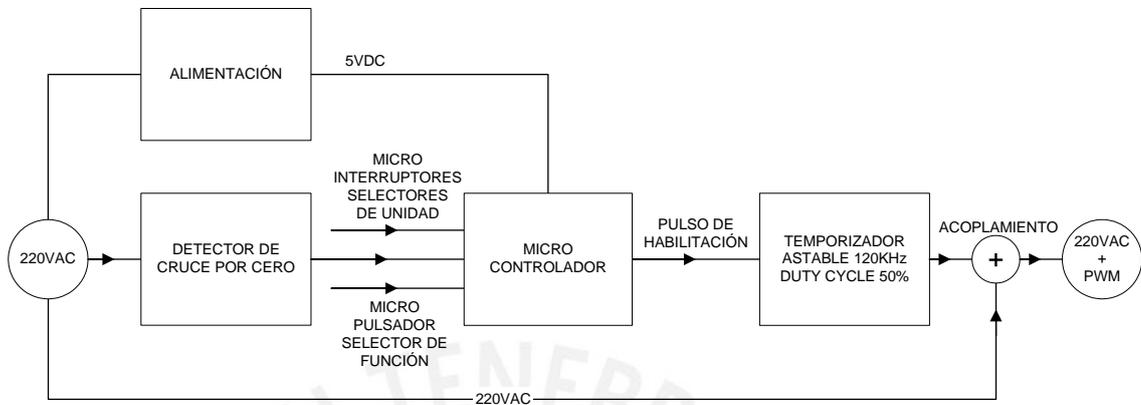
potencia a un nivel 3 y presionado por cuarta vez selecciona la función de APAGADO.

Con los valores de CASA, UNIDAD Y FUNCION es posible generar la trama y transmitir la información.



**Fig. 6: Diagrama de flujo del módulo transmisor**

### 3.4.1.3 Etapas



**Fig. 7: Diagrama de bloques del módulo transmisor**

- ◆ Alimentación 220VAC-5VDC
- ◆ Detector de cruce por cero
- ◆ Selección de la CASA-UNIDAD y FUNCION
- ◆ Microcontrolador ATMEGA-8
  - Procesamiento de información
  - Generación de pulso de 1mseg
- ◆ Generación de señal PWM 120KHZ duty-cycle 50%
- ◆ Acoplamiento de señal PWM con la red eléctrica

#### ➤ Alimentación 220VAC-5VDC



**Fig. 8: Diagrama de bloques 220VAC-5VDC/TIERRA**

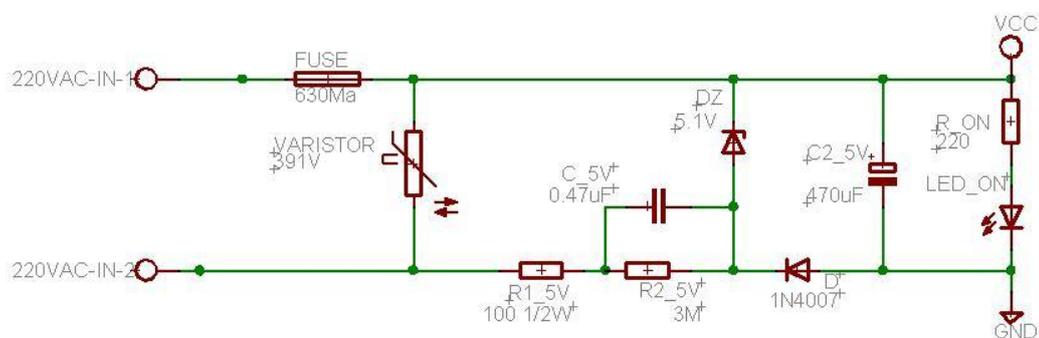
El microcontrolador ATMEGA-8 y otros componentes electrónicos utilizados requieren de una señal de 5VDC. La solución habitual para resolver este problema

sería utilizar un transformador seguido de una etapa de rectificación, filtrado y regulación. Uno de los beneficios que brinda el transformador es el aislamiento.

Sin embargo, como se planea utilizar la línea eléctrica como medio de transmisión para enviar y recibir información, el aislamiento provisto por el transformador es irrelevante. Además, hay que tener en cuenta el costo y el espacio que ocupa. También se debe considerar que la potencia requerida por la tarjeta no es elevada. Debido a esto, se puede concluir que utilizar una fuente de voltaje sin transformador sería lo más conveniente.

Como solución a este problema se opta por una fuente de voltaje capacitiva, la cual entrega a su salida 5VDC y con una corriente suficiente para alimentar a los circuitos integrados y demás dispositivos. También se debe considerar que este tipo de fuente ocupa menos espacio y el costo de implementación también disminuye.

(Condit, 2004)

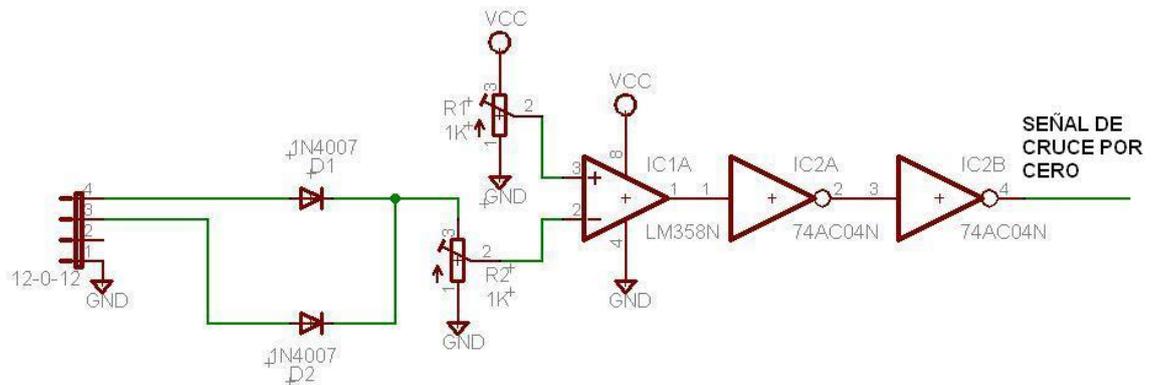


**Fig. 9: Diagrama esquemático fuente de voltaje capacitiva sin transformador**

➤ Detector de cruce por cero

Como se ha especificado con anterioridad, es de vital importancia contar con una señal de referencia que indique el cruce por cero de la red eléctrica. Para obtener esta señal se utilizó el comparador asimétrico LM358 que tiene como primera señal de entrada 6VAC 60Hz, la cual se obtuvo mediante un transformador

reductor de 220VAC-12VAC, se utiliza un potenciómetro para regular el nivel de Voltaje a 6VAC. Como segunda señal para la comparación se tiene 600mVDC, la que se obtuvo con la señal de 5VDC y un potenciómetro para regular el nivel de voltaje.



**Fig. 10: Diagrama esquemático detector de cruce por cero**

➤ Selección de la CASA-UNIDAD y FUNCION

Para seleccionar la CASA-UNIDAD de destino a la cual se le envían las órdenes a realizar se utilizan micro-interruptores conectados a los pines del puerto B y C del microcontrolador. Mediante los pines 3-0 del puerto B se determina el código de CASA y con los pines 3-0 del puerto C el código de UNIDAD.

Para seleccionar la función a realizar se utiliza un pulsador conectado al pin 2 del puerto D (RD1), el cual cuando se presiona por primera vez se elige la función de ENCENDIDO o de primera velocidad, cuando se presiona por segunda vez se elige la segunda velocidad, cuando se presiona por tercera vez se elige la tercera velocidad y presionando una cuarta vez se elige la opción de APAGADO. De esta manera es posible regular la potencia entregada a la carga.

➤ Microcontrolador ATMEGA8 del MODULO-TRANSMISOR

Las funciones básicas que el microcontrolador debe realizar son:

- ◆ Procesamiento de información

- ◆ Generación de pulso de 1mseg.

Para esto tiene configurados sus puertos como entradas y salidas:

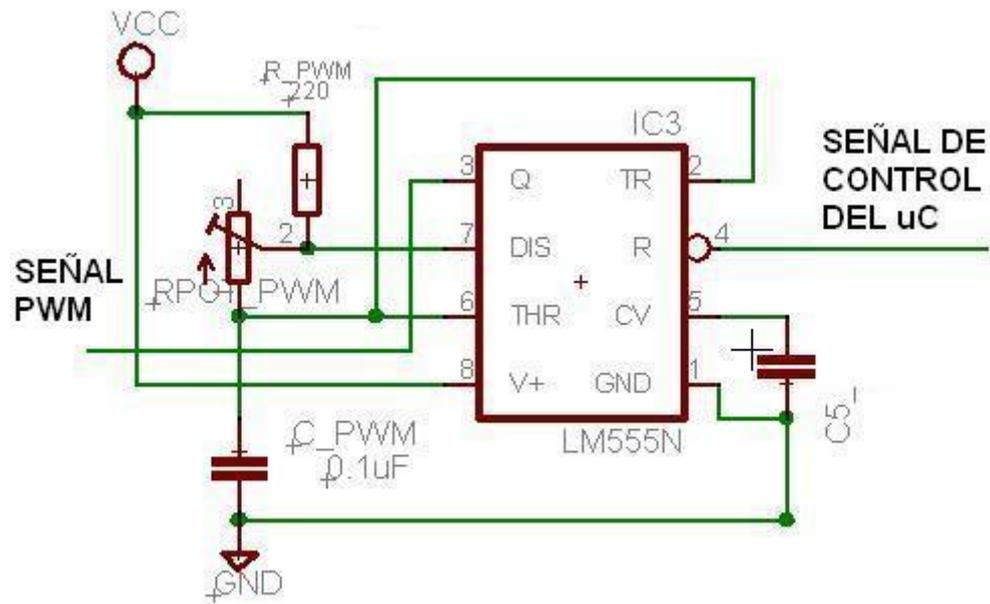
- Entradas
  - Pin 2 del puerto D → señal de cruce por cero
  - Pin 3 del puerto D → pulsador selector de función
  - Pines 3-0 del puerto B micro-interruptores → selectores de el código de CASA
  - Pines 3-0 del puerto C micro-interruptores → selectores de el código de UNIDAD
- Salidas
  - Pin 7 del puerto D → señal de control
  - Pin 5 del puerto D → señal para visualización

El microcontrolador es el encargado de leer la CASA-UNIDAD de destino cuando se presiona el pulsador y de acuerdo a la FUNCION seleccionada genera la trama de información requerida. La trama de información esta formada por 1's y 0's lógicos. Por lo que si se debe de enviar un 1 lógico se genera la señal de control correspondiente. Si se debe de enviar un 0 lógico la señal de control no es generada.

La señal de control es un pulso en alta de 1mseg de duración, el cual activa al temporizador 555 en configuración astable. Para una correcta sincronización el microcontrolador debe asegurarse de generar la señal de control en cada cruce por cero.

También se dispone de un led conectado al pin 5 del Puerto D, mediante el cual se visualizará cuando se este transmitiendo información.



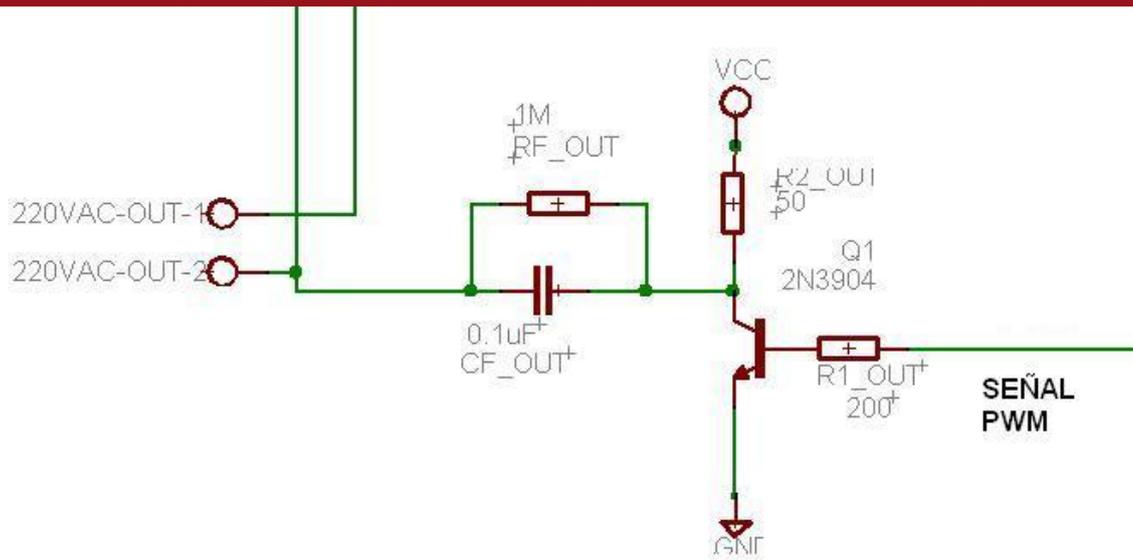


**Fig. 13: Diagrama esquemático del temporizador 555 como astable 120KHZ ciclo de trabajo 50%**

➤ Acoplamiento de señal PWM con la red eléctrica

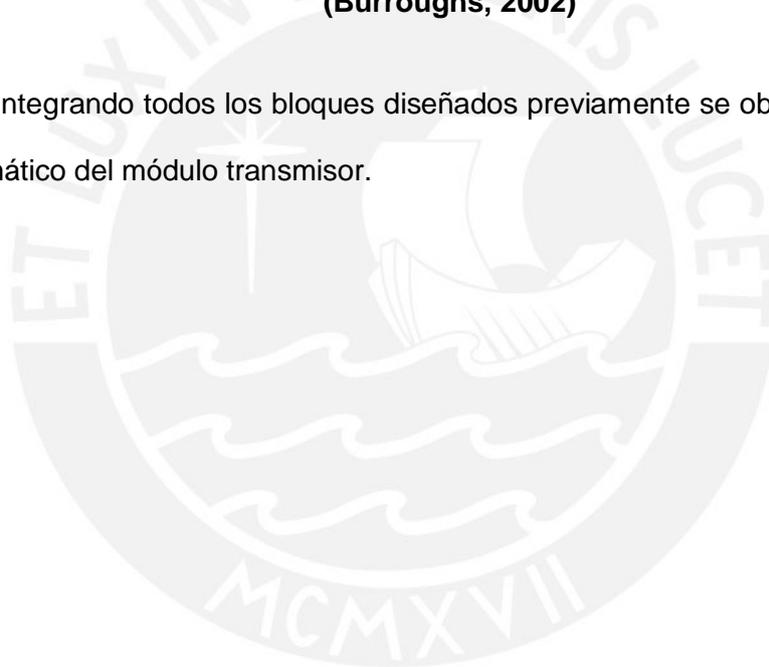
Para acoplar exitosamente la señal PWM generada por el microcontrolador a la señal de 220VAC 60Hz. se utiliza un transistor funcionando como amplificador y un filtro pasa-altos.

El transistor utilizado es el 2N3904, y la resistencia conectada a la base del transmisor es 200ohmios, la resistencia conectada al emisor es 50ohmios. En cuanto al filtro pasa alto de acoplo, se utilizada un condensador tipo MAYNARD de 0.1uF de 275V y una resistencia de 1Mohio. La impedancia del condensador se define como  $Z_c = 1 / (2 * \pi * F * C)$ , por lo que si  $C = 0.1 \mu F$  con  $F = 120 \text{ KHz}$  entonces  $Z_c = 13 \text{ ohmios}$ , sin embargo con  $F = 60 \text{ Hz}$  la impedancia  $Z_c = 26.5 \text{ Kohmios}$ . Se puede ver que se tiene una baja impedancia a la señal de 120KHz y alta a la señal de 60Hz. De esta manera es posible acoplar la señal de 120KHz con la señal de 60Hz de la línea eléctrica.



**Fig. 14: Diagrama esquemático acoplamiento a la red eléctrica (Burroughs, 2002)**

Integrando todos los bloques diseñados previamente se obtiene el diagrama esquemático del módulo transmisor.



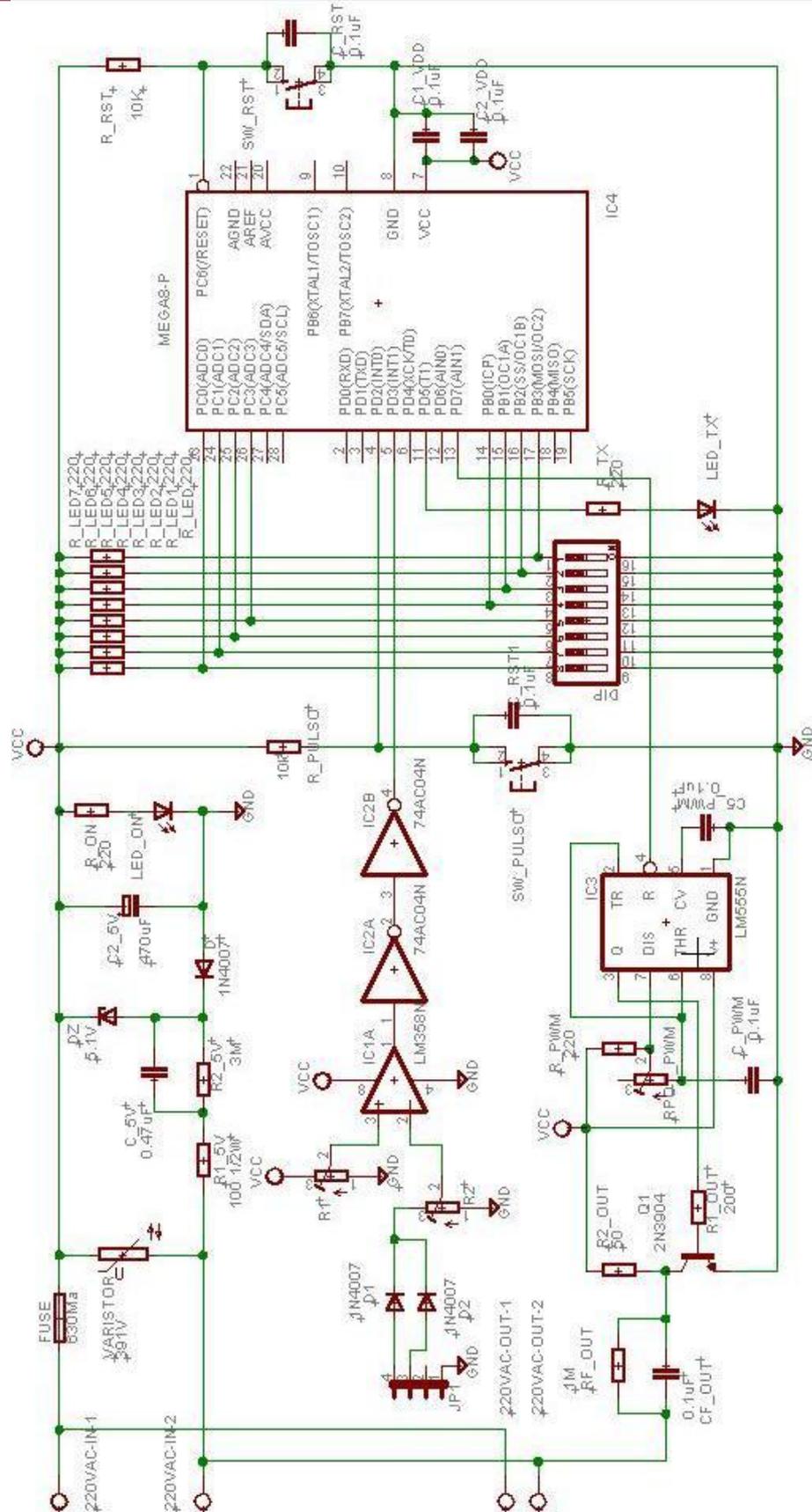


Fig. 15 Diagrama esquemático del módulo transmisor

### 3.4.2 Módulo Receptor-Actuador

#### 3.4.2.1 Descripción

El módulo receptor es el encargado de detectar los pulsos de 120KHz de 1ms que son transmitidos por medio de la red eléctrica en cada cruce por cero y adaptar esta señal a un nivel de voltaje aceptable para el microcontrolador. Además debe de realizar la decodificación pertinente para generar la señal de control adecuada.

El protocolo de comunicación definido con anterioridad nos indica el formato de la trama y la manera como es transmitida la información. Ahora se debe especificar como la información es reconstruida y el proceso de verificación que se realiza. Para esto es necesario contar con las señales de cruce por cero, los códigos de casa y códigos de unidad.

Para poder interconectar todas las funciones que el módulo transmisor debe realizar se utiliza el microcontrolador ATMEGA8, que realizará el procesamiento de las señales recibidas y generará las señales de control correspondientes.

#### 3.4.2.2 Funcionamiento

El módulo receptor se encuentra esperando a que la información que recibe tenga el formato de la trama de encabezado, de no cumplirse esto se asume que la información recibida no es válida. Cuando se recibe la trama de encabezado, también se leen los códigos de CASA y UNIDAD transmitidos. Si en la recepción de la trama de información no se presentaron problemas, se procede a leer la CASA y UNIDAD propio del dispositivo que son determinados con los micro-interruptores.

Se realiza una comparación entre los códigos transmitidos y los códigos propios de los dispositivos, si no concuerdan entonces la información recibida no le

corresponde y continúa esperando a que le llegue información adecuada. Si la comparación es exitosa se genera la señal de control para regular la potencia que recibirá la carga

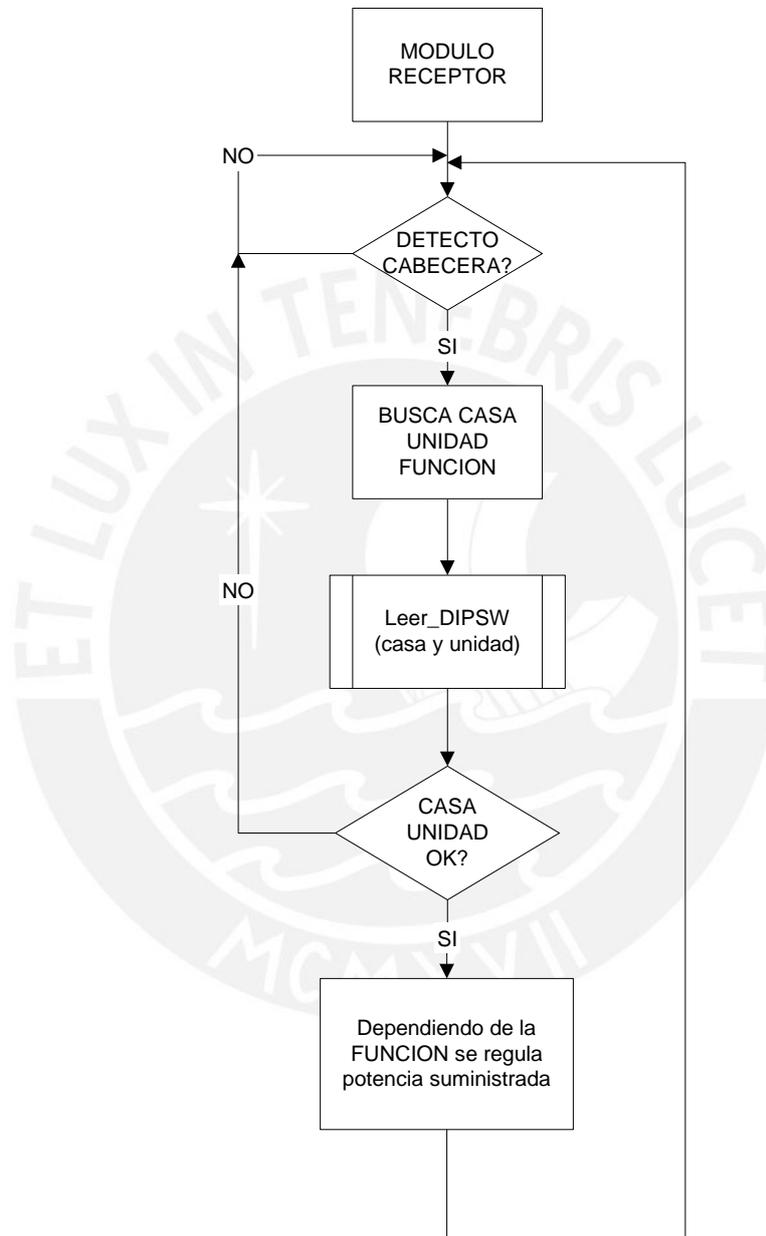
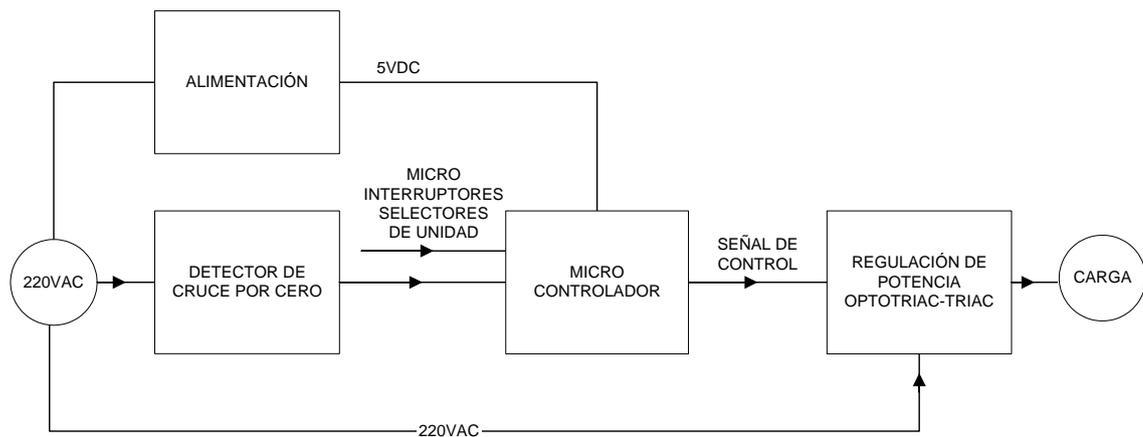


Fig. 16: Diagrama de flujo del módulo receptor

3.4.2.3 Etapas

**Fig.17: Diagrama de bloques del módulo transmisor**

- ◆ Alimentación 220VAC-5VDC
- ◆ Detector de cruce por cero
- ◆ Selección de la CASA-UNIDAD
- ◆ Detector de pulsos
- ◆ Microcontrolador ATMEGA-8
  - Procesamiento de información
  - Generar la señal de control de regulación potencia
- ◆ Regulación de potencia
- Alimentación 220VAC-5VDC

Mismo circuito que el módulo transmisor

- Detector de cruce por cero

Mismo circuito que el módulo transmisor

- Selección de la CASA-UNIDAD

Para seleccionar la CASA-UNIDAD de destino a la cual se le envían las ordenes a realizar se utilizan micro-interruptores conectados a los pines del puerto B y C del

microcontrolador. Mediante los pines 3-0 del puerto B se determina el código de CASA y con los pines 3-0 del puerto C el código de UNIDAD.

➤ Detector de pulsos



**Fig.18: Diagrama de bloques del detector de pulsos**

Para poder transmitir información a través de la red eléctrica el dispositivo receptor debe estar en la capacidad de detectar los pulsos de 120KHz presentes en las líneas de transmisión. Por lo que es necesario contar con una etapa de detección. Esto se consigue con un filtro de desacoplo, un filtro pasa-altos, un amplificador de ajuste y un detector de envolvente.

En cuanto al filtro de desacoplo, se utilizaba un condensador tipo MAYNARD de 0.1uF de 275V y una resistencia de 1Megaohmio. La impedancia del condensador se define como  $Z_c=1/(2*\pi*f*C)$ , por lo que si  $C=0.1\mu F$  con  $F=120KHz$  entonces  $Z_c=13\Omega$ , sin embargo con  $F=60Hz$  la impedancia  $Z_c=26.5K\Omega$ . Se puede ver que se tiene una baja impedancia a la señal de 120KHz y alta a la señal de 60Hz. De esta manera es posible desacoplar la señal de 120KHz de la señal de 60Hz de la línea eléctrica. Además se colocan diodos zener de 5.1V para enclavar los niveles de voltaje.

Debido a que la frecuencia de 120KHz es mucho mayor que la de 60Hz de la línea eléctrica, se utilizará un filtro pasa-alto tipo RC. Con  $R=330\Omega$  y  $C=4.7nF$  se tiene una frecuencia de corte  $F_c=102.6KHz$ . , de esta manera es posible atenuar la señal de 60Hz y dejar pasar la de 120KHz

La señal de 120KHz obtenida debe de ser amplificada porque en este punto se encuentra en el rango de los mV. Se utiliza el amplificador operacional asimétrico LM358 configurado como no inversor, con valores de resistencia  $R1=1K$  y  $R2=47K$  se obtiene una ganancia  $Av=(1+R2/R1)=48$ . La señal amplificada pasa por un detector de envolvente formado por un diodo rápido y una resistencia de 100K conectada a 5VDC.

La señal obtenida debe de ser adaptada a niveles adecuados con los que el microcontrolador pueda trabajar, para lo que se utiliza un comparador de nivel formado por un LM358 y una señal de referencia.

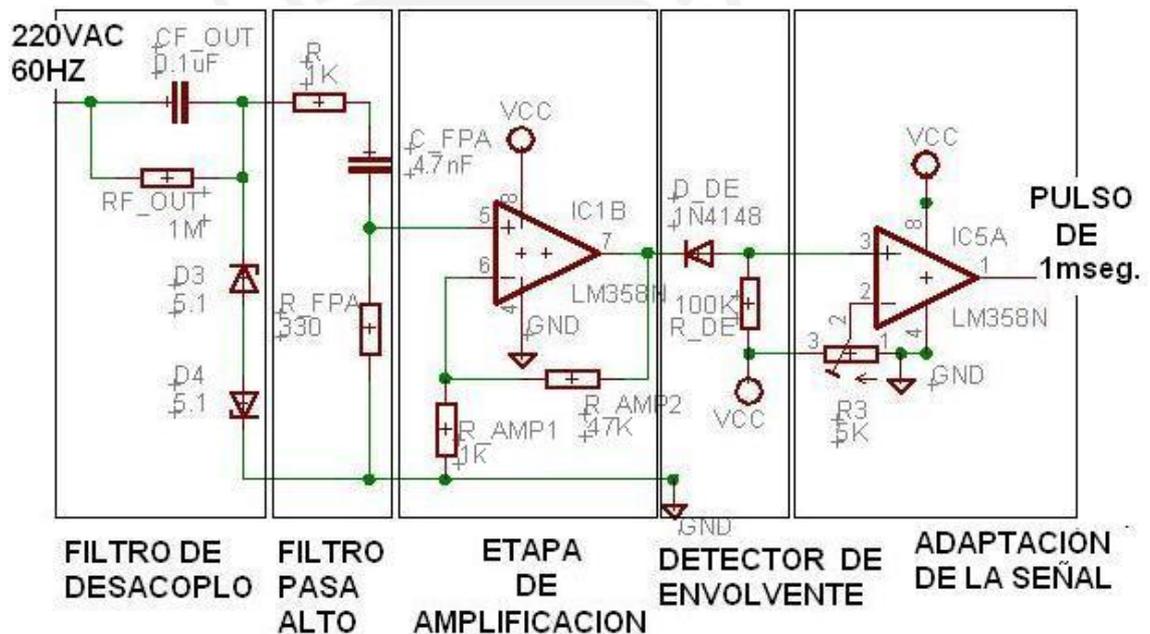


Fig.19: Diagrama esquemático del detector de pulsos

➤ Microcontrolador ATMEGA8 del MODULO-RECEPTOR

Las funciones básicas que el microcontrolador debe realizar son:

- ◆ Procesamiento de información
- ◆ Generar la señal de control de regulación potencia

Para esto tiene configurados sus puertos como entradas y salidas:

- Entradas
  - Pin 2 del puerto D → señal de cruce por cero
  - Pin 3 del puerto D → señal de detección de pulsos
  - Pines 3-0 del puerto B micro-interruptores → selectores de el Código de CASA
  - Pines 3-0 del puerto C micro-interruptores → selectores de el Código de UNIDAD
- Salidas
  - Pin 7 del puerto D → señal de control de regulación potencia

El microcontrolador es el encargado de leer el código de CASA y el código de UNIDAD del dispositivo para realizar la validación de la información. Además con la señal de cruce analizara el estado del pin 2 del puerto D con la finalidad de detectar la presencia del pulso de 1mseg. y en base a esto armar la trama de información, la cual será procesada y se generara las señales de control para regular la potencia suministrada a la carga.

Se ha definido con anterioridad que se dispondrá de tres niveles de potencia que puede recibir la carga, por lo que es necesario generar las señales de control adecuadas. Para el primer nivel de encendido se genera un pulso de 2mseg. de duración, para el segundo nivel el pulso tiene 4mseg. de duración, para el tercer nivel se tiene un pulso de 6mseg. de duración. Y finalmente con la opción de apagado se mantiene un nivel constante. Cabe recalcar que cada pulso de control se dispara en el cruce por cero.

NIVEL	Pulso (mseg.)	Potencia (%)
On	2	76
Vel2	4	52
Vel3	6	28
Off	-	0

**Tabla 8: Niveles de regulación de potencia**

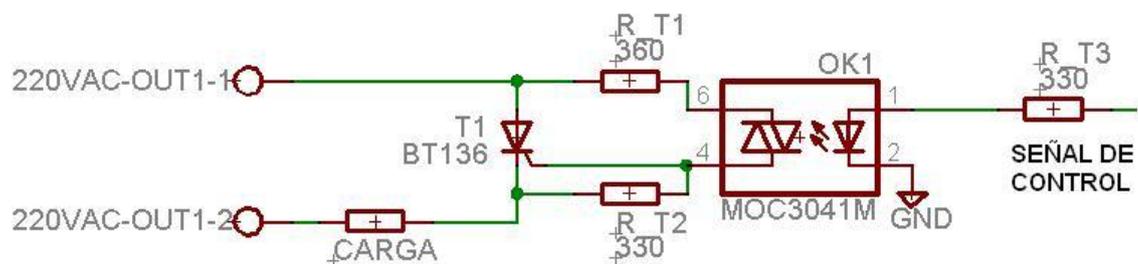
➤ Regulación de potencia

Para la etapa de regulación de potencia se seleccionó un TRIAC debido a su buen desempeño como interruptor y a su alta respuesta en media potencia, esto lo hace adecuado para el control de lámparas y regulación de potencia.

El TRIAC es un dispositivo económico, de tres terminales que actúa básicamente como un interruptor de corriente alterca de alta velocidad. Sus terminales MT1 Y MT2 son colocados en serie con la carga. Una pequeña corriente de disparo entre GATE y MT1 permite la conducción, y seguirá así mientras la corriente de carga sea mayor a una corriente mínima. Debido a esto el TRIAC se desactiva en cada cruce por cero.

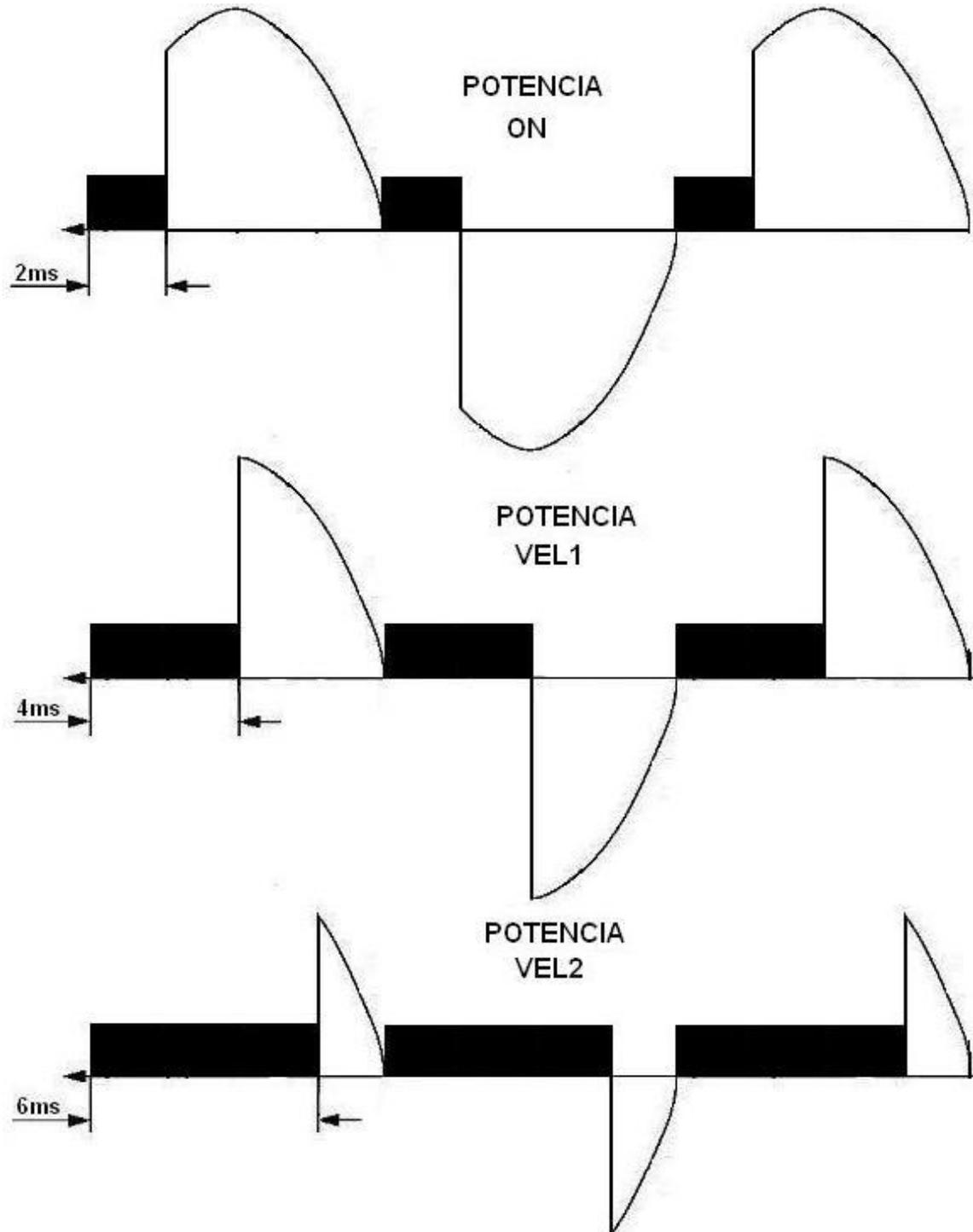
Para poder disparar al TRIAC se utiliza un OPTO-TRIAC como driver, el cual a su vez sirve como aislamiento entre la etapa de control y la etapa de potencia. La señal de control ingresa al driver y este acciona al TRIAC.

El triac utilizado es el BT-136 y el opto-triac es el MOC-3041. El opto-triac requiere de una corriente de entrada de 15mA, por lo que se coloca una resistencia de 330ohmios a la entrada.



**Fig.20: Diagrama esquemático del detector de pulsos**

La potencia suministrada a la carga depende de la señal de control.



**Fig.21: Niveles de potencia suministrada a la carga**

Integrando todos los bloques diseñados previamente se obtiene el diagrama esquemático del módulo receptor.

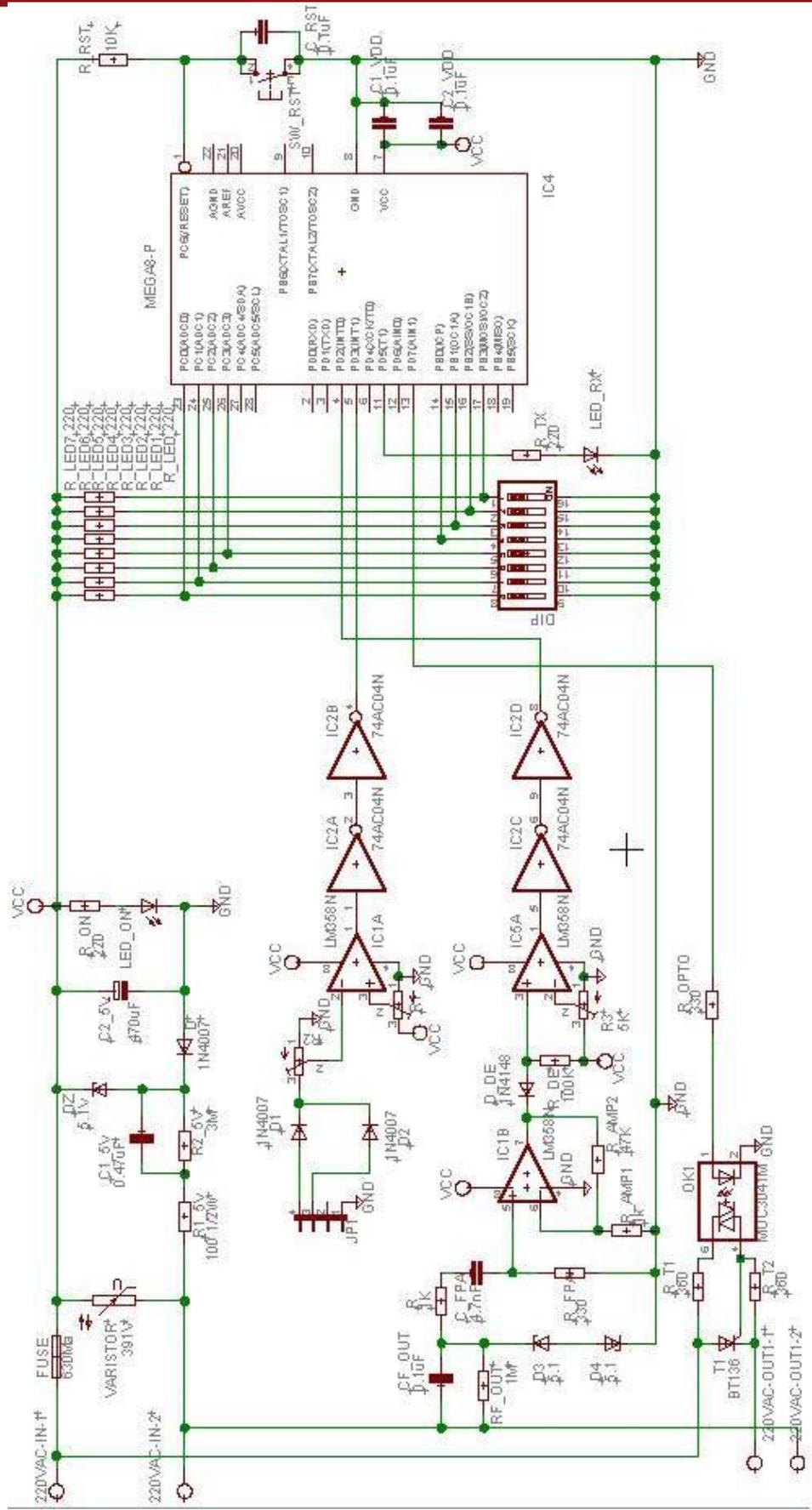


Fig.22: Diagrama esquemático del módulo receptor

### 3.5 Objetivos

#### 3.5.1 Objetivo General

Desarrollar y verificar el funcionamiento de los módulos de transmisión y recepción del sistema de control automatizado de la vivienda teniendo como base la tecnología de corrientes portadoras y el protocolo X-10.

#### 3.5.2 Objetivos Específicos

- Generar la trama de información codificada lista para ser transmitida, en base a los códigos de casa, unidad y función.
- Acoplar la señal digital a la red eléctrica.
- Desacoplar la señal digital de la red eléctrica y reconstruirla para su procesamiento.
- Establecer la comunicación coherente entre el módulo transmisor y el módulo receptor.
- Generar la señal de control de regulación de potencia y verificar el nivel de potencia suministrada a la carga.
- Comprobar el funcionamiento del módulo transmisor y receptor con cargas lumínicas y/o resistivas.

## CAPÍTULO 4

### PRUEBAS FINALES Y VERIFICACION DEL FUNCIONAMIENTO

Antes de conectar el módulo transmisor y receptor a la red eléctrica para comprobar su correcto funcionamiento, es necesario realizar ciertas pruebas preliminares en el laboratorio. Para lo que fue necesario contar con ciertos instrumentos, tanto de hardware como de software.

#### 4.1 Instrumentos utilizados

##### 4.1.1 Software

- VMLab.- Software utilizado para escribir los programas del transmisor y receptor.
- Programador AVR PUCP.- Software utilizado para programar los microcontrolador ATMEGA8 del transmisor y receptor.

##### 4.1.2 Hardware

- Osciloscopio Tektronix TDS 220.- Instrumento utilizado para visualizar la forma de las señales obtenidas.
- Puntas de Osciloscopio Atenuadas x10
- Multímetro Digital
- Módulo Analógico.- Este módulo es utilizado para obtener las señales de 5VDC y GND. Además este módulo cuenta con un transformador el cual es utilizado para la detección del cruce de paso por cero de la red eléctrica.

- Transformador reductor 220VAC/24-0-24VAC
- Transformador reductor 220VAC/110VAC

Ambos transformadores fueron utilizados para realizar las pruebas antes de trabajar directamente con la señal de la red eléctrica.

- Tarjetas de desarrollo
  - ◆ tarjetaMEGA8R2.- Cuenta con el microcontrolador ATMEGA8 y la interfaz necesaria para su programación y utilización de puertos.
  - ◆ Módulo\_ESRev1.1.- Dispone de dispositivos de entrada y salida tales como interruptores, pulsadores y leds.

#### 4.2 Pruebas Realizadas

Una vez que se han definido los instrumentos necesarios para realizar las pruebas, se realizan las conexiones entre los circuitos implementados en protoboard y las tarjetas con las que trabaja el microcontrolador.

Para las pruebas se implementaron los circuitos del transmisor y receptor en protoboard, y haciendo uso de las tarjetas con los microcontroladores fue posible realizar todas las pruebas necesarias para verificar el correcto funcionamiento del sistema.

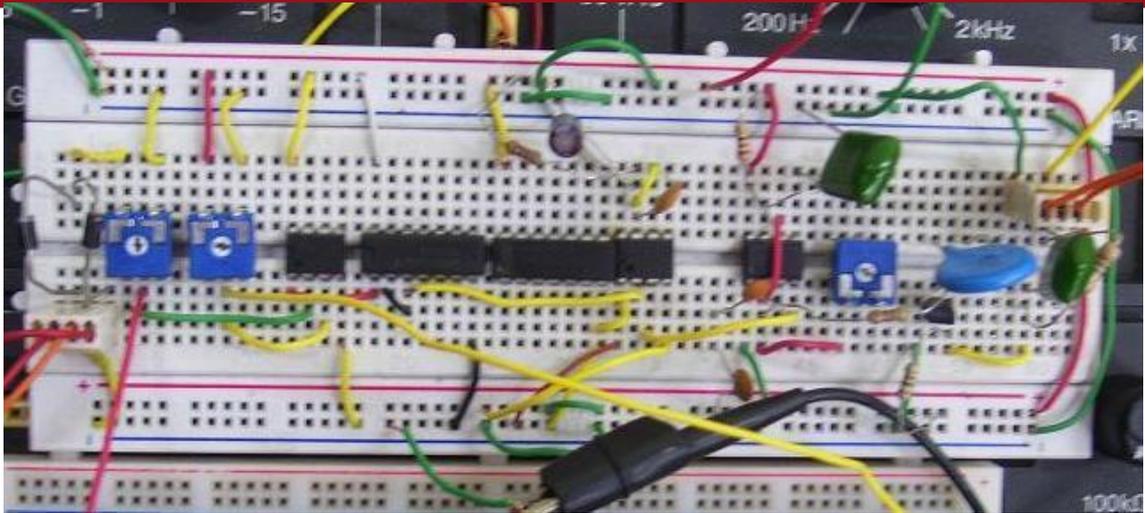


Fig. 23: Módulo transmisor en protoboard

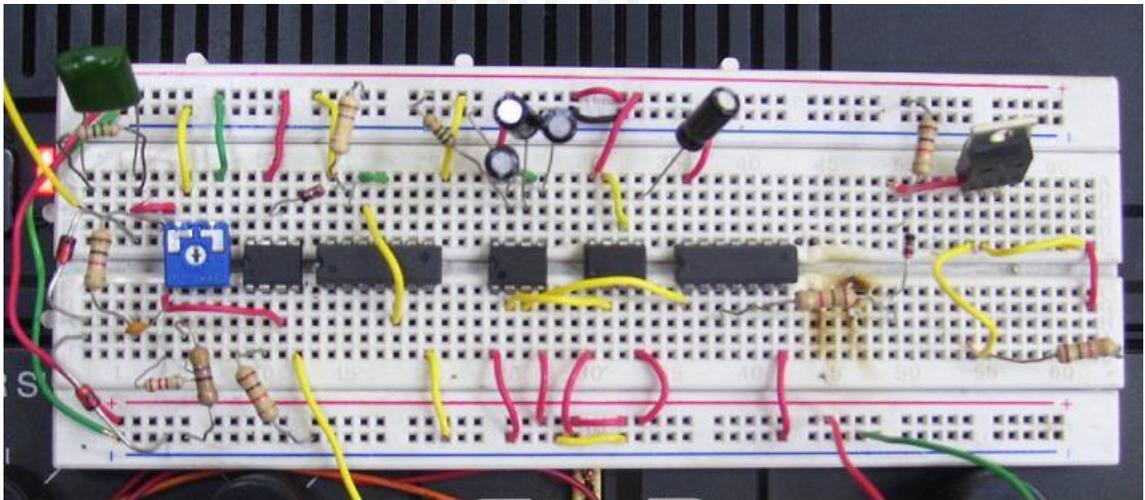


Fig. 24: Módulo receptor en protoboard

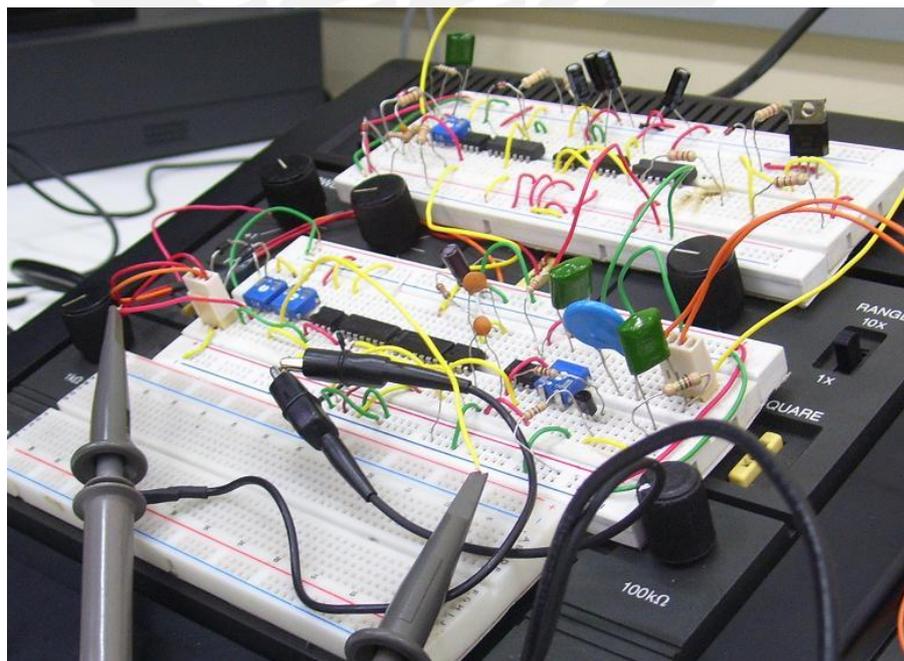
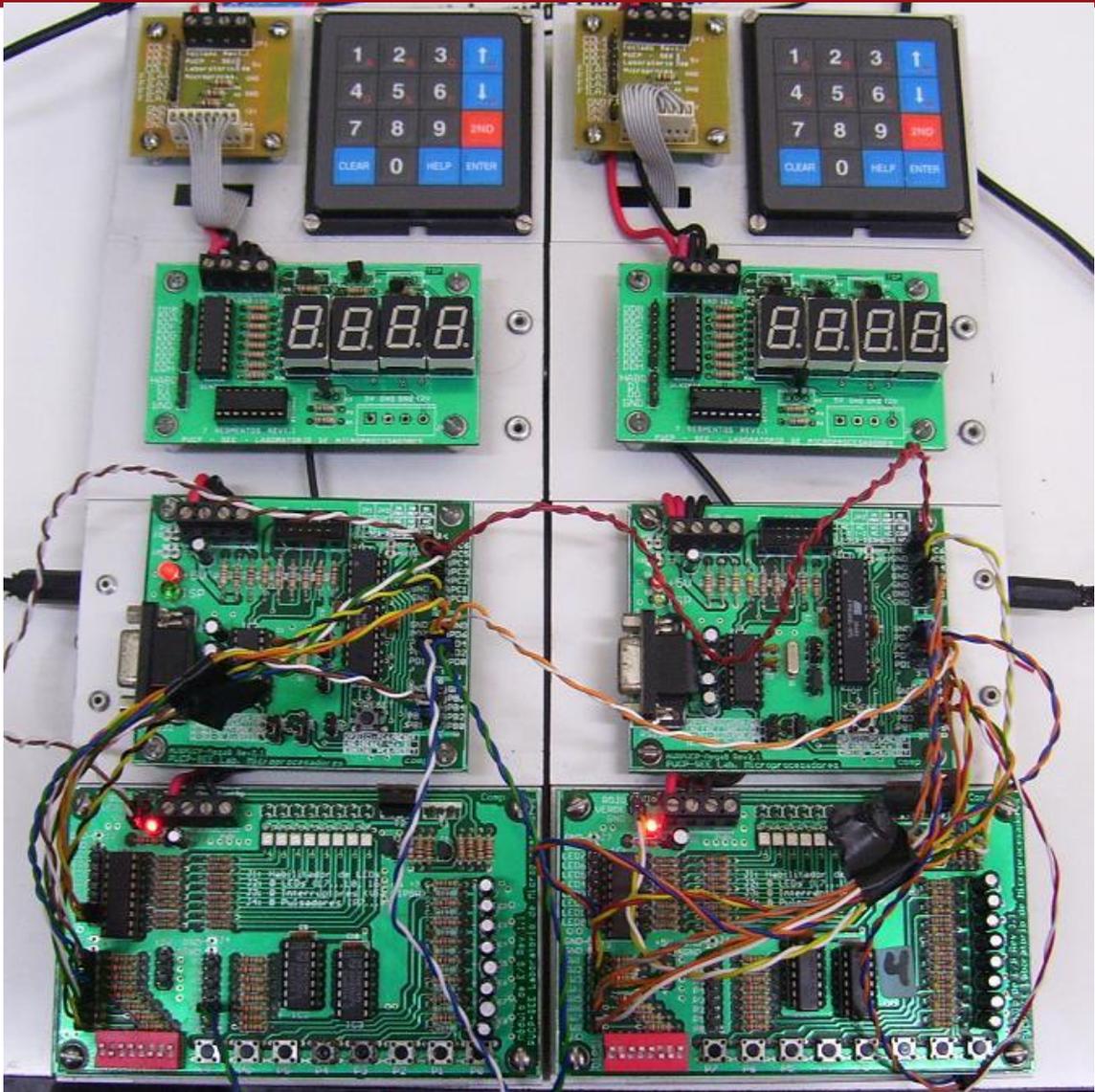


Fig. 25: Módulo transmisor y receptor en protoboard

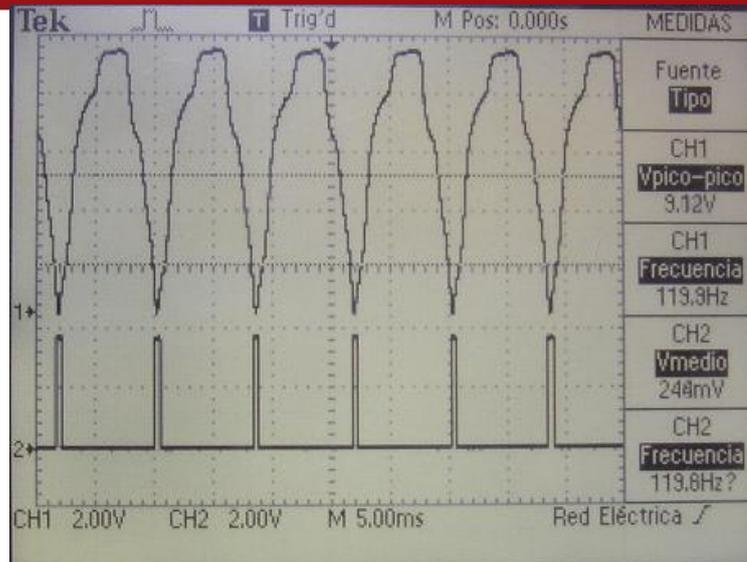


**Fig. 26: Microcontroladores del módulo transmisor y receptor**

Una vez realizadas todas las conexiones, se proceden a realizar las pruebas. Estas se realizaron de manera secuencial, por lo que se comenzó con el módulo transmisor.

#### 4.1 Pruebas del módulo transmisor.-

Primero se debe de obtener el tren de pulsos de 120Hz que indica el cruce por cero ingresa al ATMEGA8 como señal de referencia para sincronizar la comunicación. En la gráfica se observa esta señal.



**Fig. 27: Canal 2 Señal de cruce por cero de la red eléctrica**

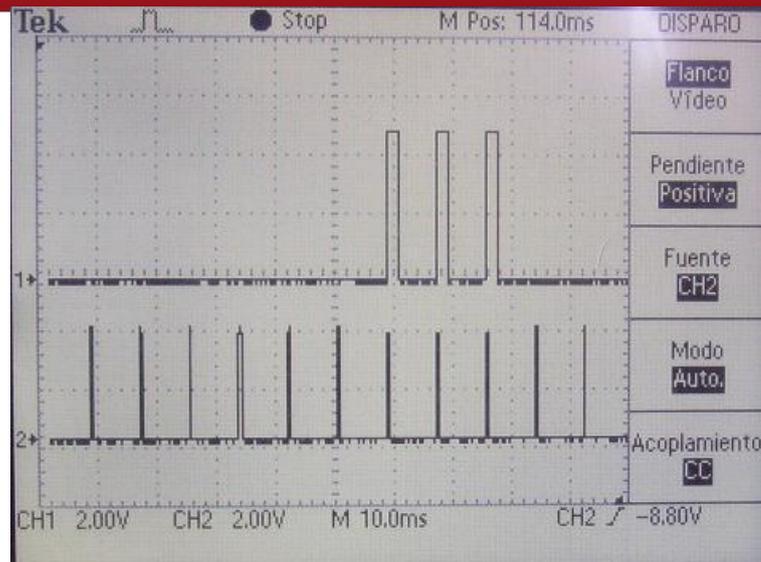
Para las pruebas se selecciona como código de casa 'E' y como código de unidad '6'. Por lo que es necesario presionar los micro-interruptores, para obtener en los pines del puerto B xxxx0100 y en los pines del puerto C xxxx0110.

Al momento de presionar el pulsador, el microcontrolador lee los códigos de casa, unidad y selecciona la función realizar. En esta instancia solamente se espera la señal de cruce por cero para generar la señal de 2.5ms de duración.

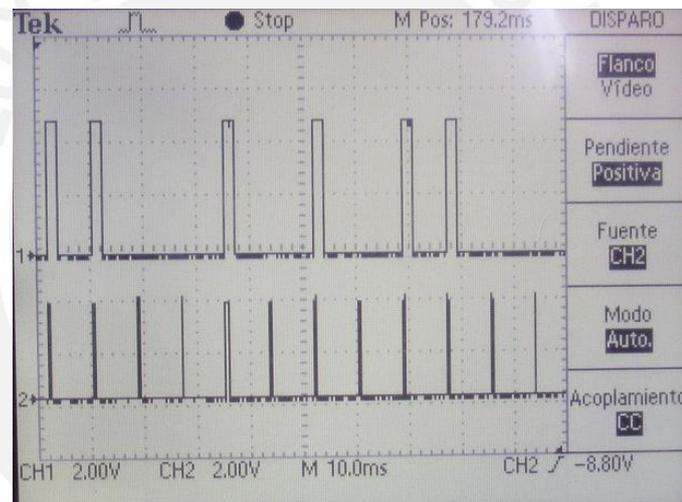
Con los valores seleccionados se tendrá una trama como la siguiente:

1 1 1 0      0 1 0 1 0 1 1 0      0 1 1 0 0 1 1 0      0 1 0 1 1 0 0 1

En cada cruce por cero de la señal eléctrica, se transmitirá un '1' o un '0' lógico según corresponda.



**Fig. 28: Canal 1 Señal de cruce por cero  
 Canal 2 Trama "1110" código de cabecera**



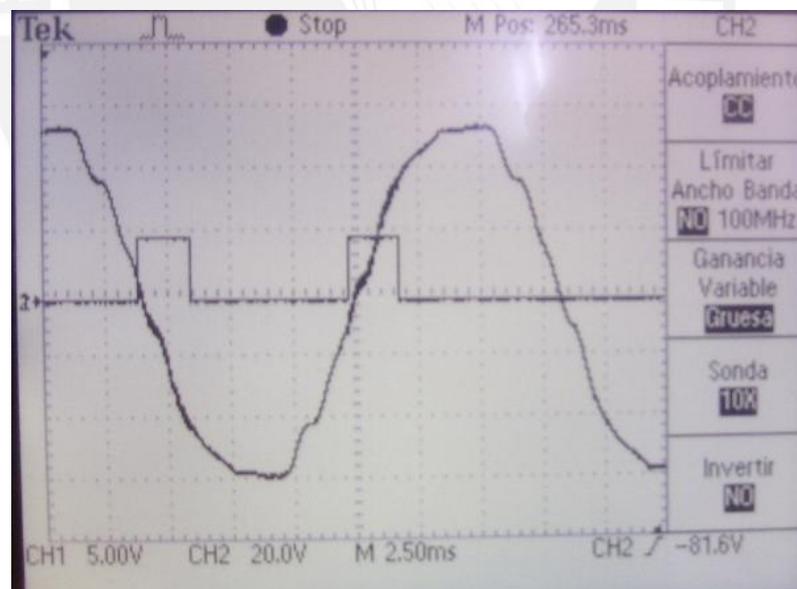
**Fig. 29: Canal 1 Señal de cruce por cero  
 Canal 2 Trama "01010110" código de casa "E"**

La señal de salida del ATMEGA8 habilita al bloque que genera la señal PWM, luego esta señal pasa por la etapa de acoplamiento a la red eléctrica. En este punto se tiene la señal que será acoplada a la red eléctrica. Sin embargo, para efecto de pruebas preeliminares se utiliza una señal de 50V 60Hz que se obtiene de un transformador para simular la onda sinusoidal.



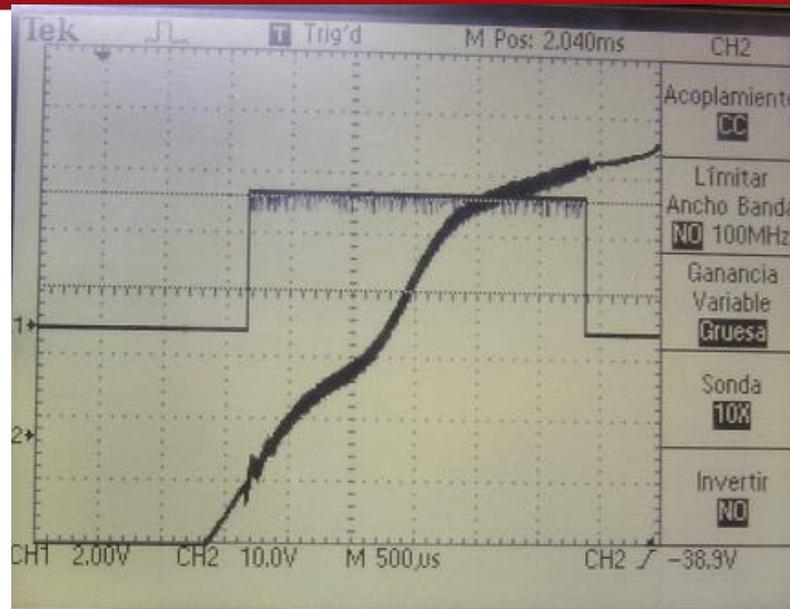
**Fig. 30: Canal 1 Señal de referencia 50VAC 60Hz y Canal 2 Señal PWM**

Una vez conectado la señal de 60 Hz. se observa que el filtro cumple con su trabajo e impide que esta afecte a la parte digital, sin embargo permite que la señal de 120KHz pase y se acople a la señal. En este punto se ha logrado acoplar la información a la red eléctrica.



**Fig. 31: Canal 1 Señal PWM acoplada a la red eléctrica Canal 2 Pulso de referencia de 2.5mseg.**

Se puede apreciar un pequeño rizado presente en la red, el cual observado en mas detalle se aprecia que es la señal PWM.



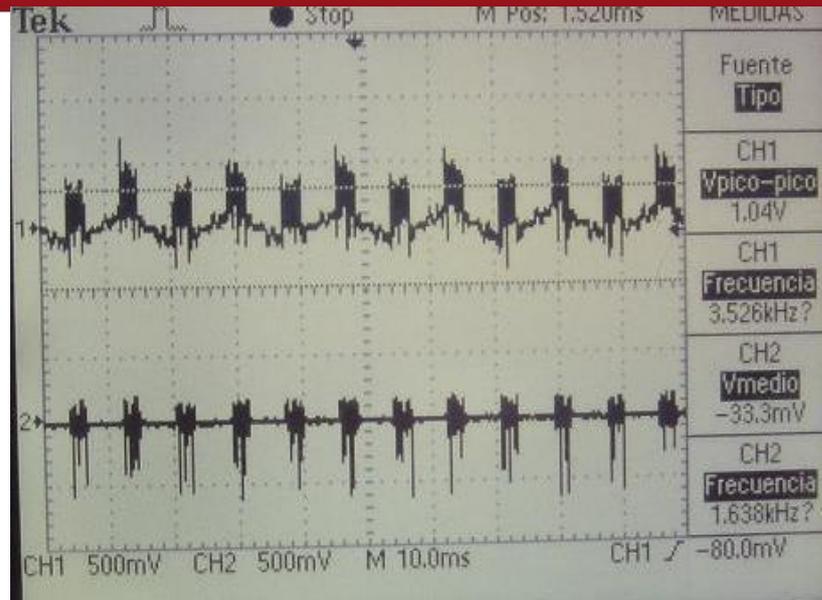
**Fig. 32: Señal PWM acoplada a la red eléctrica y pulso de 2.5 mseg. como referencia de ventana de tiempo**

#### 4.2 Pruebas del módulo receptor

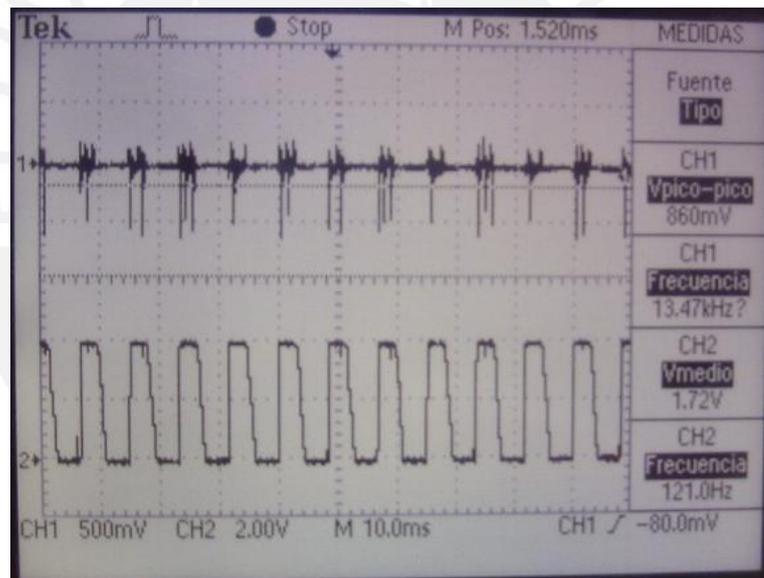
El módulo receptor necesita de un señal de referencia de cruce por cero para sincronizar la comunicación. Para efecto de pruebas se utiliza la misma señal que recibe el transmisor.

La señal que recibe el módulo receptor es un tren de pulsos PWM sincronizados con los cruces por cero de la red eléctrica. En esta instancia solo se desea reconstruir la señal transmitida.

El módulo receptor desacopla la señal con la información de la red eléctrica. Para esto pasa por un filtro de desacoplo y un filtro pasa alto. La señal obtenida es de muy baja potencia por lo que es necesario amplificarla y reconstruirla. La señal pasa por los bloques de amplificación, detector de envolvente y de adaptación de la señal.

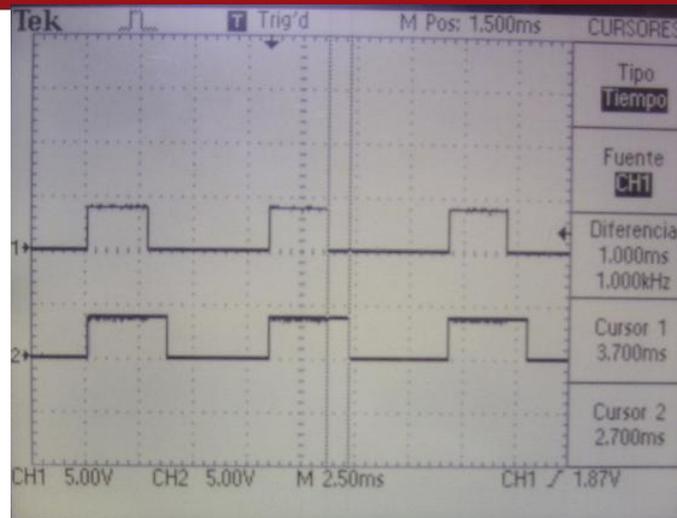


**Fig. 33: Canal 1 Señal de salida del filtro de desacoplo  
Canal 2 Señal de salida del filtro pasa-alto**



**Fig. 34: Canal 1 Señal de salida del filtro pasa-alto  
Canal 2 Señal adaptada**

Si comparamos la señal reconstruida con la señal generada por el transmisor. Se aprecia que la primera dura 1mseg mas. De esta manera se asegura la detección en el microcontrolador.



**Fig. 35: Canal 1 Señal del transmisor  
 Canal 2 Señal reconstruida**

Para las pruebas con el ATMEGA8 se selecciona como código de casa E y como código de unidad 6. Por lo que es necesario presionar los interruptores con el fin de que en los pines Puerto B debe de haber xxxx0100 y en los pines del puerto C xxxx0110.

La trama de información que el módulo transmisor será:

1 1 1 0      0 1 0 1 0 1 1 0      0 1 1 0 0 1 1 0      0 1 0 1 1 0 0 1

En cada cruce por cero se analiza la presencia de un '1' lógico o no. Si no se presentan errores en la recepción y la trama recibida corresponde con el código del dispositivo, entonces el ATMEGA 8 genera la señal de control correspondiente a un tren de pulsos de determinada duración, que se sincronizan con los cruces por cero de la señal eléctrica. La duración de los pulsos esta determinada por la función que se desea realizar.

Para la regulación del potencia mediante el TRIAC, el ángulo de desfase del pulso de 250us respecto al cruce por cero indicará la potencia que recibirá la carga.



**Fig. 36: Canal 1 Señal de control de regulación de potencia  
 Canal 2 Potencia suministrada a la carga**

El sistema implementado funciona correctamente para una señal sinusoidal de 50VAC 60Hz. también se probó el sistema con una señal de 110VAC 60Hz obtenida con un transformador reductor y no hubo variación. Cuando se decidió trabajar con la señal de la red eléctrica de 220VAC 60Hz. el sistema no presentó alteración alguna siguió funcionando adecuadamente.

## CONCLUSIONES

- La utilización de la red eléctrica como medio de comunicación supone un ahorro en cuanto a la implementación práctica, debido a que no es necesario realizar otro tipo de inversión adicional en cuanto a la canalización, lo cual hace más atractivo la adquisición de este tipo de sistema.
- La característica modular implementada permite proteger la inversión, porque de ser necesario se puede remover el sistema domótico e instalarlo en otra vivienda.
- Se logró realizar la codificación de la información de manera coherente y se pudo acoplar de manera exitosa la información digital con la señal analógica.
- Se pudo desacoplar la información digital presente en la red eléctrica. La información fue reconstruida y posteriormente procesada por el microcontrolador el cual generó la señal de control para la regulación de la carga. La regulación de la potencia suministrada a la carga resistiva se realizó con éxito.

- Como conclusión principal del trabajo realizado se obtiene que el sistema implementado funciona adecuadamente, por lo que el diseño y el desarrollo basado en la tecnología de corrientes portadoras es una técnica que puede ser utilizada para implementar un sistema domótico que permita la automatización de una vivienda unifamiliar.



## RECOMENDACIONES

Se plantean las siguientes pautas a tomar en cuenta como medida de protección.

- Si se planea medir la señal de la red eléctrica utilizar puntas de osciloscopio atenuadas por diez como medida de precaución para no malograrlas.
- Cuando se trabaje con la señal de la red eléctrica al momento de realizar las pruebas, es recomendable aislar la tierra del osciloscopio y del módulo analógico, porque se puede producir un cortocircuito entre la línea viva y la tierra digital.

Como medida de optimización del sistema se plantea:

- Mejorar la etapa del software. Se pueden agregar más opciones a la programación del microcontrolador. Se podría usar una pantalla LCD y un teclado matricial para crear una interfaz mas amigable parar el usuario.
- También se puede implementar la comunicación con la computadora personal, de tal manera que con una interfaz gráfica el manejo del sistema de control sería más manejable.

- Expandir las prestaciones del sistema integrando al sistema actual el control de los sistemas de seguridad, de entretenimiento, etc. Con el fin de disponer de un control total de la vivienda.



## FUENTES

1. Ablondi, Bill  
2006 Control Systems: State Of The Market. *Electric Perspective* [periódica]. 31(2). Marzo/ Abril 31 [consultado 2007/04/13]. ProQuest Computing.  
<<<http://proquest.umi.com/pqdweb?did=1013071781&sid=8&Fmt=4&clientId=39490&RQT=309&VName=PQD>>>
2. Burroughs, Jon  
2002 AN236 X-10® Home Automation Using the PIC16F877A  
Microchip Technology Inc.  
<<[http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS\\_GET\\_PAG&nodeId=1824&appnote=en012050](http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAG&nodeId=1824&appnote=en012050)>>
3. CasaIP  
¿Qué tecnología domótica necesito? [en línea]  
<<<http://www.bovestreet.com/info/tecnologia.php>>>
4. Condit, Reston  
2004 AN954 Transformerless Power Supplies: Resistive and Capacitive  
Microchip Technology Inc.  
<<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00954A.pdf>>>
5. Domótica Viva  
2003 Bricolaje X-10 Curso de Domótica a través de la red eléctrica (corrientes Portadoras) [en línea]  
<<<http://www.domoticaviva.com/X-10/X-10.htm>>>
6. Electrónica Unicrom  
**Tutoriales de Electrónica** [en línea]  
<<http://www.unicrom.com/tutoriales.asp>>>
7. Escobar P. Alex E.  
1998 Edificios inteligentes y casas domóticas [en línea] México  
<<<http://www.monografias.com/trabajos5/edin/edin.shtml>>>
8. Foros de Electrónica  
Circuito de domótica X-10 [en línea]  
<<[www.forosdeelectronica.com](http://www.forosdeelectronica.com)>>
9. Ing. Tapia Martínez, Dante Israel  
2004 Desarrollo e implementación de un sistema domótico en un hogar del estado de Colima, Universidad de Colima, México, Colima 128 p.  
<[http://digeset.ucol.mx/tesis\\_posgrado/Pdf/Dante\\_Israel\\_Tapia\\_Martinez.pdf](http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Dante_Israel_Tapia_Martinez.pdf)>>
10. Jiménez, Manuel  
TEMA 9. REDES DOMÓTICAS. BUS EIB [en línea]  
<<[http://www.dte.upct.es/personal/manuel.jimenez/docencia/GD6\\_Co munic\\_Ind/pdfs/Tema%209.pdf](http://www.dte.upct.es/personal/manuel.jimenez/docencia/GD6_Co munic_Ind/pdfs/Tema%209.pdf)>>

11. Keller, Michael  
2007 Automated-home protocols proliferate. *Electronic Engineering Times* [periodica]. 1464. Febrero 26. [Consultado 2007/04/13]. ProQuest Computing.  
<<<http://proquest.umi.com/pqdweb?did=1254663451&sid=3&Fmt=3&clientId=39490&RQT=309&VName=PQD>>>
12. Romero, M. A.  
1998 Domótica. Edificios Inteligentes Proyecto para Vivienda Unifamiliar [en línea]  
<<<http://www.nova.es/~mromero/domotica/domotica.htm>>>
13. Philips Semiconductor  
1999 TDA5051A Home automation modem  
<<[http://www.nxp.com/#/pip/pip=\[pip=TDA5051A\\_2\]|pp=\[v=d,t=pip,i=TDA5051A\\_2,fi=34029,ps=0\]\[0\]](http://www.nxp.com/#/pip/pip=[pip=TDA5051A_2]|pp=[v=d,t=pip,i=TDA5051A_2,fi=34029,ps=0][0])>>
14. Plunkett, Philip C.  
1996 X-10 Compatible Appliance Module [en línea]  
<<<http://www.cix.co.uk/~pplunkett/x10.htm>>>
15. Súper inventos  
QUE ES DOMOTICA X10 [en línea]  
<<<http://www.superinventos.com/Queesx10.htm>>>
16. Universidad de Concepción, UDEC  
Capítulo 3. Protocolos [en línea]  
<<<http://www2.udec.cl/~racuna/domotica/x10.htm>>>

ANEXO N°1**CODIGO DE PROGRAMA DEL MODULO TRANSMISOR**

```

*****
;*Módulo transmisor
;*Proyecto: Trabajo de Tesis
;*Autor: Diego Lozada
;*Correo: diego.lozada@pucp.edu.pe
*****
.include "C:\VMLAB\include\m8def.inc"

;Constantes definidas con los códigos a transmitir
.equ head=0b11100000
.equ A0 =0b01101001 ;0x69
.equ B1 =0b10101001 ;0xA9
.equ C2 =0b01011001 ;0x59
.equ D3 =0b10011001 ;0x99
.equ E4 =0b01010110 ;0x56
.equ F5 =0b10010110 ;0x96
.equ G6 =0b01100110 ;0x66
.equ H7 =0b10100110 ;0xA6
.equ I8 =0b01101010 ;0x6A
.equ J9 =0b10101010 ;0xAA
.equ K10 =0b01011010 ;0x5A
.equ L11 =0b10011010 ;0x9A
.equ M12 =0b01010101 ;0x55
.equ N13 =0b10010101 ;0x95
.equ O14 =0b01100101 ;0x65
.equ P15 =0b10100101 ;0xA5
.equ ON =0b01011001 ;0x59
.equ V2 =0b01100101 ;0x65
.equ V3 =0b01100110 ;0x66
.equ OFF =0b01011010 ;0x5A

;registros utilizados
.def temp =r16
.def pulsos =r17
.def trama =r18
.def cont =r19

;variables utilizadas
.dseg
.org $60
casa: .Byte 1
unid: .Byte 1
func: .Byte 1

.cseg
.org 0
rjmp Inicio
Inicio:
;se establece el inicio de la pila
ldi temp,high(RAMEND)
out SPH,R16

```

```

ldi    temp,low(RAMEND)
out    SPL,temp
rcall  config_port
clr    pulsos

wait:
SBIS   PIND,2
rjmp   wait           ;espera a que se presione el pulsador
rcall  DELAY_500ms    ;subrutina de retraso para evitar el rebote

rcall  leer_code
rcall  leer_func      ;la señal PD5 es usada como señal de
                    ;visualización

SBI    PORTD,5

ldi    cont,4
ldi    trama,head     ;envía CABECERA
rcall  tx
ldi    cont,8
lds    trama,casa     ;envía CODIGO CASA
rcall  tx
ldi    cont,8
lds    trama,unid     ;envía CODIGO UNID
rcall  tx
ldi    cont,8
lds    trama,func     ;envía CODIGO FUNC
rcall  tx

CBI    PORTD,5
rjmp   wait

;*****
;
;Subrutina tx
;Descripción:
;
;           Esta subrutina transmite una trama de información
;           de una determinada longitud
;*****
tx:
rol    trama
rcall  zerox
dec    cont
brne   tx
ret

;*****
;
;Subrutina zerox
;Descripción: Esta subrutina analiza el estado del pin PD3, el cual recibe
;           la señal de cruce por cero. Un bit es transmitido en cada cruce por
;           cero.
;*****

zerox:
SBIC   PIND,3
RJMP   zerox
    
```

```

esp:
    SBIS        PIND,3
    RJMP       esp
    SBI        PORTD,6
    brcc       no_hay
    SBI        PORTD,7
no_hay:
    rcall      DELAY_4ms
    CBI        PORTD,7
    CBI        PORTD,6
    ret

;*****
;
;Subrutina config_port
;Descripción:
;
;           Se configura el puerto B y C como entradas.
;           Se configura el puerto D como entradas y salidas.
;*****
config_port:
    clr        temp
    out        ddrb,temp
    out        ddrc,temp
    ldi        temp,0xFF
    out        portb,temp
    out        portc,temp
    ldi        temp,0b11110011
    out        DDRD,temp
    CLR        TEMP
    out        PORTD,temp
    ret

;*****
;
;Subrutina DELAY_500ms
;*****
DELAY_500ms:
    LDI        temp,125
time:
    rcall      DELAY_4ms
    DEC        temp
    BRNE       time
    RET

;*****
;
;Subrutina DELAY4ms
;*****
DELAY_4ms:
    LDI        XH,HIGH(1000)
    LDI        XL,LOW(1000)
retardo:
    SBIW       XL,1
    BRNE       retardo
    RET

```

```

,*****
;
;Subrutina: leer_code
;Descripción: Le los códigos de casa y unidad del dispositivo receptor
,*****
leer_code:
    nop
    in     temp,pinb
    andi  temp,0x0F
    rcall busca
    sts   casa,temp
    in     temp,pinc
    andi  temp,0x0F
    rcall busca
    sts   unid,temp
    RET

busca:
A_0:
    cpi   temp,0
    brne  B_1
    LDI   R16,A0
    RET
B_1:
    cpi   temp,1
    brne  C_2
    LDI   R16,B1
    RET
C_2:
    cpi   temp,2
    brne  D_3
    LDI   R16,C2
    RET
D_3:
    cpi   temp,3
    brne  E_4
    LDI   R16,D3
    RET
E_4:
    cpi   temp,4
    brne  F_5
    LDI   R16,E4
    RET
F_5:
    cpi   temp,5
    brne  G_6
    LDI   R16,F5
    RET
G_6:
    cpi   temp,6
    brne  H_7
    LDI   R16,G6
    RET

```

```

H_7:
    cpi    temp,7
    brne   I_8
    LDI    R16,H7
    RET

I_8:
    cpi    temp,8
    brne   J_9
    LDI    R16,I8
    RET

J_9:
    cpi    temp,9
    brne   K_10
    LDI    R16,J9
    RET

K_10:
    cpi    temp,10
    brne   L_11
    LDI    R16,K10
    RET

L_11:
    cpi    temp,11
    brne   M_12
    LDI    R16,L11
    RET

M_12:
    cpi    temp,12
    brne   N_13
    LDI    R16,M12
    RET

N_13:
    cpi    temp,13
    brne   O_14
    LDI    R16,N13
    RET

O_14:
    cpi    temp,14
    brne   P_15
    LDI    R16,O14
    RET

P_15:
    LDI    R16,P15
    RET

```

```

;*****
;Subrutina: leer_func
;Descripción: Determina el código de la función que será transmitida
;*****
leer_func:
    inc    pulsos
    cpi    pulsos,1
    brne   vel2
    ldi    temp,ON
    sts    func,temp
    rjmp   akba

```

vel2:  
  cpi    pulsos,2  
  brne   vel3  
  ldi    temp,V2  
  sts    func,temp  
  rjmp   akba

vel3:  
  cpi    pulsos,3  
  brne   apagado  
  ldi    temp,V3  
  sts    func,temp  
  rjmp   akba

apagado:  
  ldi    temp,OFF  
  sts    func,temp  
  clr    pulsos

akba:  
  ret



ANEXO N°2**CODIGO DE PROGRAMA DEL MODULO RECEPTOR**

```

;*****
;
;*Módulo receptor
;*Proyecto: Trabajo de Tesis
;*Autor: Diego Lozada
;* Correo: diego.lozada@pucp.edu.pe
;*****
;
.include "C:\VMLAB\include\m8def.inc"

;Constantes definidas con los códigos a transmitir
.equ A0 =0b01101001 ;0x69
.equ B1 =0b10101001 ;0xA9
.equ C2 =0b01011001 ;0x59
.equ D3 =0b10011001 ;0x99
.equ E4 =0b01010110 ;0x56
.equ F5 =0b10010110 ;0x96
.equ G6 =0b01100110 ;0x66
.equ H7 =0b10100110 ;0xA6
.equ I8 =0b01101010 ;0x6A
.equ J9 =0b10101010 ;0xAA
.equ K10 =0b01011010 ;0x5A
.equ L11 =0b10011010 ;0x9A
.equ M12 =0b01010101 ;0x55
.equ N13 =0b10010101 ;0x95
.equ O14 =0b01100101 ;0x65
.equ P15 =0b10100101 ;0xA5
.equ ON =0b01011001 ;0x59
.equ V2 =0b01100101 ;0x65
.equ V3 =0b01100110 ;0x66
.equ OFF =0b01011010 ;0x5A

;registros utilizados
.def temp =r16
.def estado=r17
.def trama =r18
.def cont =r19
.def carrier=r20

;variables utilizadas
.dseg
org $60
casa: .Byte 1
rxcasa: .Byte 1
unid: .Byte 1
rxunid: .Byte 1
func: .Byte 1

.cseg
.org 0
rjmp Inicio

```

```

Inicio:
;se establece el inicio de la pila
    ldi    temp,high(RAMEND)
    out   SPH,R16
    ldi    temp,low(RAMEND)
    out   SPL,temp
    rcall config_port
    clr   estado
    rcall DELAY_500ms

wait:
    rcall rx_head
    brcc wait           ;lee cabecera

    SBI PORTD,5
;lee códigos transmitidos
    rcall rx
    sts   rxcasa,trama ;CODIGO CASA
    rcall rx
    sts   rxunid,trama ;CODIGO UNID
    rcall rx
    sts   func,trama   ;CODIGO FUNC

    CBI PORTD,5

    rcall leer_code ;código casa y unidad propios

;compara el codigo de casa leída con la transmitida
    lds   temp,casa
    lds   trama,rxcasa
    cpse  temp,trama
    rjmp  wait

;compara el código de unidad leída con la transmitido
    lds   temp,unid
    lds   trama,rxunid
    cpse  temp,trama
    rjmp  wait

;se determina la función a realizar
funciones:
    lds   trama,func
    cpi   trama,on
    breq  encendido
    cpi   trama,v2
    breq  vel2
    cpi   trama,v3
    breq  vel3
    cpi   trama,off
    breq  apagado
    rjmp  wait

encendido:
    ldi   estado,1
    rjmp  wait
  
```

```

vel2:
    ldi    estado,3
    rjmp  wait

vel3:
    ldi    estado,5
    rjmp  wait

apagado:
    clr    estado
    rjmp  wait

;*****
;
;Subrutina rx_head
;*****
rx_head:
    rcall zerox
    brcc  falla
    rcall zerox
    brcc  falla
    rcall zerox
    brcc  falla
    rcall zerox
    brcc  good
falla:
    clr
    ret
good:
    sec
    ret

;*****
;
;Subrutina rx
;Descripción:
;
;           Esta subrutina lee una trama de información
;           de una determinada longitud
;*****
rx:
    ldi    cont,8
rx_:
    rcall  zerox
    rol   trama
    dec   cont
    brne  rx_
    ret

;*****
;
;Subrutina zerox
;Descripción: Esta subrutina analiza el estado del pin PD3, el cual recibe
;           la señal de cruce por cero. Un bit es transmitido en cada cruce por
;           cero.
;*****
zerox:
    SBIC  PIND,3
    RJMP  zerox

esp:
    SBIS  PIND,3
    
```

```

RJMP esp
SBI PORTD,6
rcall bit
rcall triac
CBI PORTD,6
ret

bit:
ldi carrier,1
LDI XH,HIGH(333)
LDI XL,LOW(333)

sensa:
sbis pind,2
clr carrier
SBIW XL,1
BRNE sensa
ror carrier
ret

;*****
;Subrutina triac
;Descripción: Se genera la señal de control de regulación de potencia
;*****
triac:
push r16
in r16,sreg
push r16

mov r31,estado
cpi estado,0
breq akba

sigue:
dec r31
breq dispara
call DELAY_1ms
rjmp sigue

dispara:
SBI PORTD,7
rcall DELAY_250us
CBI PORTD,7

akba:
pop r16
out sreg,r16
pop r16

RET

```

```

;*****
;
;Subrutina config_port
;Descripción:
;
;           Se configura el puerto B y C como entradas.
;           Se configura el puerto D como entradas y salidas.
;*****
config_port:
    clr    temp
    out    ddrb,temp
    out    ddrc,temp
    ldi    temp,0xFF
    out    portb,temp
    out    portc,temp
;PD0 COMO SALIDA
    ldi    temp,0b11110011
    out    DDRD,temp
    ldi    TEMP,0b00001100
    out    PORTD,temp
    ret

;*****
;Subrutina DELAY_500ms
;*****
DELAY_500ms:
    LDI    r30,248
time:
    rcall  DELAY_1ms
    rcall  DELAY_1ms
    DEC   r30
    BRNE  time
    RET

;*****
;Subrutina DELAY_1ms
;*****
DELAY_1ms:
    LDI    temp,250
retardo:
    dec   temp
    nop
    BRNE  retardo
    RET

DELAY_250us:
    LDI    temp,83
pot:
    dec   temp
    BRNE  pot
    RET

```

```

,*****
;
;Subrutina: leer_code
;Descripción: Le los códigos de casa y unidad del dispositivo receptor
,*****
leer_code:
    nop
    in    temp,pinb
    andi  temp,0x0F
    rcall busca
    sts   casa,temp
    in    temp,pinc
    andi  temp,0x0F
    rcall busca
    sts   unid,temp
    RET

busca:
A_0:
    cpi   temp,0
    brne  B_1
    LDI   R16,A0
    RET
B_1:
    cpi   temp,1
    brne  C_2
    LDI   R16,B1
    RET
C_2:
    cpi   temp,2
    brne  D_3
    LDI   R16,C2
    RET
D_3:
    cpi   temp,3
    brne  E_4
    LDI   R16,D3
    RET
E_4:
    cpi   temp,4
    brne  F_5
    LDI   R16,E4
    RET
F_5:
    cpi   temp,5
    brne  G_6
    LDI   R16,F5
    RET
G_6:
    cpi   temp,6
    brne  H_7
    LDI   R16,G6
    RET

```

```
H_7:
    cpi    temp,7
    brne   L_8
    LDI    R16,H7
    RET

I_8:
    cpi    temp,8
    brne   J_9
    LDI    R16,I8
    RET

J_9:
    cpi    temp,9
    brne   K_10
    LDI    R16,J9
    RET

K_10:
    cpi    temp,10
    brne   L_11
    LDI    R16,K10
    RET

L_11:
    cpi    temp,11
    brne   M_12
    LDI    R16,L11
    RET

M_12:
    cpi    temp,12
    brne   N_13
    LDI    R16,M12
    RET

N_13:
    cpi    temp,13
    brne   O_14
    LDI    R16,N13
    RET

O_14:
    cpi    temp,14
    brne   P_15
    LDI    R16,O14
    RET

P_15:
    LDI    R16,P15
    RET
```

**ANEXO N°3****LISTA DE COMPONENTES DEL MODULO TRANSMISOR**

CANTIDAD	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	VALOR
3	R1_5V,R1_OUT,R2_OUT	RESISTENCIA	100ohmios
1	R2_5V	RESISTENCIA	3Mohmios
11	R_ON,R_PWM,R_TX,R_LED1,R_LED2,R_LED3,R_LED4,R_LED5,R_LED6,R_LED7,R_LED8	RESISTENCIA	220ohmios
1	RF_OUT	RESISTENCIA	1Mohmio
2	R_PULSO,R_RST	RESISTENCIA	10K
6	C_PWM,C5_PWM,C_PULSO,C_RST,C1_VDD,C2_VDDD	CONDENSADOR	0.1uF
2	C_5V,CF_OUT	CONDENSADOR	2E104J
1	C2_5V	CONDENSADOR	470uF,16v
3	R1,R2,RPOT_PWM	POTENCIOMETRO	1K
1	DZ	DIODO ZENER	5.1V
3	D,D1,D2	DIODO	1N4007
2	LED_ON,LED_TX	DIODO LED	5mm
1	DIP	MICRO-INTERRUPTORES	8 pines
2	SW_PULSO,SW_RST	PULSADOR	
2	220VAC-IN,220VAC-out	BORNERAS	2 pines
1	TRAFO	MOLEX	4 pines
1	IC1	AMPLIFICADOR OPERACIONAL	LM358
1	IC2	COMPUERTA NOT	7404
1	IC3	TEMPORIZADOR	LM555
1	IC4	MICROCONTROLADOR	ATMEGA8
1	FUSE	FUSIBLE	630mA
1	VARISTOR	VARISTOR	14D391K
1	TRANSFOMADOR		220VAC/12-0-12 VAC

**ANEXO N°4****LISTA DE COMPONENTES DEL MODULO RECEPTOR**

CANTIDAD	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	R1_5V	RESISTENCIA	100ohmios
1	R2_5V	RESISTENCIA	3Mohmios
11	R_ON,R_RX,R_LED1,R_LED2,R_LED3,R_LED4,R_LED5,R_LED6,R_LED7,R_LED8	RESISTENCIA	220ohmios
1	RF_OUT	RESISTENCIA	1Mohmio
1	R_RST	RESISTENCIA	10K
2	R_FPA,R_OPYO	RESISTENCIA	330ohmios
1	R_AMP1	RESISTENCIA	47Kohmios
1	R_DE	RESISTENCIA	100Kohmios
2	R_T1,R_T2	RESISTENCIA	360ohmios
1	C_FPA	CONDENSADOR	4.7nF
3	C_RST,C1_VDD,C2_VDDD	CONDENSADOR	0.1uF
2	C_5V,CF_OUT	CONDENSADOR	2E104J
1	C2_5V	CONDENSADOR	470uF,16v
3	R1,R2,R_AMP1	POTENCIÓMETRO	1K
1	R3	POTENCIÓMETRO	5K
3	DZ,D3,D4	DIODO ZENER	5.1V
3	D,D1,D2	DIODO	1N4007
2	LED_ON,LED_RX	DIODO LED	5mm
1	D_DE	DIODO	1N4118
1	DIP	MICRO-INTERRUPTORES	8 pines
1	SW_RST	PULSADOR	
2	220VAC-IN,220VAC-out	BORNERAS	2 pines
1	TRAFO	MOLEX	4 pines
2	IC1,IC5	AMPLIFICADOR OPERACIONAL	LM358
1	IC2	COMPUERTA NOT	7404
1	IC4	MICROCONTROLADOR	ATMEGA8
1	OK1	OPTO_TRIAC	BT-136
1	T1	TRIAC	MOC-3041
1	FUSE	FUSIBLE	630mA
1	VARISTOR	VARISTOR	14D391K
1	TRANSFOMADOR		220VAC/12-0-12 VAC