

RAE

1. Tipo de documento: Trabajo realizado sobre la implementación de un sistema domotico por la red eléctrica de baja tensión, para obtener el título de Ingeniero electrónico.
2. Titulo: IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE LAZO CERRADO COMUNICADO MEDIANTE LÍNEAS DE POTENCIA ELÉCTRICA (PLT).
3. Autor: Angie Joan Forero Forero, Camilo Andres Ibañez Monroy
4. Lugar: Cundinamarca (Bogota D.C.)
5. Fecha: Noviembre 2010
6. Palabras clave: acople, demodulacion, filtro, impedancia, modulación, PLT, modulación fsk, control digital.
7. Descripción del trabajo: El presente trabajo es acerca de la implementación de un sistema de control en lazo cerrado, de las variables seguridad y temperatura, comunicado mediante la red eléctrica de baja tensión.
8. Línea de investigación: Este trabajo se desarrolla en el marco de las tecnologías actuales y sociedad.
9. Fuentes consultadas: Documentos de: PALACIOS Enrique, REMIRO Fernando, LOPEZ Lucas, Microcontrolador pic16f84, Bogotá, Alfaomega, 2004, 622, PALLÁS ramón, Sensores y acondicionadores de señal, Guadalajara, Marcombo, 2000, 526, SANCHIS Enrique, Sistemas electrónicos digitales fundamentos y diseño de aplicaciones, Valencia, Poligon, 2002, 510, HENDRIK, Ferreira, Power line communications: theory and applications for narrowband and broadband communications over power lines, Reino Unido, John Wiley & Sons, 2010, 536., R. Muhamed, "Electrónica de Potencia", 2 ed. México, Ed. Prentice Hall.(1993)., L. Javier, "Sistemas de control para viviendas y edificios", 1 ed. , Ed. Mc Graw-Hill. (1998)., PACKMANN Emilio M, Mediciones electricas, 2º Hispano Americana SA. 1998, 350, DIAZ Carlos Sánchez, CHILET Salvador Segui, Fundamentos básicos de la electrónica de potencia, Valencia, Upv, 2002, 325., HRASNICA Halid, HAIDINE Adbelfatteh, Broadband powerline communications, Chichester, Wiley,

2004, 283., CARCELLE Xavier, Power Line Communications in practice, Paris, Eyrolles, 2006, 329.

10. Contenidos: Este proyecto consta de dos etapas principales, en la primera etapa se adquieren los datos de los sensores de temperatura y alarma mediante un microcontrolador, los cuales son adaptados para ser transmitidos a través de la red eléctrica, mediante procesos de codificación, modulación y acople de impedancias. Luego de viajar por la red eléctrica estos datos son recibidos, filtrados y demodulados para ser procesados por una interfaz y enviarlos al computador para realizar una acción de control digital, proporcional para la variable temperatura y una on/off para detección de intrusos. En la segunda etapa la respuesta del sistema de control emitida por el computador es adquirida y procesada de igual forma a la primera etapa para poder ser transmitida nuevamente por la red eléctrica, recibirlas y activar el correspondiente actuador, al enviar y recibir simultáneamente las señales el sistema de comunicación se comporta de modo full-dúplex.
11. Metodología: El método usado en este trabajo fue basado en el enfoque de investigación de carácter empírico-analítico.
12. Conclusiones: Con este proyecto se demostró que PLT es una buena opción como medio de comunicación debido a que es un recurso que está al alcance de la mayoría de personas y es de bajo costo, por otro lado sus desventajas radican en las características de impedancia y la gran cantidad de ruido y armónicos presentes en estas aspectos que hacen que la señal modulada sufra bastantes pérdidas.

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE LAZO CERRADO
COMUNICADO MEDIANTE LÍNEAS DE POTENCIA ELÉCTRICA (PLT)

ANGIE JOAN FORERO FORERO
CAMILO ANDRES IBAÑEZ MONROY

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÀ
2010

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE LAZO CERRADO
COMUNICADO MEDIANTE LÍNEAS DE POTENCIA ELÉCTRICA (PLT)

CAMILO ANDRES IBAÑEZ MONROY
ANGIE JOAN FORERO FORERO

Trabajo de grado como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ
2010

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá 19 de Noviembre 2010

A mi familia por brindarme todo su apoyo en este tiempo.

Camilo Ibáñez Monroy

A mi mamá y mis hermanos quienes siempre me han acompañado y apoyado.

Angie Forero Forero

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1 ANTECEDENTES	14
1.1.1 Proyectos internacionales	14
1.1.2 Proyectos nacionales	15
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3 JUSTIFICACIÓN	18
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.4.1 Objetivo general	19
1.4.2 Objetivos específicos	19
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	19
1.5.1 Alcances	19
1.5.2 Limitaciones	20
2. METODOLOGÍA	21
2.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.2 LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	21
2.2.1 Sub-líneas de la facultad	21
2.2.2 Campos de investigación	21
3. DESARROLLO INGENIERIL	22
3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES	22
3.2 PARÁMETROS A EVALUAR	22
3.2.1 Transmisión	22

3.2.1.1 Sensores	22
3.2.1.2 Monitoreo PIC	26
3.2.1.3 Modulador FSK	27
3.2.1.4 Acople	31
3.2.1.5 Filtro	39
3.2.2 Recepción	44
3.2.2.1 Desacople	44
3.2.2.2 Demodulación FSK	45
3.2.2.3 Acondicionamiento de la señal al computador.	47
3.2.2.4 Control Proporcional	52
3.2.3 Control de actuadores	61
3.2.3.1 Recepción de datos	61
3.2.3.2 Modulación FSK	61
3.2.3.3 Filtro	63
3.2.3.4 Demodulación	64
3.2.3.5 Actuadores	65
4. PRESENTACIÓN DE ANÁLISIS Y RESULTADOS	68
4.1 CIRCUITO DE TRANSMISIÓN	69
4.1.1 Acople	69
4.2 CIRCUITO DE RECEPCIÓN	70
4.2.1 Etapa de filtro	70
4.2.2 Demodulación FSK	70
4.2.3 Transmisión de datos al computador	71
4.2.4 Interfaz Labview	71
4.2.5 Activación de actuadores	71
5. CONCLUSIONES	72

6. RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFÍA	74
ANEXOS	76

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sensor LM35	23
Figura 2. Esquema sensor LM35	24
Figura 3. Amplificador no inversor a la salida del sensor LM35	26
Figura 4. Diagrama de pines del PIC16F84A	26
Figura 5. Esquema interno del modulador FSK XR2206	30
Figura 6. Señal modulada de 60 KHz	30
Figura 7. Señal modulada de 80 KHz	31
Figura 8. Señal modulada de 100 KHz	31
Figura 9: Amplificador no inversor	32
Figura 10. Diagrama de pines del amplificador operacional	33
Figura 11. Señal de 60 KHz amplificada en voltaje	33
Figura 12. Señal de 80 KHz amplificada en voltaje	34
Figura 13. Señal de 100 KHz amplificada en voltaje	34
Figura 14. Amplificador colector común o seguidor emisor.	35
Figura 15. Señal de 60 KHz amplificada en corriente	36
Figura 16. Señal de 80 KHz amplificada en corriente	36
Figura 17. Señal de 100 KHz amplificada en corriente	37
Figura 18. Señal de 60 KHz después de la etapa de acople de impedancias	38
Figura 19. Señal de 80 KHz después de la etapa de acople de impedancias	39
Figura 20. Señal de 100 KHz después de la etapa de acople de impedancias	39

Figura 21. Filtro pasa alto de tercer orden	40
Figura 22. Herramienta de PCP audio	40
Figura 23. Calculo del filtro de transmisión	41
Figura 24. Respuesta del filtro Butterworth de tercer orden	41
Figura 25. Respuesta de la señal de 60KHz con el filtro	42
Figura 26. Respuesta de la señal de 80KHz con el filtro	42
Figura 27. Respuesta de la señal de 100KHz con el filtro	43
Figura 28. Circuito de transmisión	43
Figura 29. Calculo del filtro de recepción	44
Figura 30. Configuración del demodulador FSK	45
Figura 31. Diagrama de pines del PIC16F628A	49
Figura 32. Configuración del conector DB-9	50
Figura 33. Configuración del integrado MAX232	51
Figura 34. Ejemplo de conversión de un byte en TTL a RS232	51
Figura 35. Respuesta del sistema con un impulso	54
Figura 36. Respuesta del sistema con un escalón	54
Figura 37. Lugar geométrico de las raíces	55
Figura 38. Entorno Grafico	57
Figura 39. Paleta de Funciones de VISA	58
Figura 40. Visa Read	58
Figura 41. Acción proporcional por labview.	59
Figura 42. Comparadores por Labview.	59
Figura 43. Diagrama de bloques por Labview.	60
Figura 44. Visa Write	60

Figura 45. Señal de 40 KHz.	62
Figura 46. Señal de 50 KHz.	62
Figura 47. Instrumento de PCP Audio.	63
Figura 48. Respuesta del filtro Butterworth pasa altas.	64
Figura 49. Circuito de recepción	65
Figura 50. Esquema del bombillo halógeno	66
Figura 51. Esquema del ventilador.	66

GLOSARIO

ACOPLE: el acople (howling) es un fenómeno producido por la realimentación (feedback) que ocurre en un sistema cuando una determinada fuente recoge su propia señal, reintroduciéndolo en el sistema.

AMPLIFICADOR: su función es incrementar la intensidad de corriente, la tensión o la potencia de la señal que se le aplica a su entrada; obteniéndose la señal aumentada a la salida. Para amplificar la potencia es necesario obtener la energía de una fuente de alimentación externa. En este sentido, se puede considerar al amplificador como un modulador de la salida de la fuente de alimentación.

AMPLIFICADOR OPERACIONAL: un amplificador operacional (comúnmente abreviado A.O. u op-amp), es un circuito electrónico (normalmente se presenta como circuito integrado) que tiene dos entradas y una salida. La salida es la diferencia de las dos entradas multiplicada por un factor (G) (ganancia):

$$V_{out} = G \cdot (V_{+} - V_{-})$$

DEMODULACION: engloba el conjunto de técnicas utilizadas para recuperar la información transportada por una onda portadora, que en el extremo transmisor había sido modulada con dicha información. Este término es el opuesto a modulación. Así en cualquier telecomunicación normalmente existirá al menos una pareja modulador-demodulador, el diseño del demodulador dependerá del tipo de modulación empleado en el extremo transmisor.

FILTRO: un filtro eléctrico o filtro electrónico es un elemento que discrimina una determinada frecuencia o gama de frecuencias de una señal eléctrica que pasa a través de él, pudiendo modificar tanto su amplitud como su fase.

IMPEDANCIA: la impedancia es una magnitud que establece la relación (cociente) entre la tensión y la intensidad de corriente. Tiene especial importancia si la corriente varía en el tiempo, en cuyo caso, ésta, la tensión y la propia impedancia se describen con números complejos o funciones del análisis armónico. Su módulo establece la relación entre los valores máximos o los valores eficaces de la tensión y de la corriente. La parte real de la impedancia es la resistencia y su parte imaginaria es la reactancia. El concepto de impedancia generaliza la ley de Ohm en el estudio de circuitos en corriente alterna (AC).

MICROCONTROLADOR: un microcontrolador es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y unidades de E/S (entrada/salida).

MODULACIÓN: modular una señal consiste en modificar alguna de las características de esa señal, llamada portadora, de acuerdo con las características de otra señal llamada moduladora.

El objetivo de modular una señal, es tener un control sobre la misma. El control se hará sobre ciertos elementos característicos de una oscilación continua; estos son modificados según la forma de onda de la señal que se desea transmitir. Los parámetros o magnitudes fundamentales de una señal analógica son: amplitud, frecuencia y fase.

MODULACIÓN FSK: la modulación por desplazamiento de frecuencia o FSK, (Frequency Shift Keying) es una técnica de transmisión digital de información binaria (ceros y unos) utilizando dos frecuencias diferentes. La señal moduladora solo varía entre dos valores de tensión discretos formando un tren de pulsos donde un cero representa un "1" o "marca" y el otro representa el "0" o "espacio". En FSK, el bit rate = baud rate. Así, por ejemplo, un 0 binario se puede representar con una frecuencia f_1 , y el 1 binario se representa con una frecuencia distinta f_2 .

PLT: Power Line Telecommunications, también conocido por sus siglas PLT, es un término inglés que puede traducirse por comunicaciones mediante cable eléctrico y que se refiere a diferentes tecnologías que utilizan las líneas de energía eléctrica convencionales para transmitir señales de radio para propósitos de comunicación. La tecnología PLT aprovecha la red eléctrica para convertirla en una línea digital de alta velocidad de transmisión de datos, permitiendo, entre otras cosas, el acceso a Internet mediante banda ancha.

REFLEXIONES: la reflexión de señal se produce cuando se transmite una señal a lo largo de un medio de transmisión, tal como un cable de cobre o una fibra óptica. Parte de la potencia de la señal puede ser reflejada de vuelta a su origen en lugar de ser llevado a lo largo del cable hasta el otro extremo. Esto sucede debido a imperfecciones en el cable a causa de la discrepancia de impedancias y cambios no lineales en las características del cable. Estos cambios bruscos en las características causan la reflexión de la señal transmitida.

TRANSFORMADOR: se denomina transformador a un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia. El transformador es un dispositivo que convierte la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de voltaje, en energía alterna de otro nivel de voltaje, por medio de la acción de un campo magnético. Está constituido por dos o más bobinas de material conductor, aisladas entre sí eléctricamente por lo general enrolladas alrededor de un mismo núcleo de material ferromagnético. La única conexión entre las bobinas la constituye el flujo magnético común que se establece en el núcleo.

INTRODUCCIÓN

La tecnología PLT (Power Line Telecommunications) brinda la posibilidad de transmitir datos, voz o video, a través de la red eléctrica de baja tensión, debido a que las características de la red están entre 120V y 440V a una frecuencia de 50 ó 60 Hertz, se puede transmitir señales a una frecuencia mucho mayor y a altas velocidades para facilitar la comunicación, esta herramienta ofrece una solución innovadora, competitiva y de alto rendimiento que apoya al sector de la automatización tanto industrial como doméstica, en la integración de equipos y sistemas. Debido a que está disponible en la mayor parte de hogares y empresas del mundo, esta se vuelve un recurso potencial ya que su infraestructura ya está implementada y es de fácil acceso para la mayor parte de la población.

Para aprovechar este recurso tan eficaz se aplicarán sistemas de control de lazo cerrado. Estos sistemas permiten la automatización, control, monitoreo y manipulación de procesos de diferente índole.

Control es una rama bastante prometedora puesto que mejora las tareas del hombre volviéndolas más eficaces y seguras por su cualidad de ser totalmente independientes (con esto se hace referencia a que no necesitan de la intervención humana), esto permite tener una diversa aplicabilidad sobre todo en la domótica mejorando la calidad de vida.

En Colombia existe la necesidad de implementar dichos sistemas debido a la carencia de la tecnología en la mayor parte de hogares colombianos, atribuido en gran parte a la falta de presupuesto para los elevados costos de los sistemas, equipos y demás requerimientos para la automatización. Por tal razón se hace prometedora la implementación de PLT aprovechando la red eléctrica de baja tensión, disponible para la mayor parte de regiones en Colombia ya que es un recurso de bajo costo de implementación.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

Power Line Telecommunications es la tecnología de banda ancha que utiliza las líneas eléctricas de media y baja tensión para proveer servicios de comunicación, tanto al usuario final (hogar) como a los servicios de interconexión entre dispositivos industriales, autómatas, la interconexión de equipos de trazabilidad para el manejo de lotes de producción, entre otros, o cualquier sistema que disponga de un puerto Ethernet.

Aunque no es nada nuevo, sólo ahora las comunicaciones de datos por la red eléctrica empiezan a ser una opción viable, aunque todavía en fase precomercial. La enorme capilaridad de la red eléctrica, tanto en cobertura geográfica como dentro de los hogares y empresas, convierten a las nuevas tecnologías PLT (Power Line Telecommunications) en una alternativa de acceso a Internet de alta velocidad (hasta 25 Mbps en algunos casos), en competencia con el bucle local telefónico, ya sea convencional, RDSI o DSL, los bucles locales inalámbricos (como LMDS) o las redes de cable. También son de aplicación en transmisiones de punto a punto y como redes locales domésticas. Es cierto que a PLT todavía le quedan importantes retos que afrontar, pero ya se trabaja activamente para que pronto sea una solución factible al menos en determinados entornos. En España, Endesa, Iberdrola y Unión Fenosa están realizando experiencias piloto con múltiples clientes.

Son varios los proyectos que se han realizado con esta tecnología, a nivel nacional e internacional, como lo son:

1.1.1 Proyectos internacionales

Proyecto ALAS (España): fue implementado por IBERINCO: IBERDROLA Ingeniería y Consultoría. Departamento de Comunicaciones y Telecontrol. Ubicado en Madrid (España). Consistió en el despliegue de una red global de comunicaciones para dar a un número de clientes acceso a Internet y telefonía. Esta red está constituida por una red de acceso y una red troncal para acceso al proveedor de servicios de Internet (ISP). La parte de red de acceso estaba basada en la tecnología PLC: conexión desde la casa del cliente hasta el centro de transformación (CT) mediante el cable de suministro eléctrico. En algunos casos también se utilizó la tecnología PLC de MT en la red troncal, para comunicar algunos CTs con el núcleo de dicha red troncal usando la línea eléctrica de MT. La red se implementó utilizando diferentes tecnologías PLC existentes en el mercado a nivel mundial, con el objeto de sacar conclusiones en cuanto al rendimiento y a la viabilidad de las diferentes tecnologías, antes de pasar a una fase comercial. Después de realizar una prueba piloto durante 2002, fue la primera en comercializar el servicio PLC en España. El servicio fue

lanzado el 15 de Octubre de 2003. 12 meses más tarde, IBERDROLA ya ha comercializado el servicio PLC en más de 20 barrios de Madrid y Valencia.

Proyecto de Schneider Electric (Brasil): la empresa Schneider Electric ha desarrollado proyectos de pasarelas industriales PLC en las cuales se pueden realizar comunicaciones a través de sistemas Modbus RTU/ Modbus-TCP/IP a PLC para llevar las tramas de datos de un sistema de comunicación modbus a Ethernet mediante el cable eléctrico. Básicamente el proyecto se basaba en una aplicación de comunicación para puente de grúas de puerto marítimo donde el uso de la tecnología PLC fue la más efectiva que otras tecnologías de acceso como WiFi, la cual perdía comunicación al momento de ejecutar maniobras por la pérdida de tensión (microcortes).

Este es un ejemplo de transmisión de datos por red eléctrica para sistemas de control donde otros medios se hacían muy ineficaces.

Online/Enikia: Completó con éxito una prueba realizada en 8 hogares de Alemania, donde se analizó el acceso de alta velocidad de voz y datos a través de las redes eléctricas. Como la disponibilidad de los dispositivos de acceso es una condición indispensable para el éxito de su funcionamiento, Online desarrolló también el WebPad, un dispositivo móvil del tamaño de una cinta de VHS, que permitió el enlace entre un terminal informático y la clavija eléctrica. El concepto de Online es conectar todos los hogares entre ellos, creando una red en forma de anillo. Este propósito permite, según Online, optimizar la velocidad de transmisión hasta los 8 Mbits por segundo. La clave de toda esta tecnología reside en una pequeña caja situada cerca del medidor eléctrico, y permite a los hogares usar comunicación de voz y datos con la misma calidad que las tradicionales líneas de comunicación. La caja está compuesta de componentes estándar y pronto será fabricada en masa. Durante el CeBIT 2000 Online y Enikia, un fabricante alemán de chips que soportan 10 Mbits de capacidad en redes LAN. Actualmente en lo que más se ha investigado en el campo de PLT es hacia la transmisión de voz, imágenes e internet, ya que son servicios de gran demanda y a provechando las ventajas de PLT, se pretende extender este servicio y mejorarlo: Alberto Mantovani, director de la división de programas estratégicos en Conexant Systems, una de las empresas implicadas en la HomePlug Powerline Alliance, asegura que la principal ventaja de la tecnología basada en las redes de hogares conectados a las líneas eléctricas, reside en su ubicuidad: mientras existe una media de 2 ó 3 teléfonos en un hogar, existe al menos 2 ó 3 enchufes en cada habitación de ese mismo hogar.

1.1.2 Proyectos nacionales

Escuela Colombia de Ingeniería Julio Garavito, Proyecto de automatización del laboratorio de ingeniería electrónica G-204 de la ECI a través de una red inmótica: El grupo de Investigación Electrónica (Grupo de investigación registrado en Colciencias en el año 2002) del programa de ingeniería electrónica de la escuela, propuso, diseñó y desarrolló un proyecto de investigación que aprovecha el tendido de distribución eléctrica del edificio

G para ofrecer facilidades de acceso, control de equipos de laboratorio, ahorro de energía y mejoramiento de la calidad de servicio. El sistema de la red inmótica para el laboratorio G-204 está constituido con los siguientes subsistemas:

- Un control de acceso con una arquitectura cliente - servidor; en este último reposa una base de datos de los usuarios, horarios, equipos y mesas de trabajo; el usuario se conecta desde cualquier computador (cliente) al servidor a través de Internet para separar el turno de su práctica de laboratorio; en esa operación selecciona el horario, los equipos, la mesa, el tipo de red que requiere (monofásica o trifásica) y registra a sus compañeros de trabajo. El acceso al laboratorio G-204, en el día y la hora de su práctica, se realiza mediante un lector de tarjetas inteligentes.
- Control de información de un aviso publicitario y de un reloj electrónico: desde el servidor se genera y controla el envío de información de interés a un aviso publicitario conformado por tres pantallas LCD ubicadas en una de las paredes del segundo piso del edificio G; así mismo, se actualiza continuamente la hora y se informa sobre la temperatura del laboratorio G-204.
- Habilitación o deshabilitación de los bancos de trabajo: mediante un control on-off, con mando desde el servidor, se energizan (al inicio de la práctica) o desenergizan (al final de la práctica o ante eventualidades) los bancos de trabajo para proteger los equipos, ahorrar energía y facilitar a los monitores la logística de supervisión del estado de los equipos, al final de cada práctica.

El grupo de investigación aplica la tecnología Power Line Communications “PLC” y sus investigadores exploran diferentes alternativas de modulación digital, codificación y detección de errores, acoples, protocolos de transmisión de datos y nuevas aplicaciones; todo esto basado sobre la estimación del canal (tendido eléctrico) como medio de transmisión.

Ministerio de comunicaciones de Colombia y EPM, proyecto de Internet por red eléctrica: Las redes de energía eléctrica llegan a casi cualquier parte; tienen un cubrimiento mayor al de las líneas telefónicas, lo cual es una ventaja para llevar Internet mediante PLC a regiones apartadas.

En Colombia, el Ministerio de Comunicaciones tiene a PLC, junto a WiMax y la radio y televisión digitales, como tema de estudio en sus planes de acción.

El potencial de PLC en países como Colombia es alto, pues la penetración actual de la banda ancha es muy baja y eso da más posibilidades de que se masifique (en naciones como Corea, Francia o Estados Unidos, cable y DSL están en la mayoría de hogares y por ello PLC tiene un limitado campo de acción).

El tema se ha estado explorando desde hace un par de años, pero solo en los últimos meses algunas empresas han tomado la decisión de iniciar proyectos de PLC en el país. La empresa colombiana Smart People, que maneja el portafolio de soluciones PLC de Mitsubishi Electric, uno de los principales proveedores de esta tecnología en el mundo, ha establecido contactos con las compañías de energía eléctrica y con proveedores de telecomunicaciones para presentarles la tecnología y cómo esta podría generarles nuevos negocios.

Al respecto, Rafael Danon, gerente de desarrollo de negocios de esta compañía, señaló que las empresas de energía pueden manejar varios modelos de negocio. Pueden convertirse por sí mismas en un proveedor de acceso a Internet que ofrezca directamente el servicio a sus clientes actuales, pero como se trata de un negocio distinto, que requiere un conocimiento y unos niveles de servicio diferentes a los de la venta de energía, también pueden aliarse con un proveedor de telecomunicaciones o arrendar su red eléctrica a operadores de Internet.

- Arranca en Medellín

Una de las compañías con las que Smart People se ha reunido para avanzar en el tema de PLC es Empresas Públicas de Medellín, una organización que tiene la ventaja sobre otras electrificadoras de que conoce el negocio de telecomunicaciones e Internet como el eléctrico. Leonidas Mesa, gerente de EPM Energía, asegura que los costos de implementación de PLC son un poco altos comparados con otras tecnologías, pero que ofrece un buen potencial de negocio. Ya que son una compañía integrada, con redes de energía y telecomunicaciones en varias regiones del país, pero hay zonas donde no cuentan con la segunda red, y allí PLC podría ser muy interesante para llevar la banda ancha a rincones donde no es posible hacerlo de otra forma.

En el año 2005, EPM Energía comenzó a manejar proyectos piloto de PLC en hogares, una institución educativa y una zona comercial, y planea comparar los resultados con los de cable y DSL, y a la vez evaluar si los clientes valoran los beneficios adicionales que ofrece PLC. Así PLC no será una competencia para DSL y cable, sino un complemento. Incluso para manejar redes mixtas, de tal forma que lleven Internet a las casas utilizando PLC y DSL combinadas, de esta forma lo planteo Leónidas Mesa.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los principales problemas que ha tenido el desarrollo de la línea eléctrica como canal de comunicaciones son la atenuación de la señal debido a las múltiples derivaciones que existen, a los desacoples de impedancia por las características del canal, corriente, voltaje y resistencia que maneja; así como

ruido variable en el tiempo, causado por los aparatos conectados a la red y fuentes externas, debido a que cada uno de los equipos conectados a la red generan armónicos, los cuales afectan la señal a enviar.

Gracias a las nuevas técnicas de modulación digitales, los desarrollos en métodos adaptativos de transmisión por red eléctrica, han hecho posible superar y con creces las trabas de la red eléctrica.

El control de lazo o bucle cerrado es aplicable a la tecnología PLT ya que es un medio que permite transmitir y recibir datos.

Para poder realizar un control de temperatura en lazo cerrado y un control on/off de detección de intrusos es necesario el envío y recepción constante de la variable que se está controlando; esto presenta conflictos debido a que el canal de transmisión es la red eléctrica, la cual tiene las desventajas ya mencionadas.

Debido a esto surge la pregunta de investigación:

¿Qué características técnicas y funcionales se requieren para implementar un prototipo de control de lazo cerrado, comunicado mediante líneas de potencia eléctrica?

1.3 JUSTIFICACIÓN

En este proyecto se desea trabajar con la tecnología PLT (power line telecommunications) puesto que esta trabaja con la red eléctrica y es un servicio estandarizado a nivel global, por ser un servicio público. Por ende este medio es asequible para todo tipo de personas, ya que otros tipos de medios altamente efectivos (fibra óptica, HCF, WDM, DWDM etc.) son costosos y de infraestructura compleja.

La infraestructura de la red eléctrica es económicamente eficiente, facilita la convergencia y masificación de servicios de comunicaciones y abarca gran parte del territorio del país, estas ventajas se aprovecharán para la transmisión de datos en sistemas de control.

El propósito de este proyecto es integrar las variables a controlar en un solo sistema y buscar un medio de transmisión o comunicación que sea asequible para todo tipo de personas, tanto en la parte de infraestructura como económica. Haciendo posible implementar sistemas de control de variables como seguridad y temperatura las cuales son necesidades requeridas y aplicables en cualquier campo, como son edificios, industrias, viviendas, hospitales, oficinas etc.

Esto generaría gran impacto puesto que en Colombia como en cualquier otro país del mundo hay una gran demanda hacia la tecnología que sea autónoma, multifuncional y con un alto grado de seguridad y monitoreo de sus funciones.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General

Implementar un prototipo de control de lazo cerrado proporcional sobre la variable de temperatura y un control on/off de detección de intrusos para domótica, utilizando como medio de transmisión bidireccional la red eléctrica de baja tensión aplicando PLT (power line telecommunication).

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Analizar las condiciones eléctricas de un tramo de baja tensión para identificar las características técnicas que debe cumplir el prototipo.
2. Determinar los valores de las variables seleccionadas de la planta domótica, para determinar los rangos generales de control.
3. Diseñar un prototipo de transmisión de señales sensadas por medio de las líneas de potencia eléctrica de baja tensión mediante componentes electrónicos.
4. Diseñar un prototipo de recepción de señales sensadas por medio de las líneas de potencia eléctrica de baja tensión mediante componentes electrónicos.
5. Implementar un prototipo que controle la variable de temperatura y de detección de intrusos a partir de los datos sensados y permita la visualización de estas, por medio de una interfaz grafica (Labview).
6. Realizar pruebas con el prototipo final de envío, control y recepción de las variables establecidas.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

1.5.1 Alcances

El prototipo implementado en este proyecto consta de dos etapas principales, en la primera etapa se adquieren los datos de los sensores de temperatura y alarma mediante un microcontrolador, los cuales son adaptados para ser transmitidos a través de la red eléctrica, mediante procesos de codificación, modulación y acople de impedancias. Luego de viajar por la red eléctrica estos datos son recibidos, filtrados y demodulados para ser procesados por una interfaz y enviarlos al computador para realizar una acción de control digital, proporcional para la variable temperatura y una on/off para detección de intrusos. En la segunda etapa la respuesta del sistema de control emitida por el computador es adquirida y procesada de igual forma a la primera etapa para poder ser transmitida nuevamente por la red eléctrica, recibirlas y activar el

correspondiente actuador, al enviar y recibir simultáneamente las señales el sistema de comunicación se comporta de modo full-dúplex.

1.5.2 Limitaciones

Las limitaciones que se presentan en el proyecto son:

El control proporcional se realiza sobre cinco estados, esto debido a que el manejo de señales por la red eléctrica es muy complejo y presenta desventajas al momento de insertar varias señales en la red, ocasionadas por armónicos, ruido y superposición de señales.

Se tiene una limitación en cuanto a la distancia de transmisión, esto debido a las grandes pérdidas de propagación presentadas por la red eléctrica de baja tensión.

La señal de transmisión se ve afectada en el momento de tener múltiples dispositivos conectados a la misma red eléctrica, generando que la señal varíe en frecuencia y amplitud y haciendo en algunos casos que se pierda por completo la señal.

2. METODOLOGIA

2.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACION

El enfoque de la investigación es de carácter empírico-analítico.

2.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUB LÍNEA DE LA FACULTAD / CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA

Tecnologías actuales y sociedad

2.2.1 Sub-líneas de la facultad

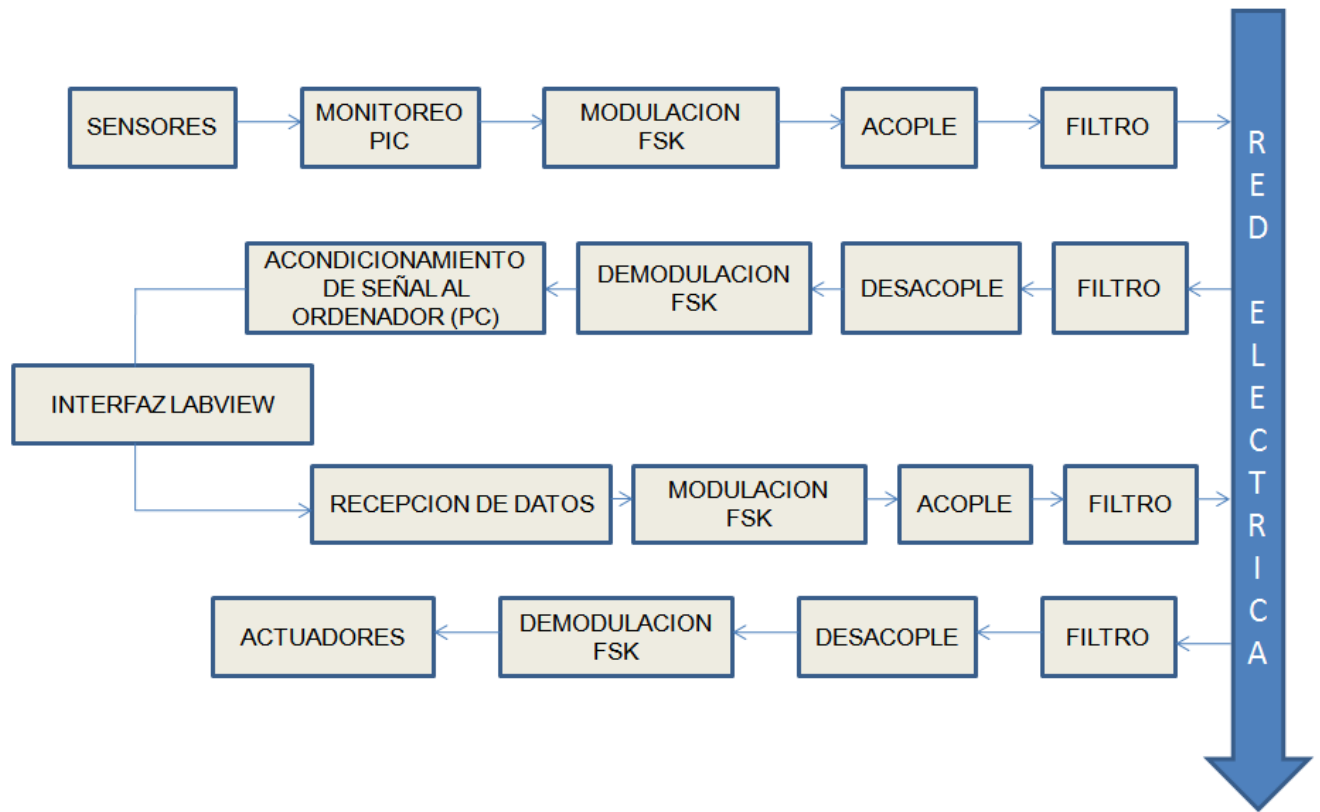
- Procesamiento de señales
- Instrumentación y control de procesos

2.2.2 Campos de investigación

- Análisis y procesamiento de señales
- Control
- Comunicaciones

3. DESARROLLO INGENIERIL

3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES



3.2 PARÁMETROS A EVALUAR

3.2.1 Transmisión

3.2.1.1 Sensores

Los sensores o detectores reconocen entradas procedentes del proceso y entorno externo. Son un tipo de transductores que convierten la información física real, como presión, temperatura, posición, etc., en señal de tipo eléctrico, utilizándose éstas señales para supervisar y controlar un proceso.

Los sensores suelen clasificarse en función de lo que midan (temperaturas, presión, velocidad, nivel, etc., que serían señales analógicas) y también detectan estados ON / OFF, (que serían señales digitales). Para la variable de temperatura se uso un sensor y para la detección de intrusos se implemento un

Interruptor el cual trabaja estando normalmente abierto dando un 0 lógico y al haber contacto queda cerrado, emitiendo un 1 lógico.

- Sensor de temperatura LM35

Para obtener el nivel de temperatura, se uso un sensor de temperatura LM35 el cual es un dispositivo electrónico de precisión que actúa como un sensor de temperatura calibrado directamente en grados centígrados, Su tensión de salida es lineal y proporcional a la escala Celsius de temperatura, esto es una ventaja frente a los sensores calibrados en grados Kelvin, ya que no necesita sustraer una tensión constante elevada de su salida para ajustarse a una escala centígrada.

El LM35 es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1°C y un rango que abarca desde -55° a $+150^{\circ}\text{C}$.

La baja impedancia de salida, su salida lineal y su precisa calibración inherente hace posible una fácil instalación en un circuito de control.

Debido a su baja corriente de alimentación (60uA), se produce un efecto de auto calentamiento reducido, menos de 0.1°C en situación de aire estacionario.

Este sensor se presenta en diferentes presentaciones como lo son TO46 metálico, montaje superficial y TO92 plástico para el prototipo se uso la presentación TO92 en plástico, por ser el más común en el mercado y tener una configuración de trabajo muy sencilla, este encapsulado tiene la forma típica de un transistor con tres pines, uno de alimentación uno de tierra y uno de salida como se observa en la figura 1.

Figura 1. Sensor LM35.

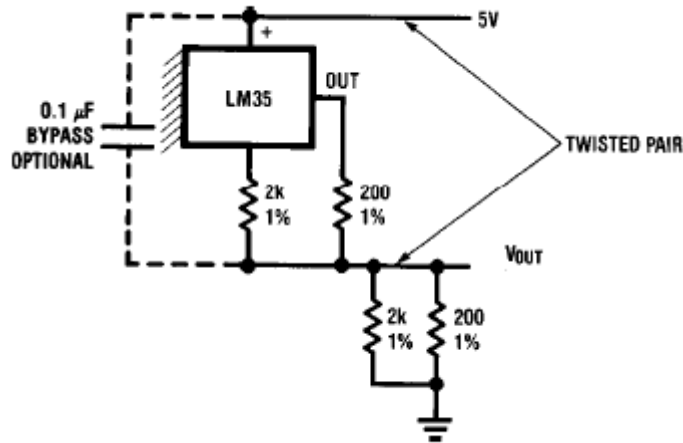


Datasheet Sensor LM35. Disponible en:

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/nationalsemiconductor/DS005516.PDF>. [03-10-2010] 10:30.

La configuración que se uso para el prototipo se observa en la figura 2.

Figura 2. Esquema sensor LM35



Datasheet Sensor LM35. Disponible en:

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/nationalsemiconductor/DS005516.PDF>. [03-10-2010] 10:30.

Respecto a la salida del sensor LM35 se establecen los rangos para la calibración de la planta. En la tabla 1 se observan los datos de voltaje emitido por el sensor, en los tiempos establecidos y su equivalente en grados centígrados.

Tabla 1. Datos del sensor LM35

Tiempo (seg)	Temperatura °C	Voltios LM35
0	14	0.140
40	16.2	0.162
80	18.1	0.181
120	20.7	0.207
160	22.1	0.221
200	24	0.240
240	25.9	0.259
280	28.1	0.281
320	30.5	0.305
360	32.3	0.323
400	34	0.340
440	36.1	0.361
480	38	0.380
520	40.7	0.407

Tiempo (seg)	Temperatura °C	Voltios LM35
560	41.7	0.417
600	43	0.430
640	45	0.450

Los cinco estados que se tomaron son:

Estado Bajo: 14° Centígrados
Estado Medio Bajo: 16° Centígrados
Estado estable: 20° Centígrados
Estado medio alto: 28° Centígrados
Estado alto: 38° Centígrados

- **Amplificación del sensor LM35**

El sensor entrega los valores en milivoltios, por lo cual se hace necesario amplificar estos valores para la lectura con el microcontrolador, para esto se uso un amplificador operacional configurado como amplificador no inversor (figura 3), el cual da una ganancia de voltaje a la señal de entrada.

Por medio de la ecuación se determina la ganancia de voltaje.

$$V_{en} = [R_2 / (R_2 + R_3)] \times V_{sal}.$$

$$AV = V_{sal} / V_{en} = (R_2 + R_3) / R_2 = R_2 / R_2 + R_3 / R_2$$

$$R_1 = R_2 \times R_3 / R_2 + R_3$$

Entonces

$$AV = 1 + R_3 / R_2$$

Según las resistencias usadas en el circuito la ganancia es de la siguiente forma:

$$AV = 1 + 4k / 1k = 4$$

De lo cual vemos que le damos una ganancia de voltaje por 4 veces.

Donde:

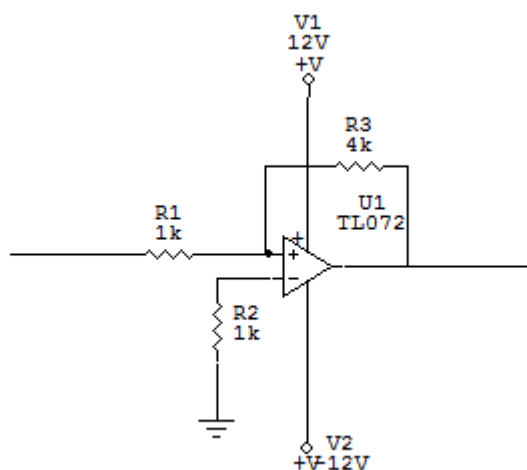
V_{en}: Voltaje de entrada

R₁, R₂ y R₃: Resistencias

V_{sal}: Voltaje Salida

AV: Ganancia

Figura 3. Amplificador no inversor a la salida del sensor LM35

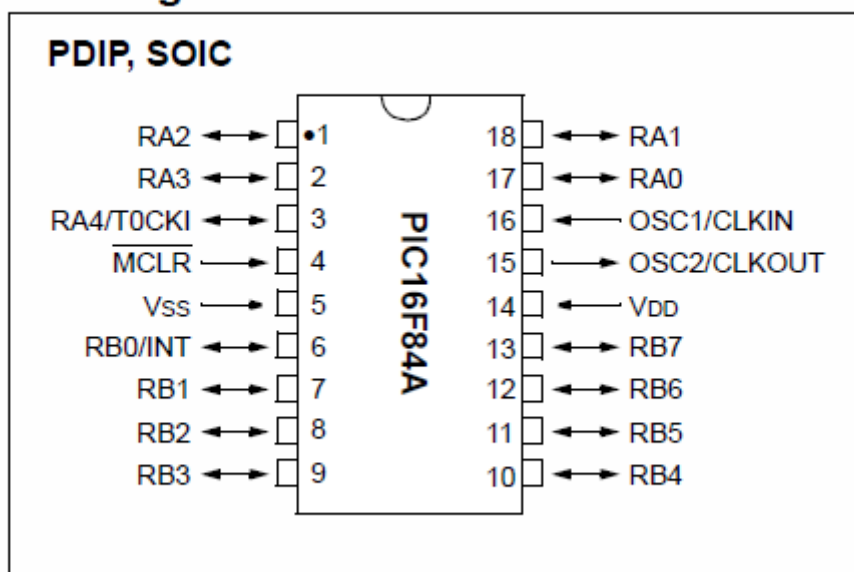


3.2.1.2 Monitoreo PIC

Para registrar los datos que emite el sensor se uso un microcontrolador PIC 16F84A el cual dispone de dos puertos, y está configurado de la siguiente forma:

Figura 4. Diagrama de pines del PIC16F84A

Pin Diagrams



Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/35007b.pdf>

Mediante este microcontrolador se adquieren los datos sensados y mediante una lógica programada el microcontrolador emite una respuesta la cual activa o desactiva los moduladores, y controla la frecuencia de los mismos dependiendo si se quiere codificar un 1 lógico o un 0 lógico, como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 2. Codificación de estados.

Tabla de codificación		
Alto	1	1
Medio Alto	1	0
Medio Bajo	0	1
Bajo	0	0
Estable	Sin señal	

El microcontrolador dependiendo de la entrada del sensor emite una respuesta, la respuesta corresponde a un nivel lógico alto o bajo, los cuales van de los pines de la salida del microcontrolador al circuito integrado XR2206 (modulador FSK), de esta forma el 1 y 0 se ven representados en frecuencias específicas transmitidas por la red eléctrica (esto se explica detalladamente en el punto 3.2.1.3). Esta codificación se realiza solamente para la variable de temperatura puesto que a esta se le va a realizar un control proporcional, la variable detección de intrusos no necesita codificación ya que es un sistema on/off, por lo cual el microcontrolador en una entrada detecta normalmente un 0 lógico y al encontrar un 1 lógico emite un 1 lógico por un pin de salida que va conectado a un integrado XR2206, el cual envía una única frecuencia.

La programación del microcontrolador se ve en el Anexo A.

3.2.1.3 Modulador FSK

Para poder enviar los datos digitales obtenidos del sensor y arrojados del microcontrolador, es necesario modular la señal para que pueda viajar por la red eléctrica, para esto se uso modulación en frecuencia, esta fue la modulación más aceptable para el prototipo, debido a que la modulación ASK es altamente susceptible a la interferencia del ruido, llegando a ser el método más afectado por el ruido. Esto es una gran desventaja cuando el medio de transmisión es la red eléctrica, ya que este medio posee mucho ruido interferencia y armónicos. Por otro lado la modulación en fase PSK es la mejor opción en técnicas de modulación, pero es difícil encontrar moduladores de este tipo en el mercado y a su vez son muy costosos.

Por las razones anteriores se uso modulación en frecuencia, encontrando varios tipos de integrados como lo fueron el RFM43, el cual tiene rangos de trabajo de frecuencias muy alto, que va desde 240 hasta 930 MHz.

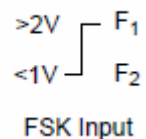
El integrado TCM-3105 modem FSK, el cual es un integrado de Texas Instrument que ofrece la ventaja de modular y demodular, puede trabajar en modo half dúplex, full dúplex y debido a que trabaja con cristal se le puede variar su velocidad de trabajo, es una muy buena opción para un sistema de comunicación que use FSK, sin embargo estos integrados no se consiguen en Colombia y su precio es muy alto llegando a valer incluso 40 dólares.

El circuito integrado XR2206 es un generador de funciones integrado. Este integrado permite obtener una señal de salida sinusoidal, cuadrada, triangular, del tipo diente de sierra o un tren de pulsos. Es bastante estable frente a las variaciones de temperatura y tiene una gran precisión. Tiene un amplio margen de frecuencias válidas, que va desde 0,01 Hz a más de 1 MHz, estas frecuencias se le ajustan externamente, asimismo puede modular la señal de salida en amplitud o frecuencia usando una tensión exterior. Este circuito integrado es bastante utilizado para comunicaciones e instrumentación y para un tono sinusoidal modulado en FM o AM. Presenta baja distorsión de la señal y una excelente estabilidad, baja sensibilidad frente a variaciones en la alimentación y un alto margen de tensión de alimentación. Además es un integrado muy común en el mercado y es de bajo costo, por estas razones es el más usado.

En el prototipo se uso dos moduladores FSK XR2206 con el fin de tener tres frecuencias de trabajo las cuales son 60Khz, 80Khz y 100Khz. El esquema del modulador XR2206 se ilustra en la figura 5.

Se seleccionó estas frecuencias debido a que la zona de mayor ruido y armónicos en la red eléctrica esta aproximadamente entre los 100 KHz – 300 KHz, por esto las frecuencias seleccionadas se salen de esos rangos para poder tener un mejor sistema de comunicación, garantizando que la señal que va a ser recibida llegue con mejor potencia y más limpia de ruidos e interferencias.

El modulador FSK XR2206 recibe entradas digitales de “0” lógico y “1” lógico y asigna una frecuencia a cada uno de los estados de la siguiente forma:



Siendo:

$$F1=1/R1C$$

$$F2=1/R2C$$

De esta forma dependiendo de la resistencia R1 y R2 y del condensador C se establecen las frecuencias que se quieren, siendo la F1 el nivel alto “1” lógico y F2 el nivel bajo “0” lógico.

Estos valores lógicos 1 y 0 son emitidos por el microcontrolador dependiendo de la respuesta que haya tenido del sensor (tabla 2).
Quedando así:

Modulador1

Condensador = 100 nF

R1 = 100Ω

R2 = 125Ω

De esto resulta:

F1 = 100KHz

F2 = 80KHz

Modulador2

Condensador = 100nF

R1 = 166Ω

De esto resulta:

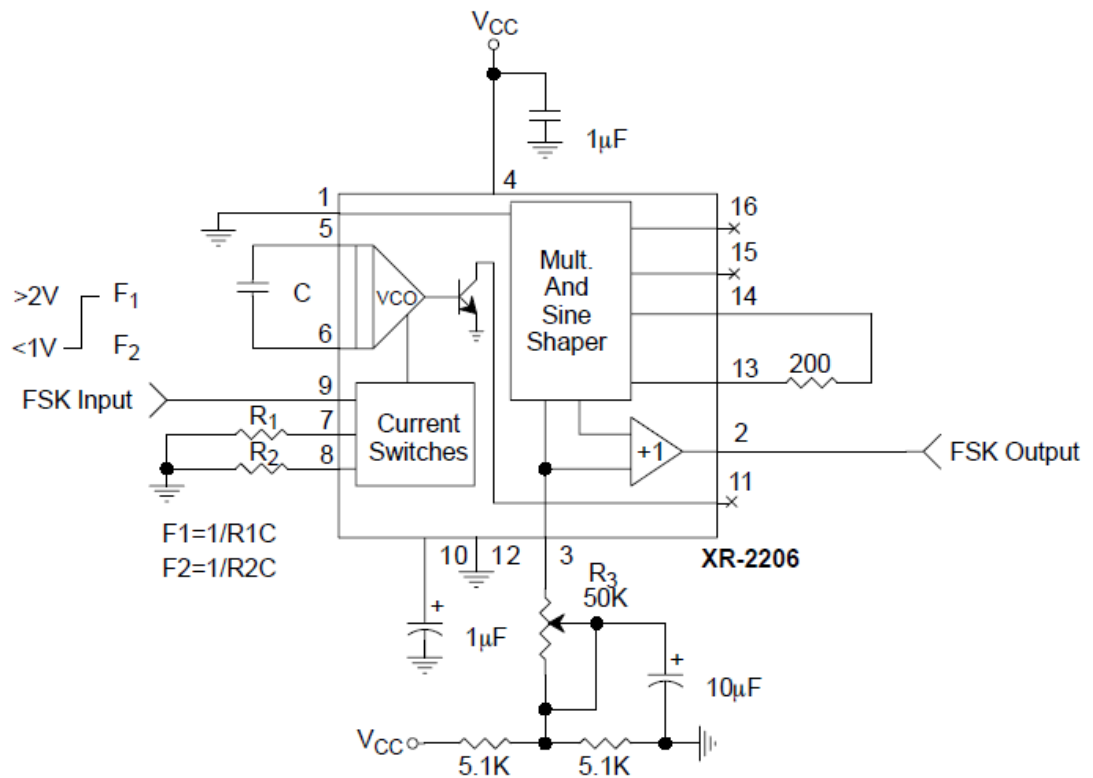
F1= 60KHz

Tabla 3. Asignación de frecuencias

Moduladores	Estado Lógico	Frecuencias
1	1	100 KHz
	0	80 KHz
2	1	60 KHz

En esta etapa se usaron dos moduladores debido a que se requieren tres frecuencias, la respuesta obtenida por los moduladores se aprecia en la figura 6, 7 y 8. Como se puede ver allí se obtuvieron tres señales análogas sinusoidales de 60, 80 y 100KHz en orden respectivo, con unas amplitudes de 5.8, 4.5 y 4.4 voltios, esta amplitud de la señal de salida depende del valor de la resistencia del pin 3 del modulador.

Figura 5. Esquema interno del modulador FSK XR2206



Modulador XR2206. Disponible en:

http://www.jaycar.com.au/images_uploaded/XR2206V1.PDF
14:50

[06-10-2010]

Figura 6. Señal modulada de 60 KHz

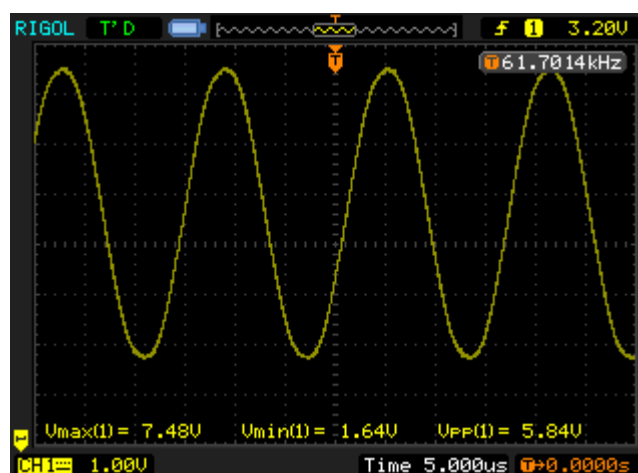


Figura 7. Señal modulada de 80 KHz

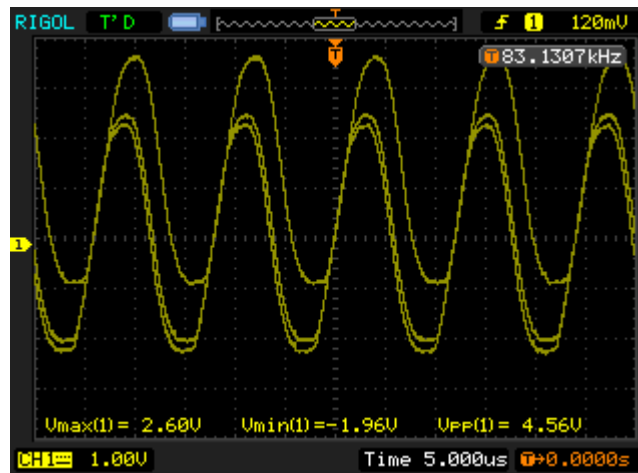
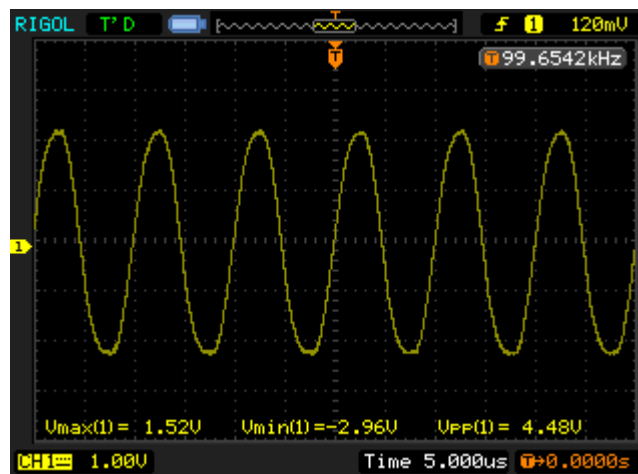


Figura 8. Señal modulada de 100 KHz.



3.2.1.4 Acople

Acoplar impedancia significa lograr que la impedancia de salida de la fuente y la impedancia de entrada de la carga sean iguales o muy cercanas.

Se tiene que acoplar la impedancia de salida de una fuente de señal con la impedancia de entrada de la carga de manera que exista una máxima transferencia de potencia y se minimice las reflexiones causadas por la carga, ya que cuando hay reflexiones, parte de la potencia de la señal que se desea transmitir, se regresa a la fuente. Estas reflexiones, si son muy grandes,

podrían dañar la fuente de señal y además no permiten que la señal viaje por el canal.

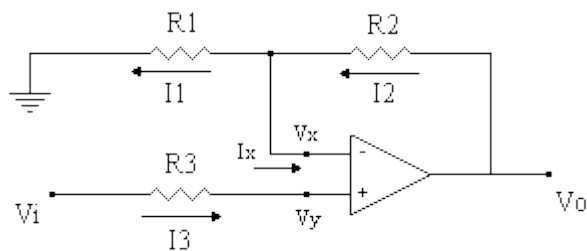
Para acoplar la señal a transmitir con la red eléctrica se implementaron varias etapas:

- **Amplificación de voltaje**

Debido a que la señal emitida por el modulador tiene una amplitud muy baja, es necesario amplificar y dar más potencia a la señal para que esta pueda transmitirse mejor por el canal (red eléctrica).

Para esto se uso un amplificador no inversor debido a que en este amplificador la señal se introduce por el terminal no inversor, lo cual va a significar que la señal de salida estará en fase con la señal de entrada y amplificada, la configuración de un amplificador no inversor es de la siguiente forma:

Figura 9: Amplificador no inversor



Donde:

$$AV = 1 + R2 / R1$$

Y R3 es igual a la combinación en paralelo de R2 y R1.
Así las resistencias usadas fueron:

$$R1 = 1 \text{ K}\Omega$$

$$R2 = 10 \text{ K}\Omega$$

$$R3 = 1 \text{ K}\Omega$$

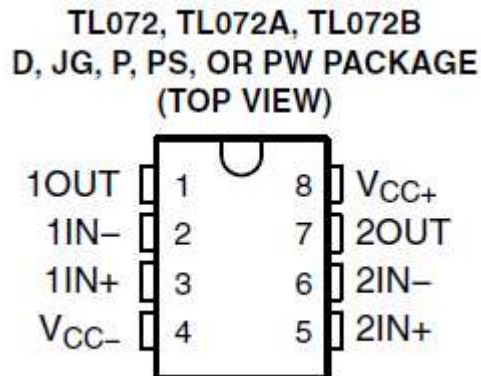
Por lo que la ganancia fue:

$$AV = 11$$

Para la amplificación se usó un amplificador operacional dual TL072 este integrado dispone de dos amplificadores operacionales, el diagrama de pines

Se muestra en la figura 10. Se escogió este debido a que trabaja con las frecuencias que se usaron, y también por ser dual ya que la señal a amplificar es analógica y es necesario que el amplificador operacional de valores tanto positivos como negativos, regenerando su señal de entrada y amplificándola.

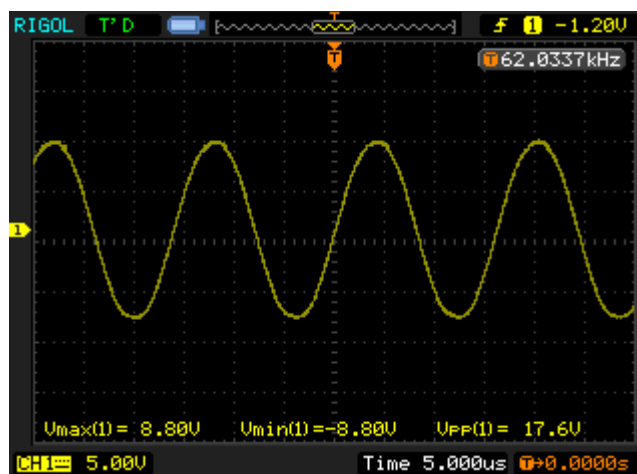
Figura 10. Diagrama de pines del amplificador operacional



Datasheet Amplificador operacional TL072. Disponible en:
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/tl072.pdf> [07-10-2010] 12:30

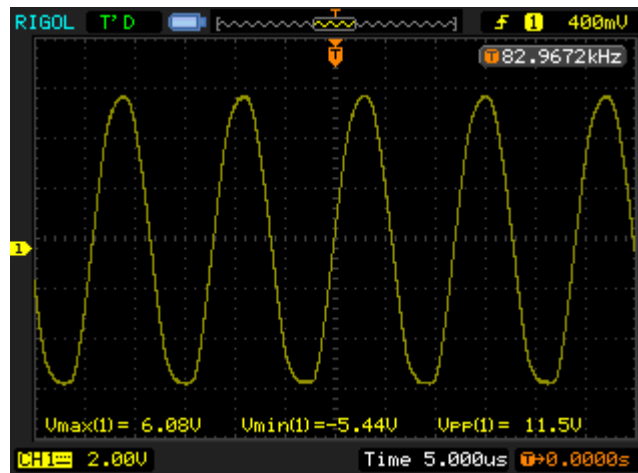
En las figuras 11, 12 y 13 están las señales de 60, 80 y 100 KHz después de la etapa de amplificación de voltaje como se puede ver las señales ampliaron bastante su amplitud.

Figura 11. Señal de 60 KHz amplificada en voltaje.



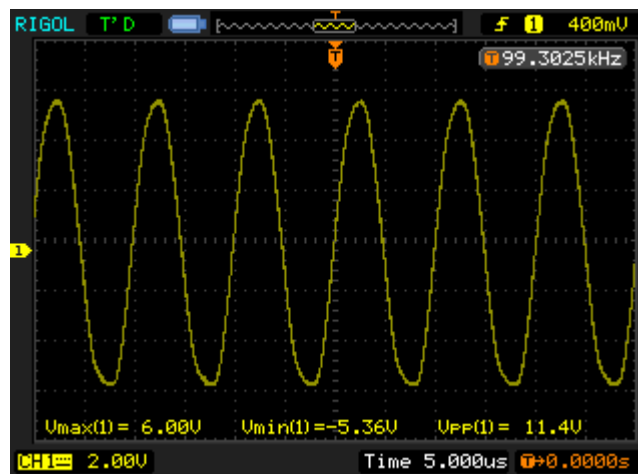
Esta señal aumentó su amplitud de 5.8v a 17.6 v.

Figura 12. Señal de 80 KHz amplificada en voltaje.



Esta señal aumento su amplitud de 4.5 v a 11.5 v

Figura 13. Señal de 100 KHz amplificada en voltaje.



Esta señal aumento su amplitud de 4.4 v a 11.4 v.

- Amplificación en corriente

Para esta etapa se uso la configuración del amplificador emisor seguidor o colector común, como se observa en la figura 14. Esta configuración es la más apropiada debido a que da ganancia en corriente más no en amplitud.

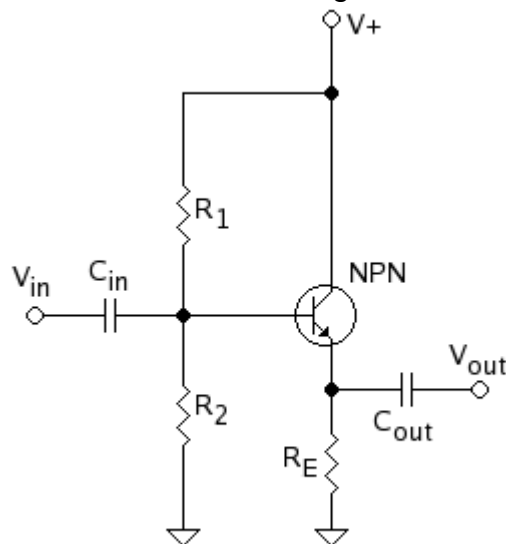
La ganancia de tensión es:

$$A_v = V_{out} / V_{in} = V_e / V_b.$$

Como V_e es siempre menor que V_b , entonces la ganancia siempre será menor a 1.

Otra característica importante de esta configuración es que presenta una impedancia de entrada alta, haciendo que el circuito anterior que lo alimenta no tenga que entregarle mucha corriente y así cargarlo, cuando le pasa la señal que se desea amplificar. Así mismo la impedancia de salida del amplificador es muy baja lo cual es una ventaja para nuestro prototipo debido que a lo que se busca principalmente con esta etapa es reducir la impedancia hasta igualarla o aproximarla a la de la red eléctrica ($\approx 6\Omega$)

Figura 14. Amplificador colector común o seguidor emisor.



Amplificador colector común. Disponible en:
www.d1105488.mydomainwebhost.com/usuarios [16-10-2010] 15:20

La impedancia de entrada se obtiene con la siguiente fórmula:

$$Z_{in} = (\beta + 1) \times R_e.$$

Donde: β es la ganancia de corriente del transistor (dato del fabricante)

Se uso un transistor de potencia MJ15022

A continuación en las figuras 15, 16 y 17 se muestra el resultado de la etapa de amplificación de corriente para cada una de las respectivas señales:

Figura 15. Señal de 60 KHz amplificada en corriente.

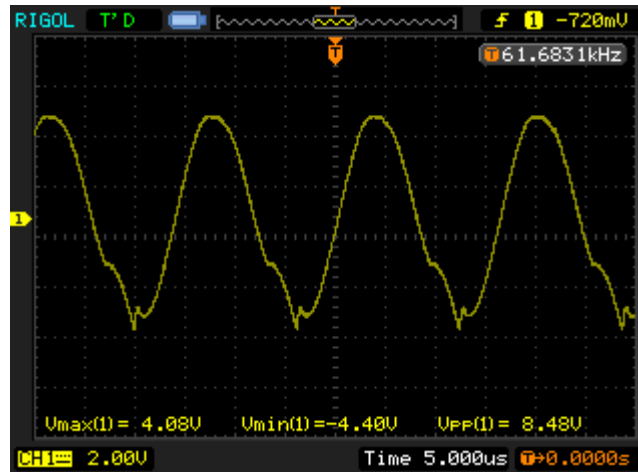


Figura 16. Señal de 80 KHz amplificada en corriente.

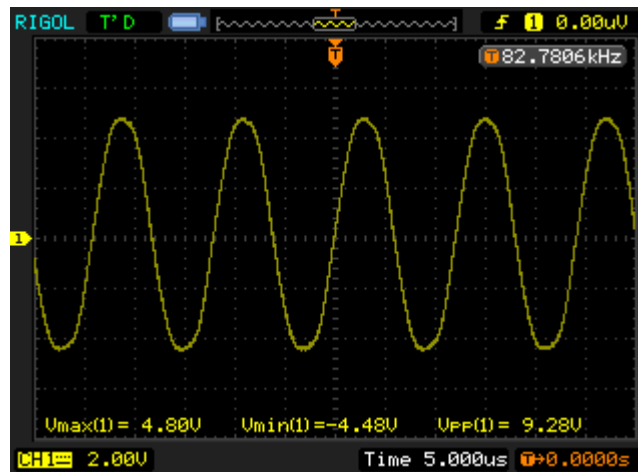
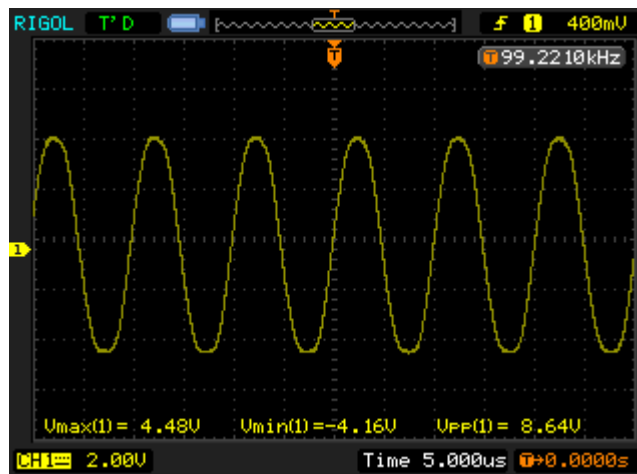


Figura 17. Señal de 100 KHz amplificada en corriente.



- **Acople de impedancias**

Acoplar impedancia significa lograr que la impedancia de salida de la fuente y la impedancia de entrada de la carga sean iguales.

Se tiene que acoplar la impedancia de salida de una fuente de señal con la impedancia de entrada de la carga de manera que exista una máxima transferencia de potencia y se minimice las reflexiones causadas por la carga. Cuando hay reflexiones, parte de la potencia de la señal que se desea transmitir, se regresa a la fuente.

Para adaptar impedancias se implemento un transformador, estos tienen:

- En el bobinado con mayor número de vueltas, mayor impedancia.
- En el bobinado con menor número de vueltas una impedancia menor.

De esta forma asumiendo que el acople entre el primario y el secundario es ideal, el coeficiente de acoplamiento k es 1. Si el **transformador** no es ideal el valor de k es menor a 1. Entonces:

$$\frac{Z_s}{Z_p} = n^2 = \left(\frac{V_s}{V_p} \right)^2$$

Donde:

Z_p : **impedancia reflejada** al primario cuando en el secundario la carga es Z_s .

Z_s : **impedancia reflejada** al secundario cuando la impedancia conectada en

el primario es Z_p . Y n es la relación de vueltas entre el bobinado primario y el secundario. $n = V_s/V_p = I_p/I_s$

Sabiendo que la impedancia de la red es aproximadamente 6 ohmios y que la impedancia del circuito es de 3 Kilo Ohmios, resulta:

$$n^2 = 6/3000$$

$$n = 0.044$$

Y ya que $n = V_s/V_p$ y reemplazando $V_s = 0.044v_p$ es igual a decir $V_p = 22V_s$, lo que quiere decir que para acoplar esas impedancias se necesita un transformador con un numero de espiras en el primario 22 veces mayor que en el secundario.

Otra característica indispensable es que el transformador debe trabajar a altas frecuencias ya que se manejan frecuencias alrededor de 80 KHz.

El transformador no afecta la señal lo único que hace es ayudar a acoplar impedancias y le resta un poco de amplitud, esto se puede observar en las figuras 18, 19 y 20. Donde se observan las señales de 60, 80 y 100 KHz después de la etapa de acople de impedancias.

Por todo lo anterior se escogió un transformador de alta frecuencia WY EE 16C 0505, que cuenta con las características específicas para el circuito.

Figura 18. Señal de 60 KHz después de la etapa de acople de impedancias.

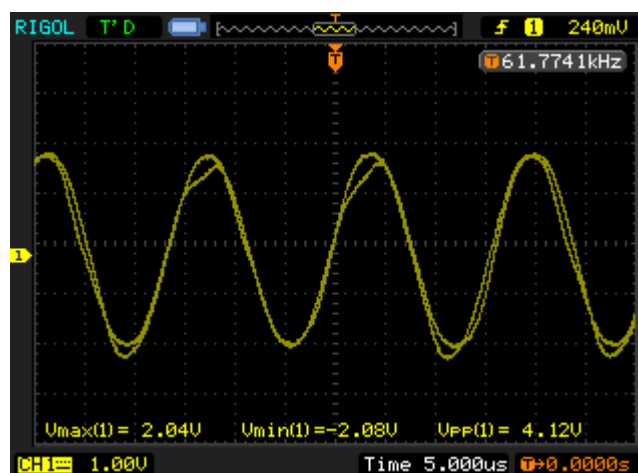


Figura 19. Señal de 80 KHz después de la etapa de acople de impedancias.

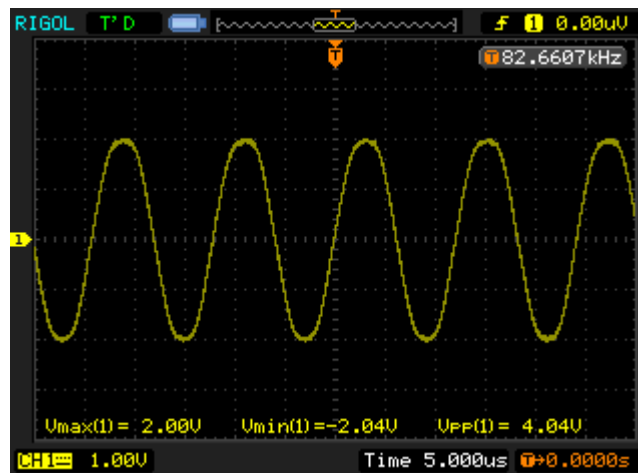
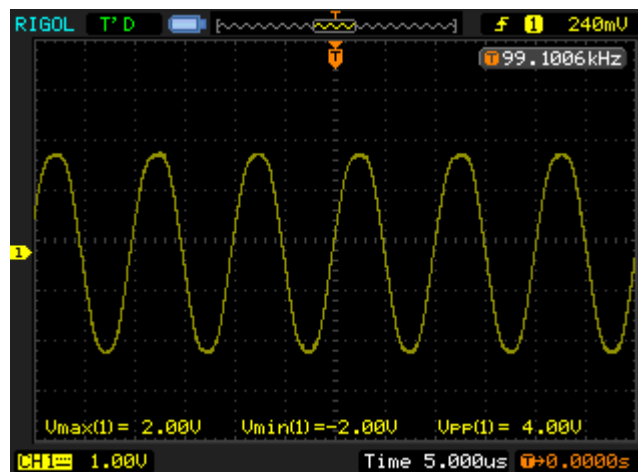


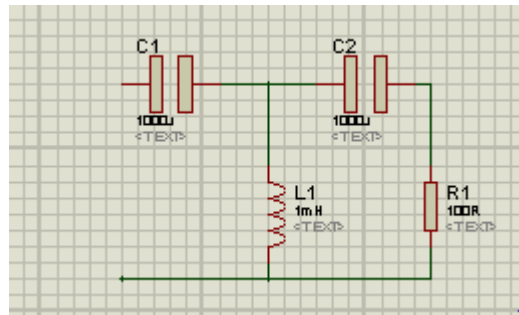
Figura 20. Señal de 100 KHz después de la etapa de acople de impedancias.



3.2.1.5 Filtro

Para proteger el circuito de transmisión de la señal implícita en la red eléctrica, con características de 60 Herz de frecuencia a 120 Voltios, se implemento un filtro pasa altas pasivo Butterworth de tercer orden ilustrado en la figura 21, este filtro se configuro para una frecuencia de corte de 50 KHz, lo cual asegura que se va a eliminar la señal de la red eléctrica de 60 Herz, los condensadores usados tiene una capacidad de 120 Voltios lo cual también asegura que los 120 voltios de la red eléctrica no dañen el circuito de transmisión.

Figura 21. Filtro pasa alto de tercer orden



Para calcular el valor de la resistencia y de los condensadores se uso la herramienta de la página web de pcp audio (http://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_altavoces/filtros_pasivos/filtrospasivos.html), en la figura 22 se ilustra esta herramienta.

Figura 22. Herramienta de PCP audio

CÁLCULO DE UN FILTRO DE 3º ORDEN

Frecuencia Hercios	Impedancia del altavoz más agudo 8 Ohms	Impedancia del altavoz más grave 8 Ohms
Condensador C1	Condensador C2	Condensador C3
Bobina L1	Bobina L2	Bobina L3

Calcular

Filtros pasivos Disponible en:
www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_altavoces/filtros_pasivos/filtrospasivos.html
 [18-10-2010] 09:30

En la figura 22 se ve una casilla de Frecuencia Hercios en esta casilla se coloca la frecuencia de corte deseada y en la casilla de impedancia de altavoz más aguda la impedancia de salida que en este caso sería la impedancia de la red eléctrica (aproximadamente 6 ohmios), luego se da clic en calcular y el da los valores de la bobina y de los condensadores.

De lo cual para nuestros requerimientos:

Frecuencia de corte = 50 KHz

Impedancia del altavoz más agudo = 6 Ω

Los resultados de los cálculos obtenidos mediante la herramienta de PCP se muestran en la figura 23

Figura 23. Calculo del filtro de transmisión

CÁLCULO DE UN FILTRO DE 3º ORDEN

Frecuencia Hercios	50000	Impedancia del altavoz más agudo 6 Ohms	Impedancia del altavoz más grave 6 Ohms
Condensador C1	0.353666 uF	Condensador C2	1.061000 uF
Condensador C3	0.707333 uF		
Bobina L1	0.014328 mH	Bobina L2	0.028644 mH
Bobina L3	0.009552 mH		

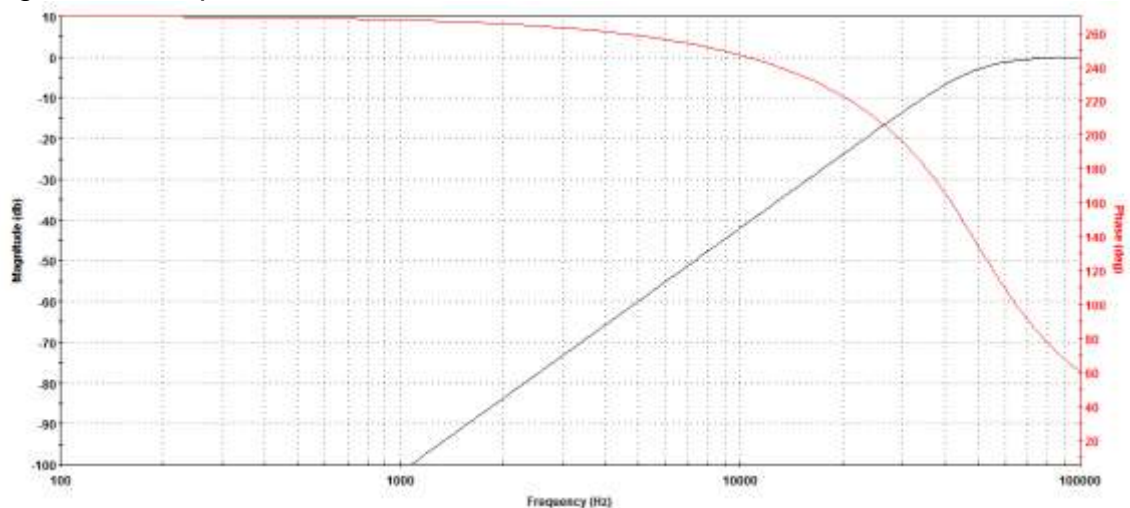
Calcular

Filtros Pasivos. Disponible en:

www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_altavoces/filtros_pasivos/filtrospasivos.html
[18-10-2010] 11:50

En la figura 24, se puede apreciar la respuesta de este tipo de filtro con las características requeridas por nuestro circuito de transmisión.

Figura 24. Respuesta del filtro Butterworth de tercer orden.



La respuesta de las señales después de la etapa de filtrado se observan en las figuras 25, 26 y 27.

Figura 25. Respuesta de la señal de 60KHz con el filtro.

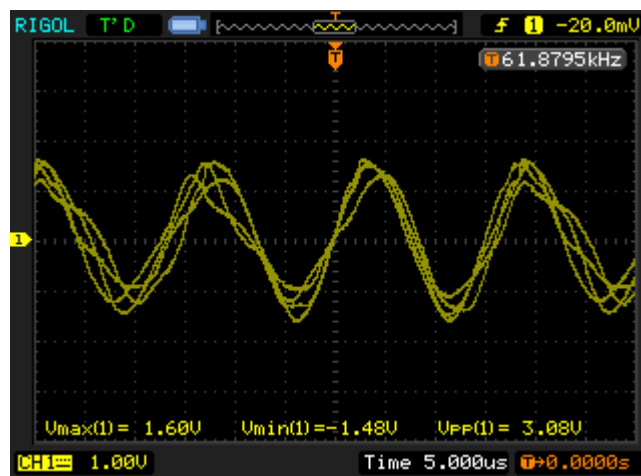


Figura 26. Respuesta de la señal de 80KHz con el filtro.

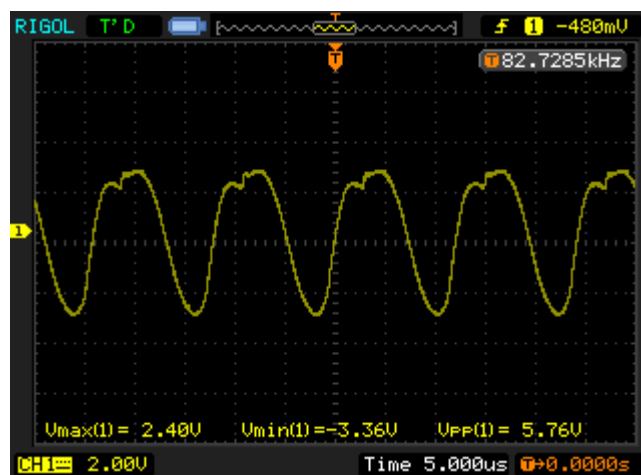
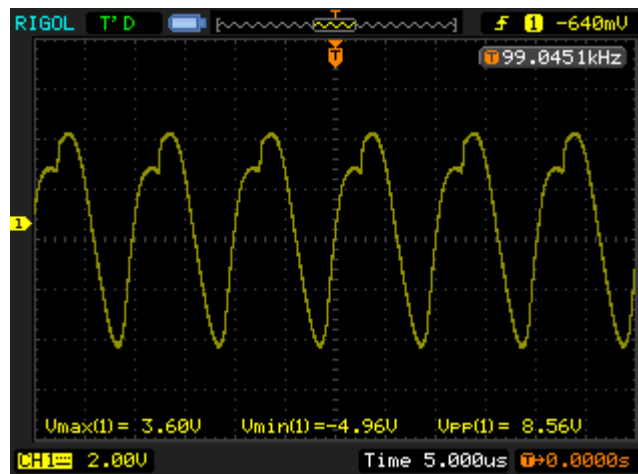
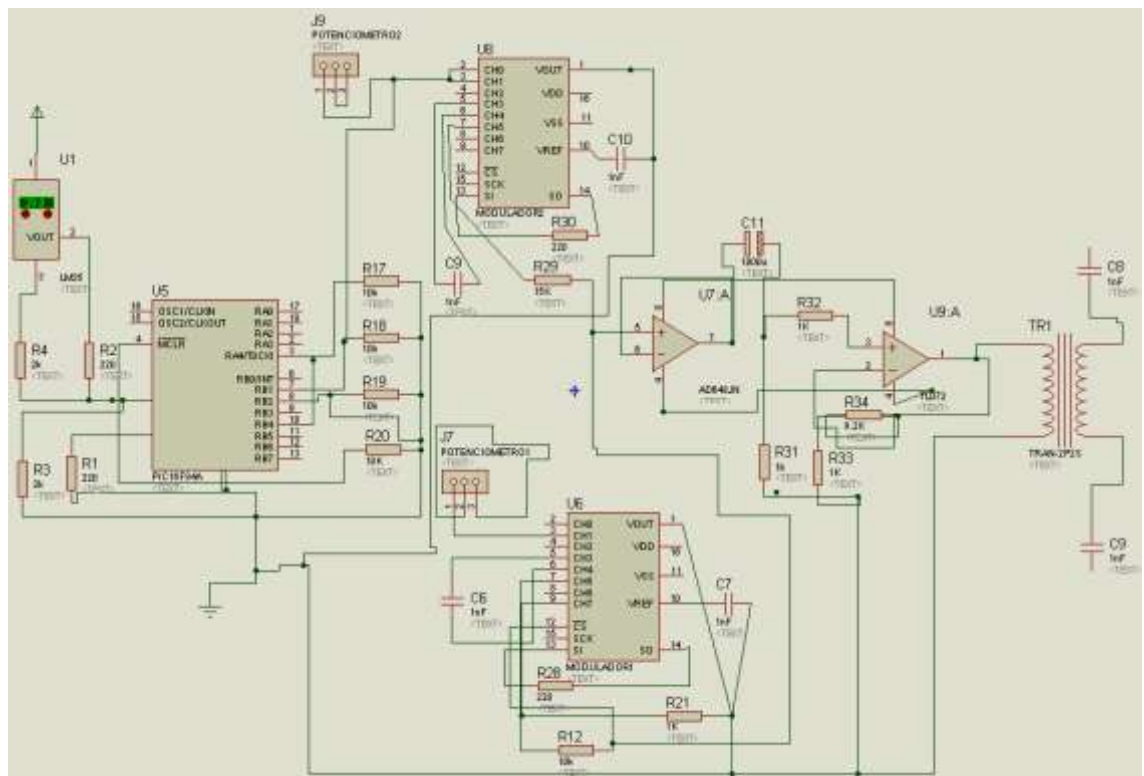


Figura 27. Respuesta de la señal de 100KHz con el filtro.



ESQUEMA DEL CIRCUITO DE TRANSMISION:

Figura 28. Circuito de transmisión.



- Para el filtro de recepción se utilizó de nuevo un Filtro pasa altas pasivo Buterrworth de tercer orden con frecuencia de corte en 50Kherz, con la diferencia que en este caso la impedancia de salida no es la de la red eléctrica (aproximadamente 6 ohmios), sino 100 ohmios, por lo cual los valores de bobina y condensadores son diferentes, para realizar los cálculos de los elementos se recurrió nuevamente a la herramienta de PCP audio, el resultado de los cálculos se muestran en la figura 29.

Figura 29. Calculo del filtro de recepción.

CÁLCULO DE UN FILTRO DE 3º ORDEN

Frecuencia Hercios	50000	Impedancia del altavoz más agudo	100 Ohms	Impedancia del altavoz más grave	100 Ohms
Condensador C1	0.02122 uF	Condensador C2	0.063660 uF	Condensador C3	0.04244 uF
Bobina L1	0.238800 mH	Bobina L2	0.4774 mH	Bobina L3	0.1592 mH

Calcular

Filtros Pasivos. Disponible en:

www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_altavoces/filtros_pasivos/filtrospasivos.html
[18-10-2010] 14:12

3.2.2 Recepción

3.2.2.1 Desacople

Para desacoplar se uso una etapa de filtro con las características que se explicaron anteriormente y un transformador WY EE 16C 0505 igual que en la etapa de transmisión.

Se adiciono una etapa de amplificación de voltaje para darle más ganancia a la señal recibida, pues esta llega bastante atenuada debido a las pérdidas de propagación por las características propias de la red.

Se uso el mismo esquema de amplificación de la figura 9 usado en el circuito de transmisión, a diferencia de que se uso una resistencia de retroalimentación más pequeña (3KΩ) para no aumentar tanto la amplitud de la señal puesto que estas señales son dirigidas al demodulador y este solo admite un voltaje máximo de entrada de 3 voltios.

3.2.2.2 Demodulación FSK

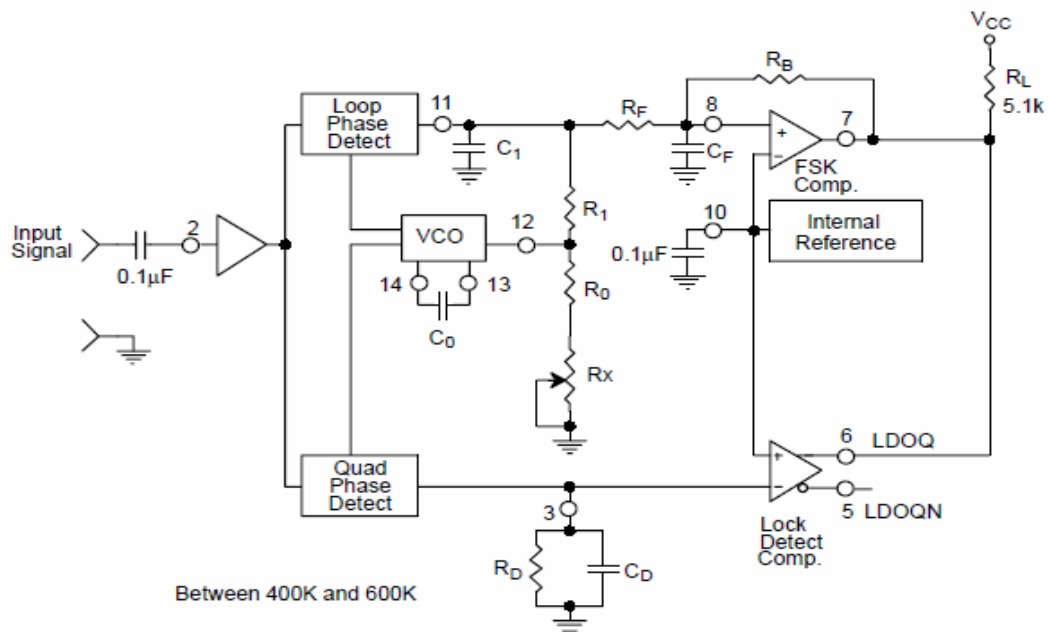
Para efectos de diseño del demodulador FSK se tuvo en cuenta el modulador FSK, seleccionad anteriormente debido a que debe existir una relación directa entre el modulador y el demodulador, para mantener el protocolo de comunicación. Puesto que el modulador asignado es el XR2206 su coexistente en la etapa de demodulación es el XR2211 que conserva las mismas características establecidas por el modulador

Se usó dos demoduladores XR2211, se configuro de forma tal que con ciertas frecuencias de entrada se obtiene un nivel lógico cero o uno; se escogió este tipo de demodulación puesto que la señal sensada que es enviada a través de la red eléctrica va dirigida al computador para el sistema de control proporcional, el cual solo recibe señales digitales, por esto se hace necesaria una conversión de la señal recibida a un nivel lógico.

Un "0" lógico en el esquema de modulación binaria FSK será representado por $s_1(t) = \cos(w_1t)$ y un "1" lógico por $s_2(t) = \cos(w_2t)$. De esta forma f_1 representa un 0 lógico y es igual a 80 KHz, f_2 representa un 1 lógico y es igual a 100 KHz y f_3 representa un 1 lógico y es igual a 60 KHz, que son las frecuencias enviadas por el modulador FSK.

Para esto se configuro el integrado XR2211 como se ve en la figura 30, los cálculos respectivos para establecer las frecuencias de demodulación y el nivel lógica de asignación a cada una se encuentran en el datasheet del integrado.

Figura 30. Configuración del demodulador FSK



Datasheet Demodulador. Disponible en:
[/www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/X/R/-/2/XR-2211.shtml](http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/X/R/-/2/XR-2211.shtml)
[19-10-2010] 09:11

Se comienza por establecer la frecuencia central de trabajo esta se obtiene con las dos frecuencias que van a ser demoduladas por el integrado, de la siguiente forma:

$$F_o =$$

Se calcula R_o que por especificaciones técnicas del fabricante se recomienda que este en un rango de $10K\Omega$ y $100K\Omega$, asumiendo una resistencia de $10K\Omega$, se calcula R_t :

$$R_T = 10 + \left(\frac{10}{2}\right) = 15K$$

Se calcula C_o :

Se calcula R_1 :

Se calcula C_1 :

Se calcula R_f :

$$R_1 \times 5$$

Se calcula R_b :

$$R_f \times 5$$

Se calcula R_{sum} :

$$R_{SUM} = \frac{(R_F + R_1) \cdot R_B}{(R_F + R_1 + R_B)}$$

Y por último se calcula Cf:

$$C_F = \frac{0.25}{(R_{SUM} \cdot \text{Baud Rate})}$$

Los resultados obtenidos según las ecuaciones descritas anteriormente fueron:

Demodulador1

Co = 800 pF

R1 = 40KΩ

C1 = 1nF

Rf = 200KΩ

Rb = 1MΩ

Rsum = 400KΩ

Cf = 100nF

Demodulador2

Co = 1nF

R1 = 100KΩ

C1 = 200pF

Rf = 500KΩ

Rb = 1.8M

Rsum = 330KΩ

Cf = 500nF

De esta forma los demoduladores son los encargados de entregar la codificación de los estados (ver tabla 3) al microcontrolador.

3.2.2.3 Acondicionamiento de la señal al computador.

Para realizar la comunicación con el computador se uso el puerto serial, el cual es de fácil manejo y está disponible en la mayoría de los computadores, para esto se implemento un microcontrolador y un max232.

- Microcontrolador

Para enviar la señal demodulada al computador se uso como interfaz un microcontrolador PIC16F628A la figura 31 muestra su diagrama de pines; este microcontrolador cuenta con el modulo USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter). El cual tiene las siguientes características:

- Síncrono o asíncrono
- Recibe y transmite
- Operación full duplex asíncrona

Bloques que forman la USART:

- Generador de la relación de baudios (BRG)
 - Genera el reloj de transmisión a partir del oscilador de la MCU
 - Determina la velocidad de transferencia
- Circuito de muestreo
 - Detección del nivel lógico en el terminal de RX
 - Sincronización del reloj
- Transmisor asíncrono
- Receptor asíncrono

Para configurar la USART como transmisión según las necesidades de la aplicación se usan los registros de control:

SPBRG: Generación del 'baud rate'

BRGH: bit en el registro TXSTA

SYNC: bit en TXSTA

TXSTA: Control y estado de transmisión

RCSTA: Control y estado de recepción

TXREG: Registro de transmisión de datos

PIR1: Registro de indicadores ('flags') de interrupción

PIE1: Registro de habilitación de interrupciones

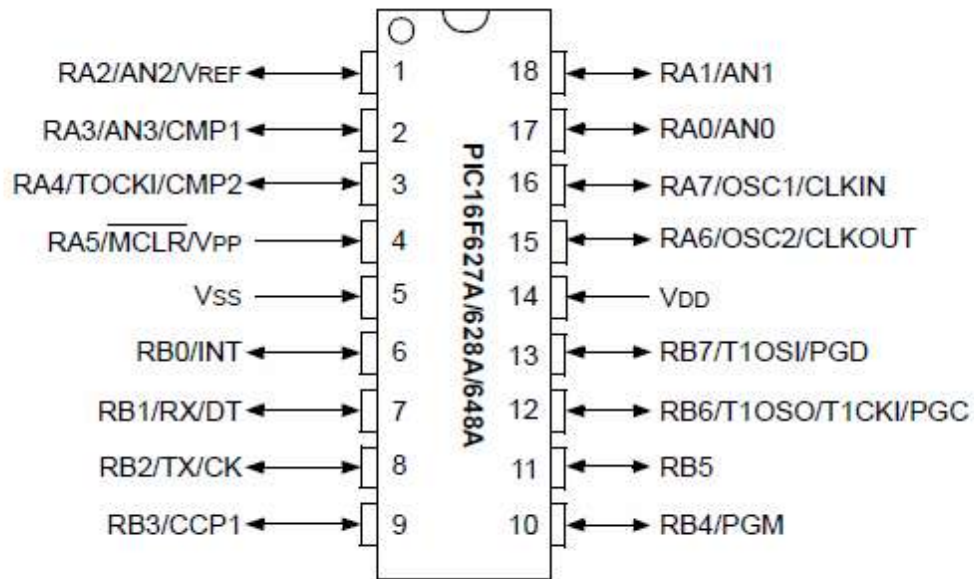
Mediante estos registros se establece la velocidad de transmisión, el tipo de comunicación ya sea síncrono o asíncrona, las banderas, número de bits de datos, el flujo de datos, etc. Es muy importante para realizar la comunicación establecer la velocidad de transmisión es decir la cantidad de información enviada por la línea de transmisión en la unidad de tiempo, esta se establece mediante el registro SPBRG medida en baudios, para esto se usa la formula:

$$\text{Valor SPBRG} = (\text{Fosc(Hz)}) / (\text{k} \times \text{Fbaudios}) - 1$$

La variable k establece la velocidad del microcontrolador si es alta o baja, k=64 para velocidad baja y k=16 para velocidad alta.

El microcontrolador PIC16F628A se encarga de recibir los datos de los demoduladores y dependiendo de estos envía como respuesta un Byte de información al computador para que Labview ejecute el programa de control.

Figura 31. Diagrama de pines del PIC16F628A.



Microcontrolador Pic16f628A Disponible en:

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/40044f.pdf> [19-10-2010]

19:30

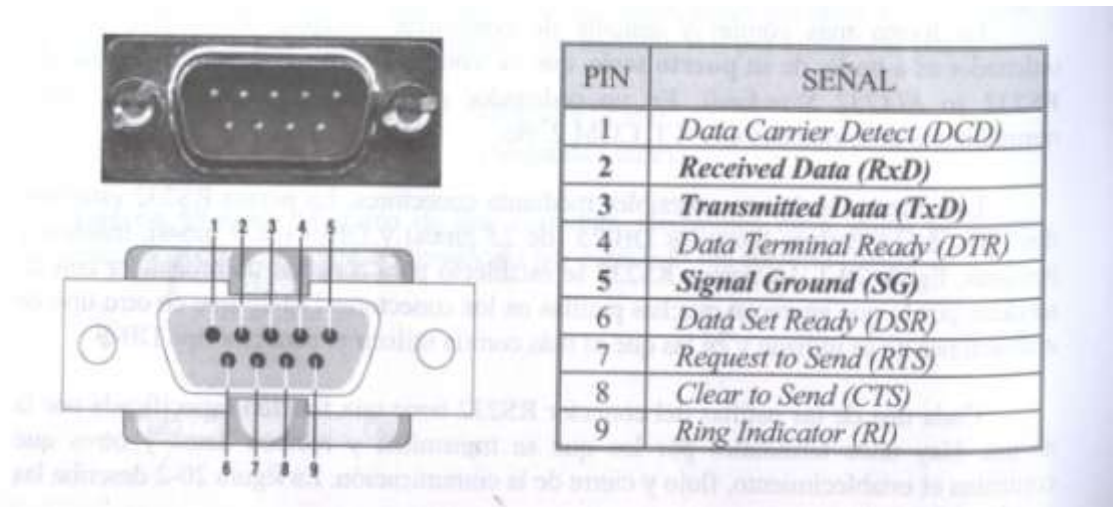
El programa del microcontrolador se puede observar en el anexo B.

- Max232

El puerto serial es compatible con el estándar RS232 o (EIA232 Standar). Esta norma establece dos tipos de conectores llamados DB-25 (de 25 pines) y DB-9 (de 9 pines), machos y hembras. En nuestro caso se uso un DB-9 que es el conector más común, y también por tener menor número de pines ya que la aplicación es muy sencilla.

Cada una de los pines del DB-9 tiene una función específica, hay terminales por los que se transmiten y reciben datos, otros que controlan el establecimiento, flujo y cierre de comunicación. En la figura 32 se ilustra la configuración del DB-9.

Figura 32. Configuración del conector DB-9.



Fuente. PALACIOS Enrique, REMIRO Fernando, LOPEZ Lucas, Microcontrolador pic16f84, Bogotá, Alfaomega, 2004, 622.

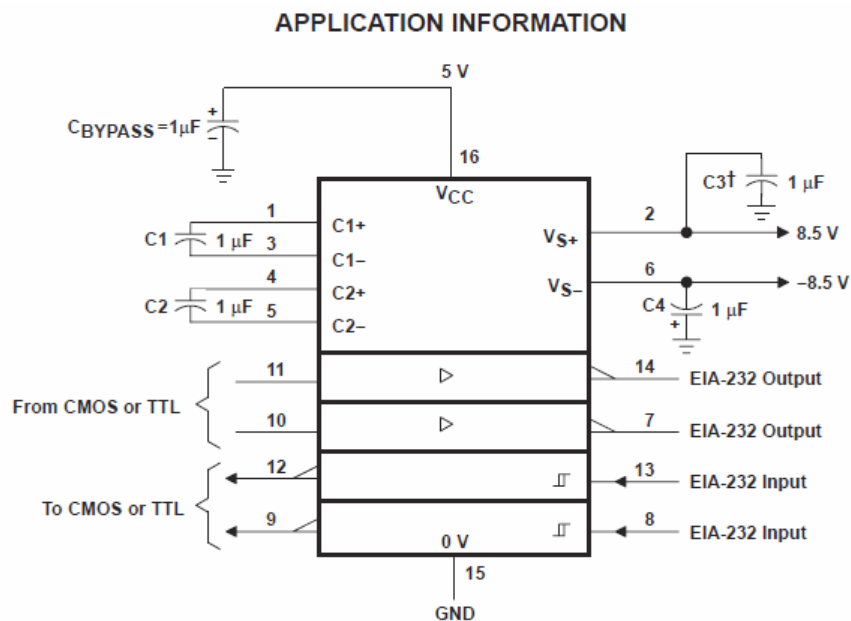
Para establecer una comunicación bidireccional con el computador solo se necesitan tres líneas:

- 4 Línea para transmitir al ordenador, pin2.
- 5 Línea para recibir datos del ordenador, pin3.
- 6 Tierra, pin5.

La norma RS232, establece una norma de lógica inversa, por lo cual se uso un MAX232 su configuración se observa en la figura 33, este integrado convierte los valores TTL en valores RS232, para los cuales un voltaje positivo en la conexión representa un "0", mientras que un voltaje negativo representa un "1". Para garantizar un "0" lógico una línea debe mantener un voltaje entre +3 y +15V, y para un "1" lógico se debe garantizar un voltaje entre -3 y -15V

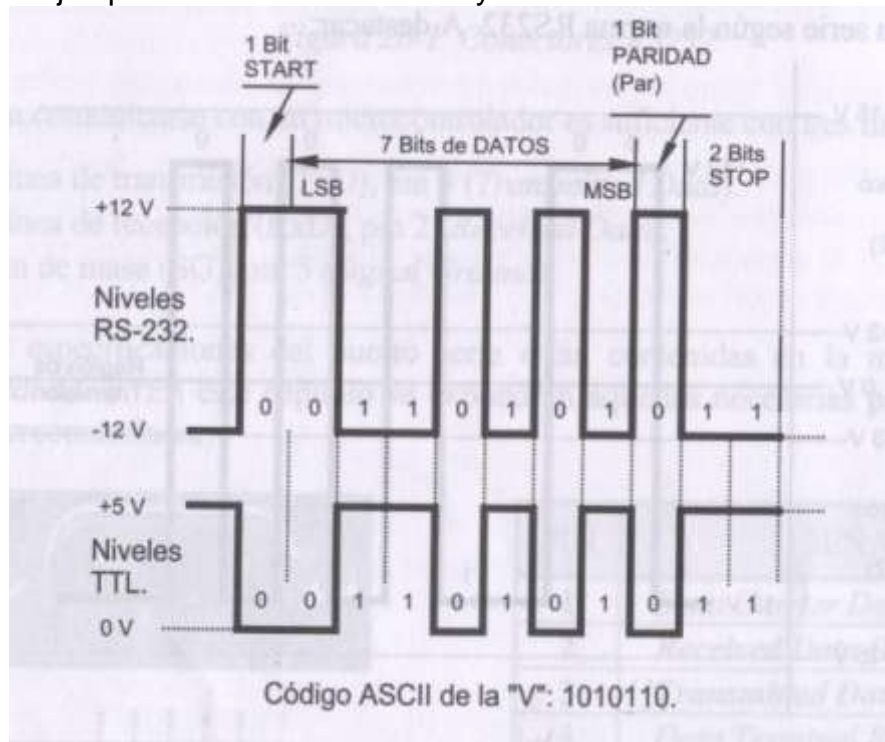
Ya que el microcontrolador arroja valores TTL es decir valores de voltaje entre 0 y 5V, se realizo un puente entre el microcontrolador y el computador con el MAX232. En la figura 34, se ilustra un ejemplo de un byte convertido de TTL a RS232.

Figura 33. Configuración del integrado MAX232.



Fuente. PALACIOS Enrique, REMIRO Fernando, LOPEZ Lucas, Microcontrolador pic16f84, Bogotá, Alfaomega, 2004, 622

Figura 34. Ejemplo de conversión de un byte en TTL a RS232.



Fuente. PALACIOS Enrique, REMIRO Fernando, LOPEZ Lucas, Microcontrolador pic16f84, Bogotá, Alfaomega, 2004, 622.

Hay que tener en cuenta que entre los valores RS232 existe una banda muerta entre -3V y +3V la cual se conoce como la región de transición donde los niveles lógicos no están definidos. Por lo cual cualquier valor entre este rango puede interpretarse ambiguamente como "0" o "1".

3.2.2.4 Control Proporcional

El control proporcional consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional de forma tal que el error en estado estacionario sea casi nulo, pero en la mayoría de los casos, estos valores solo serán óptimos en una determinada porción del rango total de control.

Los sistemas de control proporcional se caracterizan por tener una respuesta bastante instantánea.

La variable que se desea controlar en el prototipo es temperatura, al modificar el valor de esta variable no se observa de inmediato el efecto de dicho cambio sobre la respuesta dinámica del sistema, por ende el sistema empieza a responder al cambio realizado después de que haya transcurrido un cierto tiempo. Por lo cual el sistema está establecido como un sistema de primer orden con retardo.

La función de transferencia para este tipo de sistemas es de la siguiente forma:

$$G(s) = \frac{K}{s + \frac{1}{t} + \frac{L}{t}}$$

Donde

K Ganancia de estado estacionario: Expresa el cambio último en la variable de salida o respuesta del sistema para un determinado cambio pasó en la variable de entrada.

t Constante de tiempo: expresa el tiempo definido por la relación entre la capacidad que tiene el sistema de transportar a una variable con respecto a la rapidez de cambio.

L Tiempo de retardo del sistema.

De acuerdo a esto y basándose en los datos de la tabla 1, se establece:

Temperatura máxima obtenida de la planta 45°C, por lo cual K = 45
El 3% de la función se ubica en 36.8 seg, que en voltaje es de 149.3mV y en temperatura equivale a 14.9° C, entonces L = 36.8 seg.

El 63% de la función se ubica en 335.3mV, lo que equivale en temperatura a 33.5°C, en el tiempo 394.4 seg, resultando t = 394.4

De los datos obtenidos resulta la función de transferencia para la planta:

$$G(s) = \text{—————}$$

Para hallar la constante proporcional se uso el método de sintonización de Ziegler-Nichols.

El método de Ziegler-Nichols es un método experimental que propone dos formas, método de curvas y método de Routh-Hourwitz.

Del método de curvas se tiene la siguiente tabla.

Tabla 4. Formulas según el método de curvas de Ziegler-Nichols

Tipo	Kp	Ti	Td
P	t/L	inf	0
PI	0.9(t/L)	L/0.3	0
PID	1.2(t/L)	2L	0.5L

Mediante estas formulas nuestra constante proporcional resulta:

$$K_p = 394.4/36.8$$

$$K_p = 10.7$$

La respuesta del sistema resultaría de la siguiente forma:

$$U(t) = 10.7 e(t)$$

La respuesta del sistema de control proporcional con entrada impulso y escalón se observan en las figuras 35 y 36 respectivamente, así mismo en la figura 37 se observa la respuesta del sistema en lazo cerrado con retroalimentación positiva.

Figura 35. Respuesta del sistema con un impulso

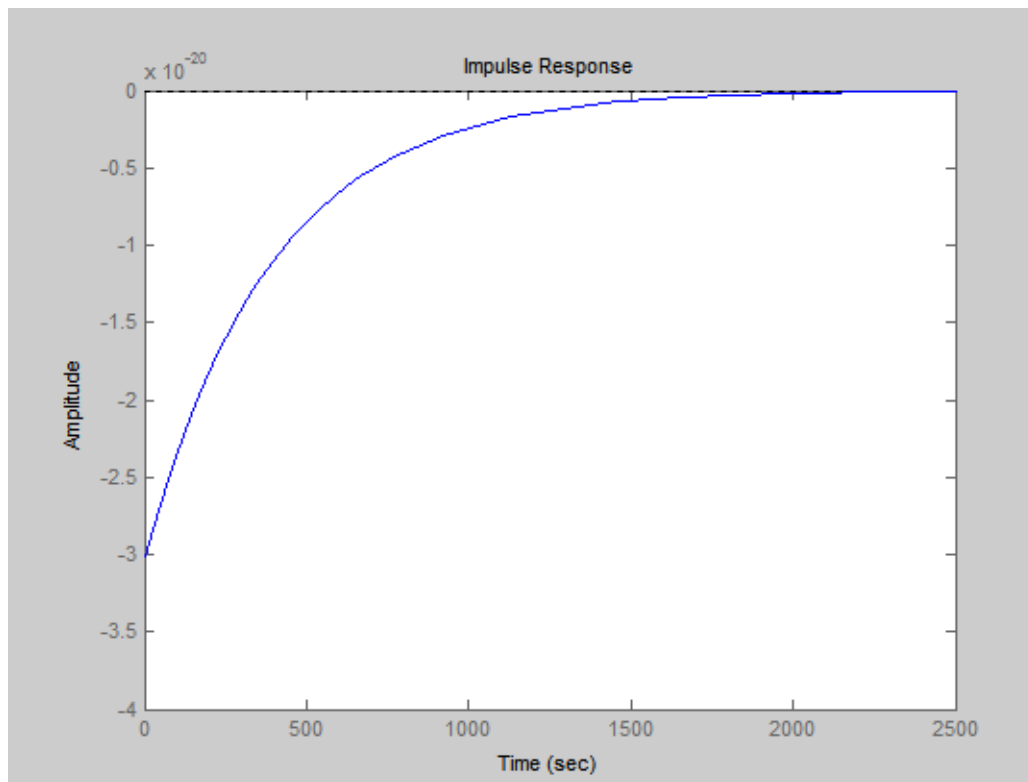


Figura 36. Respuesta del sistema con un escalón

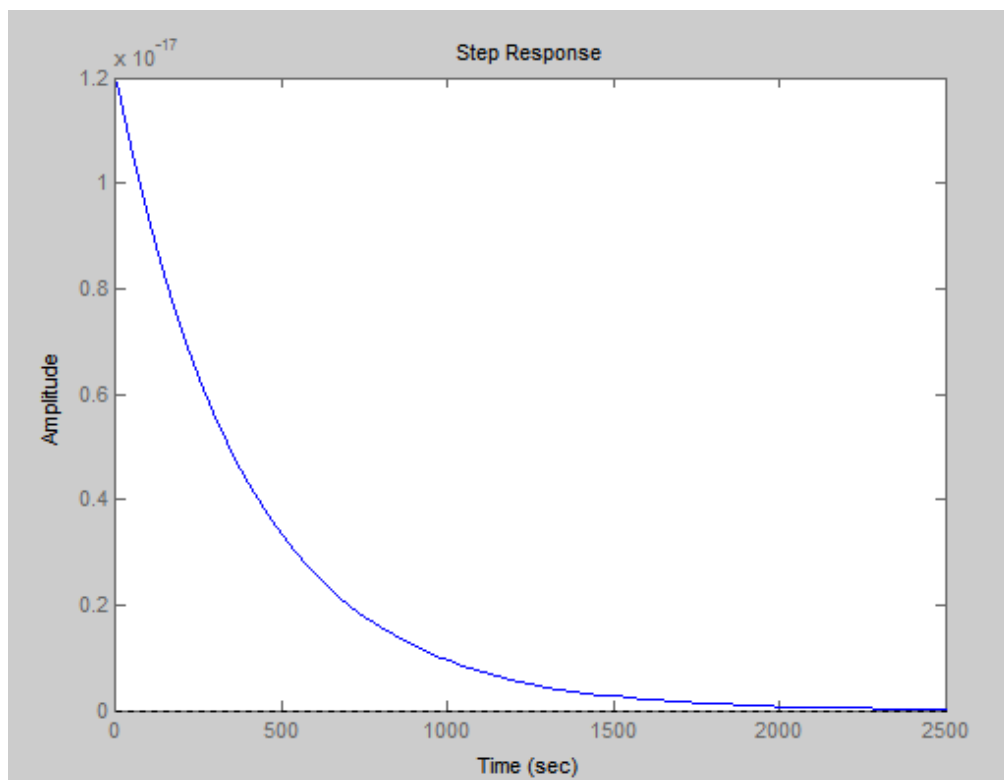
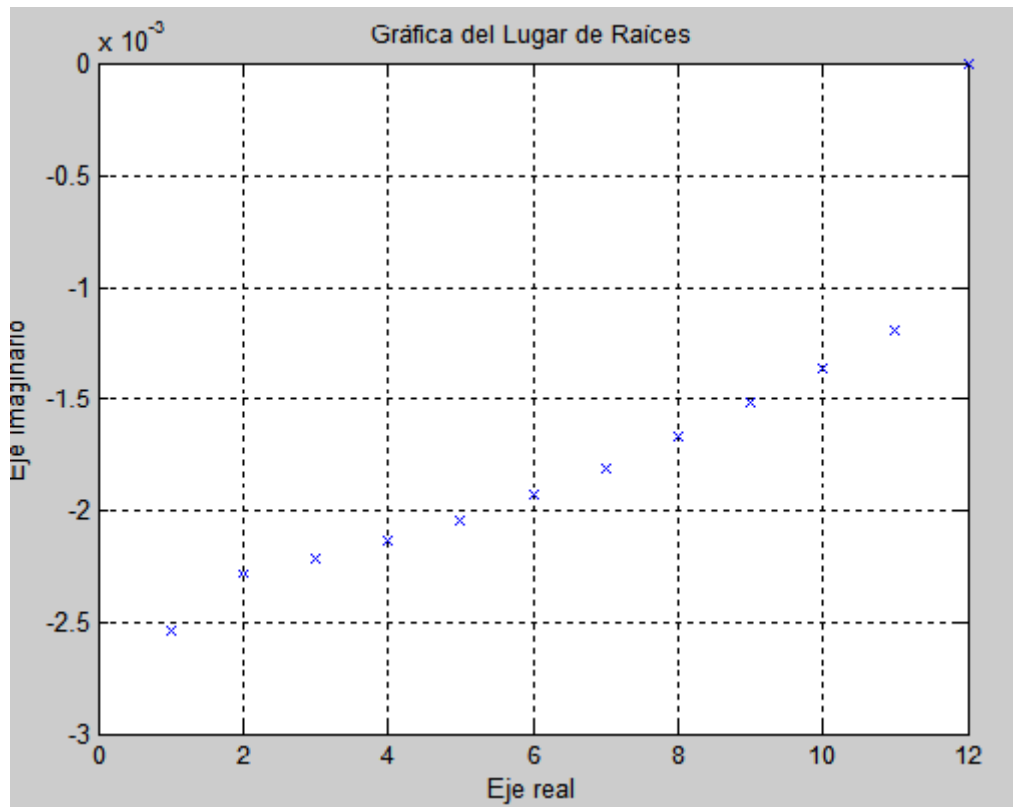


Figura 37.Lugar geométrico de las raíces



El lugar geométrico de las raíces ayuda a determinar la estabilidad del sistema y la forma de la respuesta del sistema, siendo r las raíces y K ganancias, de esta forma para nuestro sistema los valores correspondientes a r y k son:

```
>> [r,k]=rlocus(num,den)
```

$r =$

```
-0.0025
-0.0023
-0.0022
-0.0021
-0.0020
-0.0019
-0.0018
-0.0017
-0.0015
-0.0014
-0.0012
0
```

k =

1.0e+016 *

Columns 1 through 9

0	0.9344	1.2068	1.5586	2.0130	2.5999	3.3580	4.3370
5.6014							

Columns 10 through 12

7.2345	9.3437	Inf
--------	--------	-----

En la figura 37 se observan estos valores.

De esta forma se establecen los polos y ceros del sistema, determinando los valores de s para los cuales la función de transferencia es 0 (ceros) y los valores de s para los cuales la función de transferencia es infinita (polos).

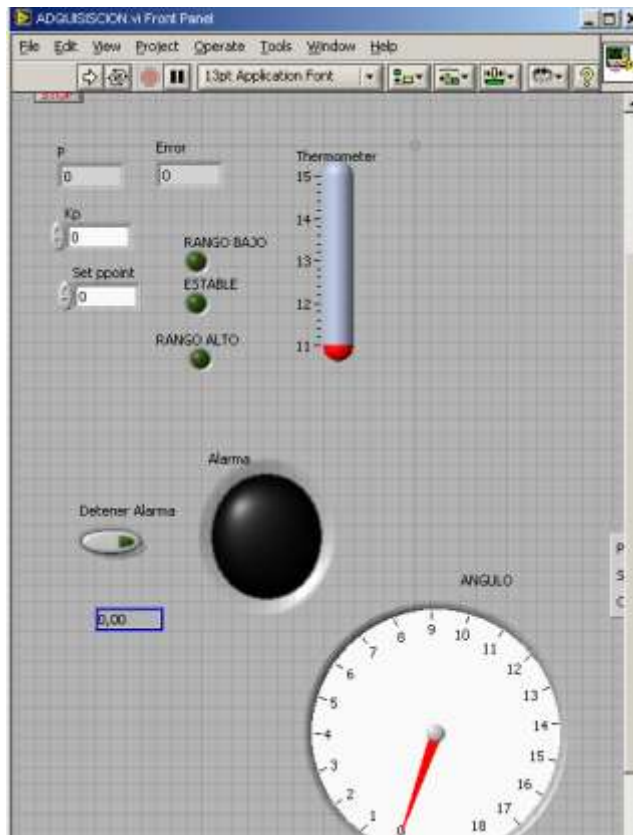
- Interfaz gráfica Labview

Labview es un software suministrado por la compañía National Instruments, el cual está orientado a la programación de instrumentos virtuales desarrollados en un entorno grafico.

- Entorno grafico

Cuando se habla de un entorno grafico se refiere tanto a una representación del panel frontal del instrumento virtual como de la programación en sí. Para visualizar los datos del instrumento se utilizo una serie de objetos como son leds, botones, pantallas y demás tipos de controles o visualizadores.

Figura 38. Entorno Grafico



Se creó un entorno gráfico en el cual se visualiza la variable temperatura mediante un termómetro, visualizando también si esta variable se encuentra en rango bajo, estable o rango alto y la variable alarma mediante un led. La alarma se desactiva manualmente, así cuando hay un intruso se enciende un led avisando y cuando se desee apagar, se usa el interruptor que se encuentra en el entorno grafico.

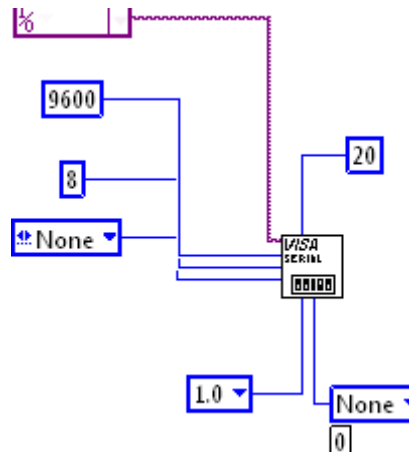
También se visualiza la respuesta del sistema del control proporcional ($U(t)$) y el error. Se uso un control numérico para introducir los valores de K_p y el set point.

- Adquisición de datos mediante Instrumento virtual

Este software debe poseer un hardware controlado por el ordenador, que le permita acceder a los datos externos y así poder modificarlos. Este hardware es el microcontrolador el cual permite realizar una adquisición de datos mediante el RS-232. Para así poder controlar los datos ingresados y poder generar una respuesta deseada.

Para tener acceso al puerto serial mediante Labview, se utiliza el instrumento VISA. Para establecer la configuración de la comunicación tipo serial se usa el instrumento "VISA configure serial port".

Figura 39. Paleta de Funciones de VISA



Con este instrumento se configura la entrada, es decir el puerto que se va a usar, el número de baudios, numero de bits, bits de paridad, control de flujo, errores y tiempo de activación del Visa Serial. Se establecieron 9600 baudios de velocidad, 9 bits de datos, cero bits de paridad, ningún control de flujo y 20 segundos de tiempo, este se observa en la figura 39.

Luego de inicializar el puerto serial se procede a realizar la lectura de datos, para esto se usa “Visa Read”, ilustrado en la figura 40, en el se configuran la entrada de datos, la cual es el visa configure serial port, la salida y el numero de bits que se van a leer.

Figura 40. Visa Read



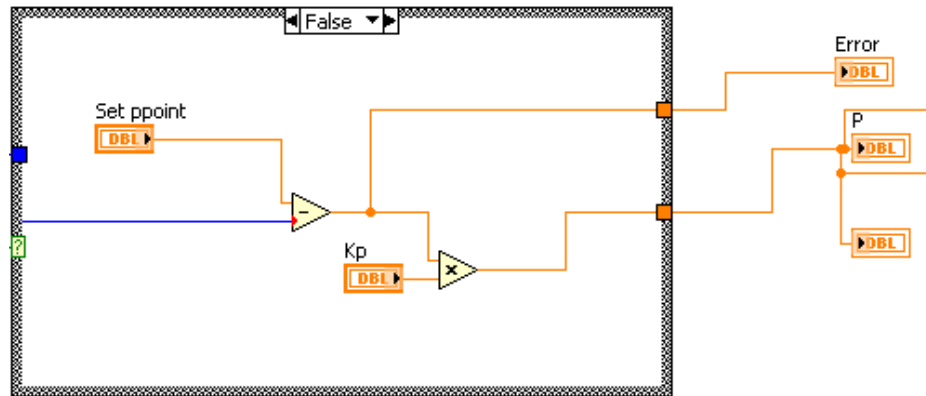
- Acción de control proporcional

Luego de adquirir los datos del microcontrolador mediante la herramienta Visa se uso un conversor de datos “Hexadecimal string to number”, debido a que los datos arrojados por el microcontrolador están en código ASCII.

Estos datos decimales son introducidos a un bucle (while loop) donde se realiza la acción proporcional continuamente (ver figura 41.). Para realizar la acción proporcional primero se halla el error restando el set point (establecido

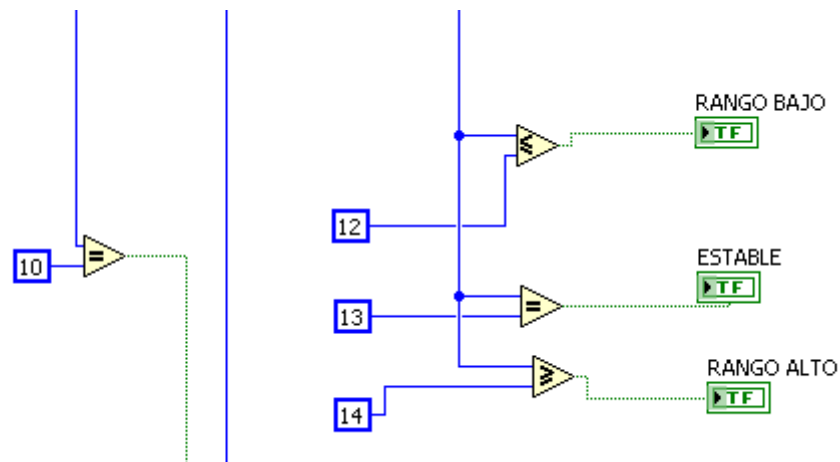
mediante control numérico) con el dato arrojado por el conversor de datos, de esta forma estableciendo el error se realiza la multiplicación entre este y la constante proporcional (K_p).

Figura 41. Acción proporcional por labview.



Para visualizar si la variable se encuentra en rango bajo, alto o estable se usaron comparadores, con los equivalentes en decimal para las temperaturas establecidas en estos rangos (ver figura 42.).

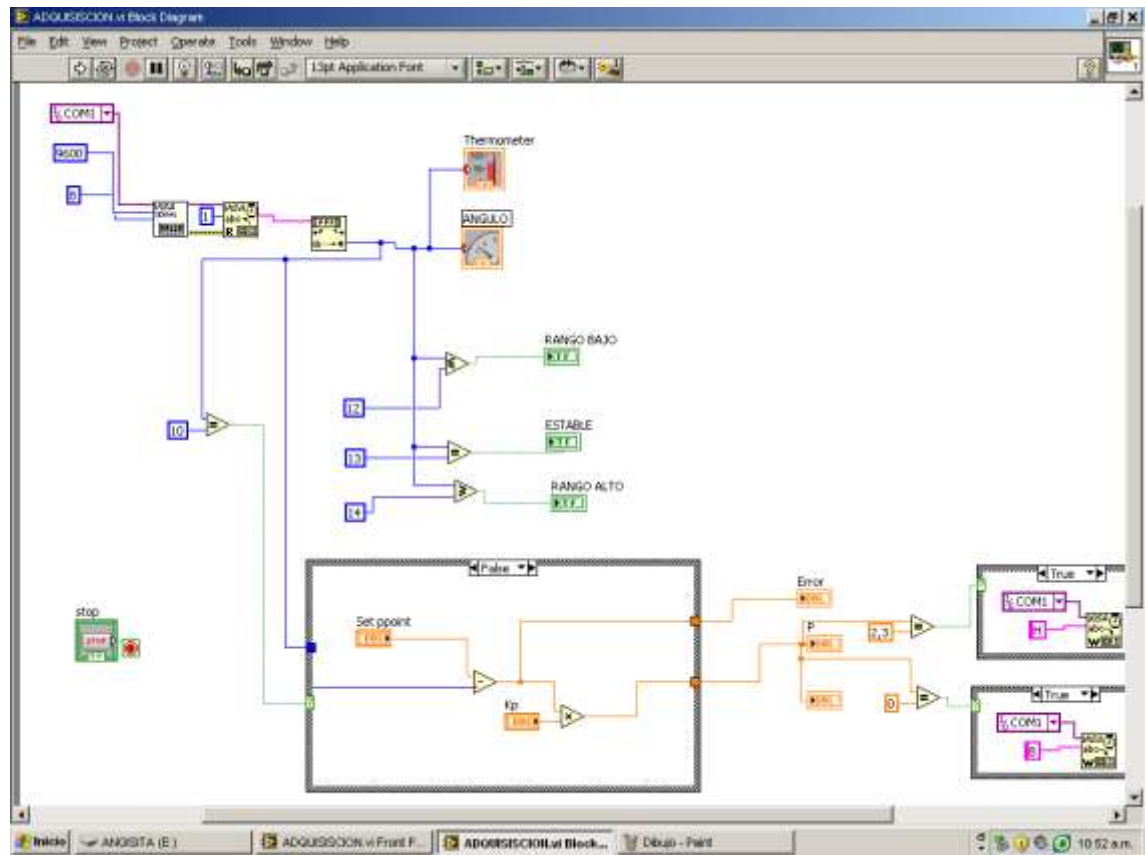
Figura 42. Comparadores por Labview.



De la misma forma para la variable de detección de intrusos, debido a que es un control on/off se uso un comparador con el equivalente en decimal de la señal de alarma.

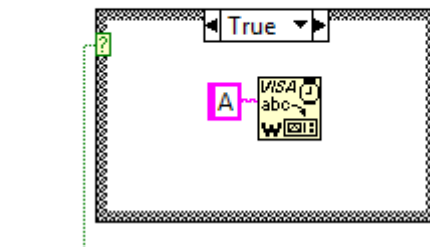
Todo el diagrama de bloques con la adquisición de datos, acción proporcional y acción on/off se observa en la figura 43.

Figura 43. Diagrama de bloques por Labview.



De acuerdo a la respuesta emitida por la acción proporcional se transmite una respuesta al microcontrolador, para esto es necesario usar el Visa Write (Figura 44), el cual se encarga de transferir datos del computador al microcontrolador por puerto serial.

Figura 44. Visa Write



En el Visa Write se establece la activación de la escritura y el dato a escribir. Así mismo con cada una de las respuestas del control proporcional.

Si se desea una escritura continua de datos es necesario usar la herramienta Case Structure, esta se encarga de validar la entrada como verdadera o falsa en los casos en que para verdadero escribe continuamente datos y para falso no escribe. De esta forma mientras la entrada sea verdadera va a haber una escritura continua de datos. En la figura 44 se puede observar este proceso.

3.2.3 Control de actuadores

Luego de enviar los datos sensados al computador para que Labview haga el proceso de control se realiza una etapa correspondiente al envío y recepción de la respuesta del sistema, en la cual se activa o desactiva el actuador correspondiente según la respuesta del sistema de control proporcional de Labview, las etapas implementadas para este propósito se explican a continuación:

3.2.3.1 Recepción de datos

Para adquirir los datos de respuesta de Labview emitidos por el computador se uso nuevamente el microcontrolador Pic16f628a, integrándose en un solo programa ilustrado en el Anexo B.

Se uso el modulo USART y específicamente el registro RCSTA para recepción de datos, activando los bits 4 y 7 SPEN (Serial Port Enable Bit) Y CREN (Continuous Receive Bits), se habilita la recepción de datos continua.

De la misma forma que en la transmisión es importante establecer la velocidad de transmisión, mediante el registro SPBRG.

- El microcontrolador se encarga también de activar el modulador y cambiar su frecuencia, realizando nuevamente la codificación para su respectivo actuador, dependiendo la respuesta que reciba del computador. Este proceso está incluido en el mismo programa de transmisión y recepción del Anexo B

3.2.3.2 Modulación FSK

Luego de recibir los datos del computador se realiza nuevamente una transmisión de datos para activar o desactivar según corresponda, los actuadores, esta etapa se implemento de la misma forma que la modulación de la etapa de transmisión (punto 3.2.1.3) a diferencia de las frecuencias las cuales fueron de 40Khz (figura 45) y 50Khz (figura 46), las frecuencias se cambiaron para evitar confusión entre las señales de transmisión y de recepción.

Las frecuencias se establecieron de la misma forma, mediante la fórmula:

$$F1=1/R1C$$

$$F2=1/R2C$$

De esta forma:

$$C = 100\text{nF}$$

$$R1 = 250\Omega$$

$$R2 = 200\Omega$$

La siguiente etapa de acople se implemento igual a la etapa explicada en el punto 3.2.1.4.

Figura 45. Señal de 40 KHz.

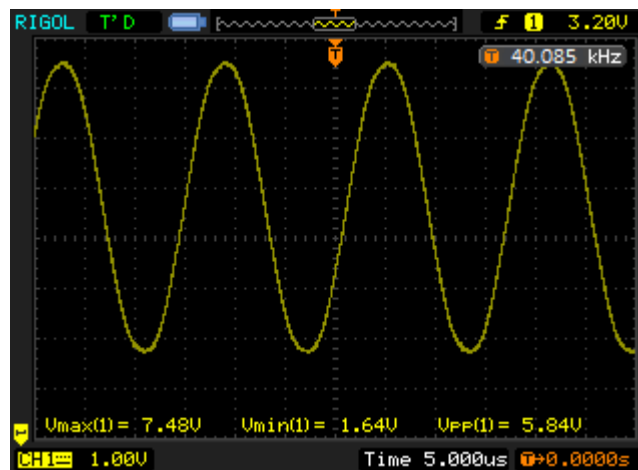
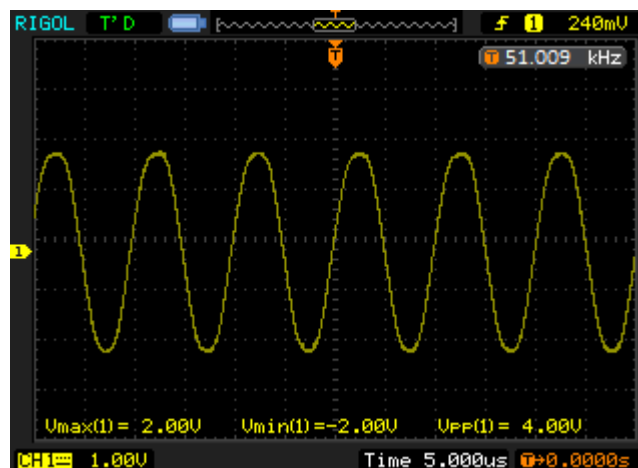


Figura 46. Señal de 50 KHz.



3.2.3.3 Filtro

En esta etapa se uso nuevamente el filtro pasa altas pasivo Butterworth de la misma forma que se explico en el punto 3.2.1.5, a diferencia de la frecuencia de corte del filtro, ya que esta se cambio debido a que las frecuencias de las señales a enviar (40Khz y 50Khz) son diferentes a las de la etapa de transmisión, los valores para este filtro se hallaron de la misma forma que en la etapa anterior de filtro, de lo cual resultado:

Figura 47. Instrumento de PCP Audio.

CÁLCULO DE UN FILTRO DE 3º ORDEN

Frecuencia Hercios	<input type="text" value="30000"/>	Impedancia del altavoz más agudo	<input type="text" value="6"/> Ohms	Impedancia del altavoz más grave	<input type="text" value="6"/> Ohms
Condensador C1	<input type="text" value="0.5894444"/> uF	Condensador C2	<input type="text" value="1.7683333"/> uF	Condensador C3	<input type="text" value="1.1788888"/> uF
Bobina L1	<input type="text" value="0.0238800"/> mH	Bobina L2	<input type="text" value="0.04774"/> mH	Bobina L3	<input type="text" value="0.01592"/> mH

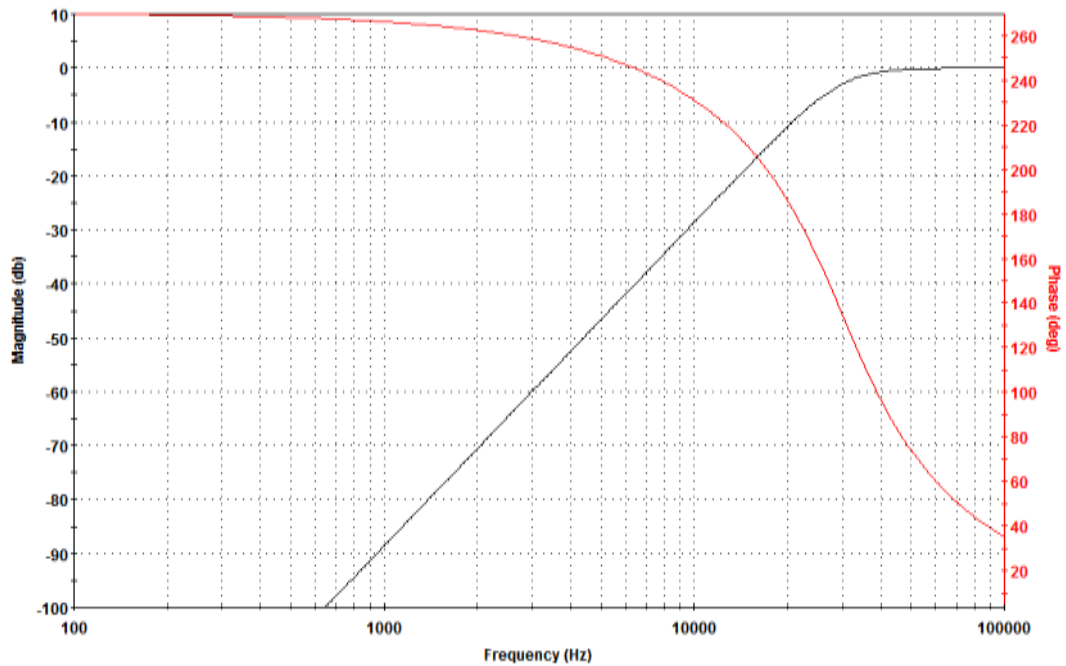
Filtros Disponible en:

http://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_altavoces/filtros_pasivos/filtrospasivos.html [28-11-2010] 15:03

Este filtro se implemento tanto en la transmisión de la señal como en la recepción.

La respuesta de este filtro se puede observar en la figura 48.

Figura 48. Respuesta del filtro Butterworth pasa altas.



3.2.3.4 Demodulación

Esta etapa se implemento igual a la etapa de demodulación anterior (punto 3.2.2.2), únicamente se hizo un cambio en las frecuencias de trabajo del demodulador las cuales se establecieron en 40Khz y 50Khz, como respuesta del sistema para el control de los actuadores.

Para esto se emplea la formula ya descrita:

$$C_o = \frac{1}{2\pi R_t f_c}$$

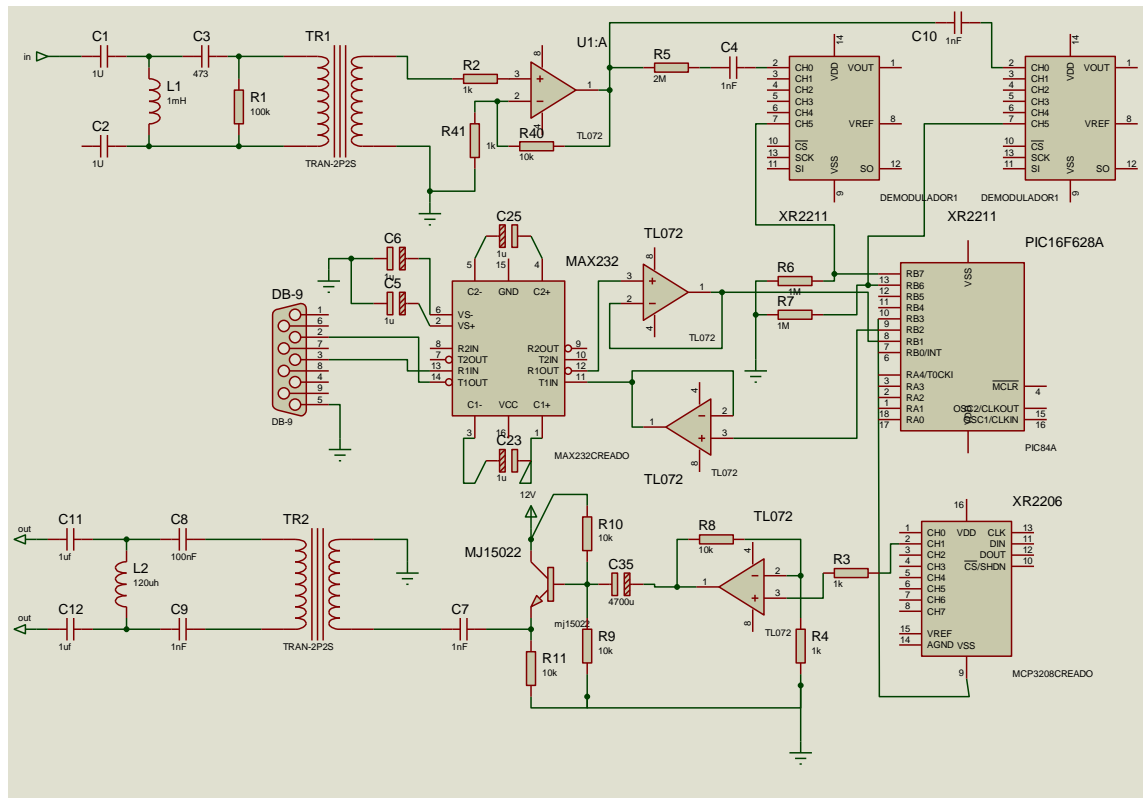
Así mediante C_o y R_t se establece la frecuencia de trabajo del demodulador, para las frecuencias establecidas se obtiene:

$$C_o = 1\text{nF}$$

$$R_t = 22\text{K}\Omega$$

- Esquema final de recepción.

Figura 49. Circuito de recepción



3.2.3.5 Actuadores

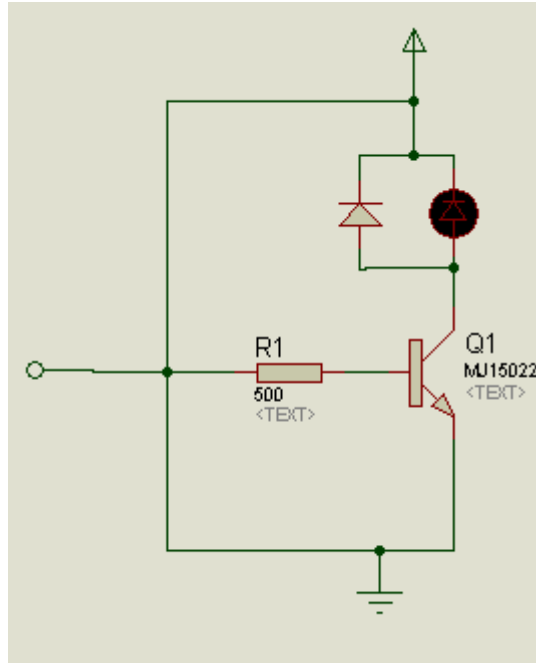
Los actuadores utilizados fueron un bombillo halógeno de 12 voltios a 20 watts y un ventilador de 12 voltios a 0.25 amperios, estos actuadores se encargan de subir y bajar la temperatura de acuerdo a lo que establezca el sistema de control, para esto es necesario realizar unas etapas previas para el manejo de los actuadores, en estas etapas se garantiza un mayor voltaje y una mayor corriente, puesto que las señales de respuesta del demodulador son muy bajas en voltaje y en corriente.

- Bombillo halógeno

Para manejar el bombillo halógeno se usó un transistor de potencia MJ15022 configurado en emisor común, ya que esta configuración tiene ganancia tanto en amplitud como en corriente, garantizando lo requerido por el bombillo (12V 1.6 A). Se usó un diodo en paralelo a la carga (bombillo) con el fin de evitar que

el transistor se queme, cuando haya una caída de corriente. Este esquema se ilustra en la figura 50.

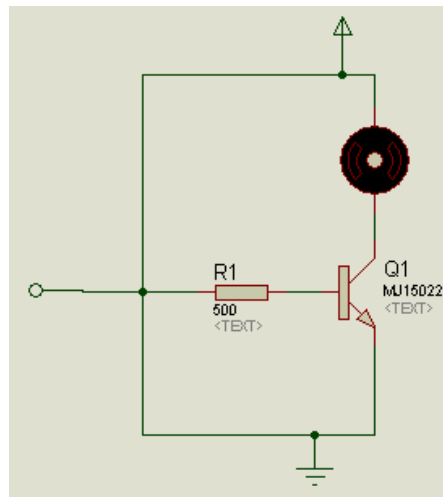
Figura 50. Esquema del bombillo halógeno



- Ventilador

Para manejar el ventilador se uso un transistor de potencia MJ15022, configurado como emisor común de la misma forma en que se uso el bombillo halógeno, a excepción del diodo, puesto que el ventilador no tiene una exigencia tan alta en corriente como lo hace el bombillo halógeno. El esquema se puede observar en la figura 51.

Figura 51. Esquema del ventilador.

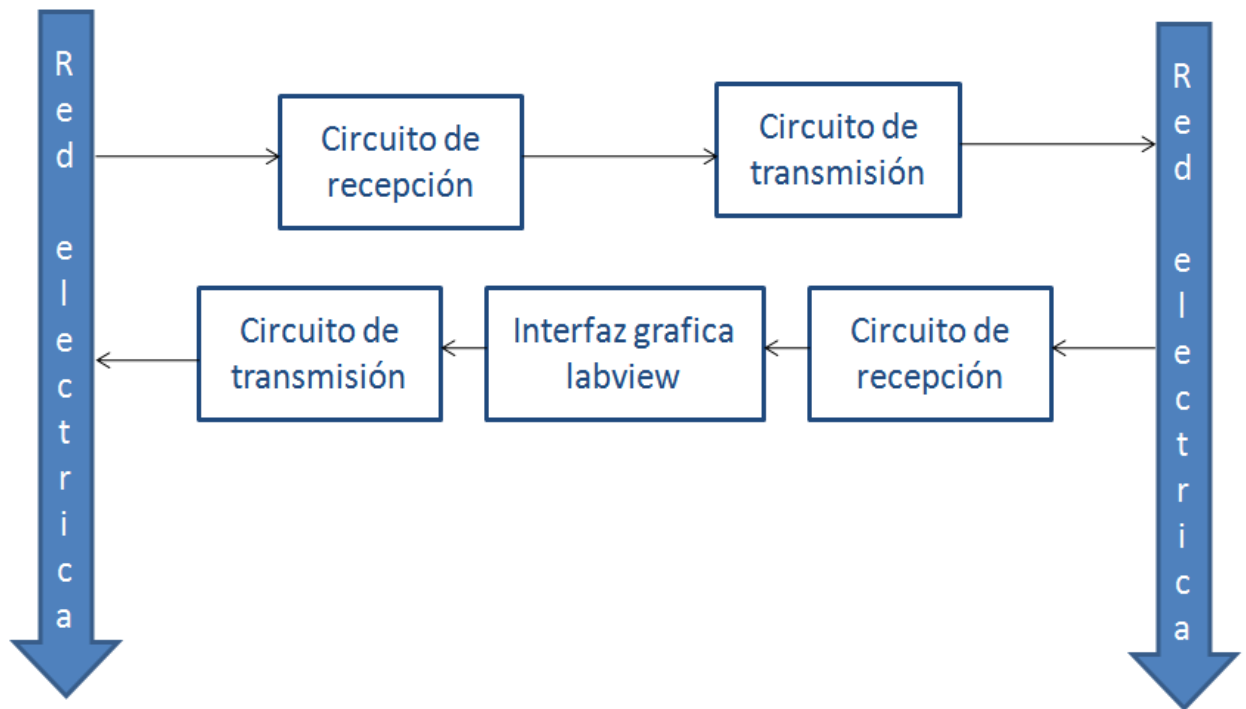


Se hizo una etapa previa de amplificación para garantizar la mayor ganancia en amplitud posible. Para esto se implemento un amplificador no inversor, con un amplificador operacional dual TL072, de igual forma que en el punto 3.2.1.4.

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

El prototipo que se desarrolló, tiene la capacidad de determinar estados límites de la variable de temperatura y de visualizar una señal de alerta de seguridad y a su vez acondicionar estas señales para ser enviadas por la red eléctrica de baja tensión y ser controladas por medio de un computador, el cual está encargado de recibir las señales y decidir qué acción ejecutar dependiendo del estado de la variable, para así emitir y acondicionar una señal que será enviada nuevamente por la red eléctrica, para activar y desactivar el correspondiente actuador.

Este proyecto se enfoco en la transmisión de la señal sensada, la recepción de esta y la implementación del control digital en lazo cerrado.



Tomando como referencia de arquitectura de sistemas de comunicación el modelo OSI, se establecieron:

- Capa física PLT

Según el estándar de modelo de referencia OSI en PLT se estableció conectividad del PCDC como se muestra a continuación:



En el prototipo se establecen etapas de adquisición de señales, codificación de datos, etapas de potencia, acople y desacople respectivamente de las señales para poder enviarlas por la red eléctrica, así como la etapa de interfaz PLT, que adapta la señal a las características propias de la red. Estas etapas se explican detalladamente en el desarrollo ingenieril.

- Capa de enlace:

Dentro de la capa de enlace se estableció la subcapa MAC, en el prototipo se realiza direccionamiento físico, control de acceso a la red eléctrica y control del flujo. Mediante Microcontroladores de forma maestro – esclavo, siendo el maestro el microcontrolador de la etapa de transmisión de la señal del sensor y el esclavo el microcontrolador de la etapa de recepción e interfaz al computador.

4.1 CIRCUITO DE TRANSMISIÓN

En esta etapa se adquieren los datos de los sensores mediante un Pic16f84a el cual recibe los datos del sensor y activa los moduladores, esto para asignar a cada valor del sensor una señal análoga con una frecuencia específica apta para poder ser transportada sobre la onda portadora de 60 Herz, después se realiza la etapa de acople.

4.1.1 Acople

Esta etapa es fundamental para la transmisión por la red eléctrica debido a que el mayor problema que se presenta es la reflexión de las señales por la baja impedancia de la red eléctrica que como se ha mencionado es aproximadamente 6 ohmios, esto con las demás características de la red eléctrica en cuanto a voltaje y corriente requieren que el circuito sea aislado y protegido del alto voltaje, corriente y frecuencia de la red eléctrica, y que su impedancia sea disminuida hasta que la iguale o se acerque a la impedancia característica de la red para garantizar una máxima transferencia de potencia

de la señal y que no hayan reflexiones, las cuales son causadas por tener una impedancia de circuito muy distante a la impedancia de salida.

Para garantizar esto es necesario recurrir a varias etapas que proporcionen ganancia en voltaje, corriente y un transformador que ayude a acoplar impedancias con una etapa de filtro.

- Línea de transmisión

Durante el desarrollo del prototipo se observó que la red eléctrica tiene un rango de aproximadamente 100 KHz – 300 KHz, en el cual existe mucho ruido y muchos armónicos por lo cual se hace más complicado realizar una transmisión con señales de esas frecuencias, puesto que puede presentarse superposición e interferencia entre la señal a transmitir y los armónicos y ruido presentes en la red.

Por esta razón las frecuencias usadas en este proyecto están por debajo de los 100 KHz.

4.2 CIRCUITO DE RECEPCION

Este circuito se encarga de recibir los datos, demodularlos y acondicionarlos para ser entregados a labview.

4.2.1 Etapa de filtro

Este filtro es mucho más importante que el filtro de transmisión debido a que este debe garantizar no solo que la señal de la red sea eliminada sino que también pueda recuperar y limpiar la señal transmitida disminuyendo el ruido y las posibles perturbaciones de la señal.

4.2.2 Demodulación FSK

Para evitar posibles daños en el circuito debido al voltaje y la corriente del filtro y del transformador se implementó una etapa para brindar protección a los demoduladores con un seguidor- emisor, así los requerimientos de voltaje y corriente los suple el seguidor – emisor.

El demodulador cumple a cabalidad con la función de recibir las señales transmitidas con las frecuencias establecidas y responder con un nivel lógico “0” o “1” dependiendo de la señal.

4.2.3 Transmisión de datos al computador

Después de demodular sigue una etapa muy importante en el prototipo la cual es el enlace entre el circuito y el computador, para esto el microcontrolador pic16f628a por medio del registro USART permite la transmisión de tramas de datos continuos, estos datos se pudieron enviar al computador mediante el MAX232 que es compatible con el estándar RS232, cambiando los valores TTL (valores arrojados por el microcontrolador) a valores RS232 con lógica inversa y voltajes de +12v y -12v.

Un aspecto importante en esta etapa de transmisión hacia el computador, es la velocidad de transmisión y el establecimiento de número de bits de datos, los cuales deben establecerse tanto en el microcontrolador como en el computador, puesto que si estos dos no tienen establecida la misma velocidad, no se realizara la comunicación.

4.2.4 Interfaz Labview

Mediante esta herramienta operativa se pudo realizar el control en lazo cerrado exitosamente. Las aplicaciones de labview son muy variadas, combinan la flexibilidad de un lenguaje de programación un entorno grafico de fácil manejo y herramientas avanzadas de ingeniería.

Mediante la herramienta visa de labview, se estableció la comunicación serial al microcontrolador, un aspecto a tener en cuenta en este tema es la importancia de habilitar los puertos seriales, al iniciar y finalizar el programa y a su vez es importante generar un bucle para el visa read y visa write, puesto que el programa solo adquiere un dato una sola vez, para poder realizar la transmisión y recepción continua de datos es necesario crear dicho bucle.

Es necesario el envío continuo de datos del microcontrolador a labview, puesto que labview por defecto genera un error cuando pregunta por el puerto serial y este no encuentra datos, bloqueando el programa.

4.2.5 Activación de actuadores

Las señales que son emitidas por labview después de ejecutar el control, son enviadas nuevamente por la red eléctrica, aplicando el mismo sistema de transmisión implementado con la diferencia de que en esta etapa se envían frecuencias distintas a las establecidas para los valores del sensor, esto para evitar que haya superposición de señales o que el prototipo cree conflicto con las señales de envío y de respuesta.

5. CONCLUSIONES

- PLT es una buena opción como medio de comunicación debido a que es un recurso que está al alcance de la mayoría de personas y es de bajo costo, por otro lado sus desventajas radican en las características de impedancia y la gran cantidad de ruido y armónicos presentes en estos aspectos que hacen que la señal modulada sufra bastantes pérdidas.
- Existe una limitación frente a las frecuencias que se escojan a la hora de transmitir, puesto que la red eléctrica presenta una zona conflictiva de 100 a 300KHz, y al escoger frecuencias muy altas se reducen las opciones en dispositivos electrónicos que trabajen a altas frecuencias y son de mayor costo.
- Si no se implementa un filtro y una etapa de protección, la red eléctrica puede dañar totalmente el circuito, infiltrándose la señal de 60 Herz y el voltaje y la corriente implícitas en la red eléctrica.
- Hay que tener en cuenta la gran pérdida de propagación de la señal debido al canal de transmisión, estas pérdidas no se pueden evitar ya que son pérdidas propias de la red eléctrica.
- Mediante la tecnología PLT se pueden implementar nuevas aplicaciones en el área de las comunicaciones.
- Labview se presenta como una buena herramienta para crear comunicaciones entre circuitos y computadores, así como para realizar sistemas de control.
- En este proyecto se realizó una comunicación tipo half- dúplex, sin embargo PLT brinda la posibilidad de realizar una comunicación full dúplex. Esto ampliaría las ventajas de la domótica debido a que serían más las variables que se podrían controlar simultáneamente.

6. RECOMENDACIONES

- Es necesario tener en cuenta que si hay muchos equipos de potencia conectados a la red la señal enviada sufre grandes modificaciones tanto en frecuencia, amplitud y fase.
- Es importante considerar las frecuencias de trabajo y a su vez el voltaje garantizado a esta, ya que puede ocasionar interferencias serias con otros equipos electrónicos también de comunicaciones.
- Para poder realizar un buen sistema de comunicación en modo Full-Duplex es indispensable realizar una etapa de filtros con una frecuencia de bandas pasantes muy estrechas de forma que elimine la superposición de las señales de transmisión y recepción que se presenta en la red eléctrica.
- Es necesario manejar un rango de frecuencias considerablemente distante, esto debido a que en ambas partes de la comunicación hay etapa de transmisión y recepción y al enviar y recibir simultáneamente la señal, en la recepción va a predominar en potencia y amplitud la señal que está siendo emitida en esa misma parte y si las frecuencias son muy cercanas los filtros no podrán discriminar la frecuencia requerida.

BIBLIOGRAFÍA

PALACIOS Enrique, REMIRO Fernando, LOPEZ Lucas, Microcontrolador pic16f84, Bogotá, Alfaomega, 2004, 622.

PALLÁS ramón, Sensores y acondicionadores de señal, Guadalajara, Marcombo, 2000, 520

SANCHIS Enrique, Sistemas electrónicos digitales fundamentos y diseño de aplicaciones, Valencia, Poligon, 2002, 510

HENDRIK, Ferreira, Power line communications: theory and applications for narrowband and broadband communications over power lines, Reino Unido, John Wiley & Sons, 2010, 536.

R. Muhamed, "Electrónica de Potencia", 2 ed. México, Ed. Prentice Hall.(1993).

L. Javier, "Sistemas de control para viviendas y edificios", 1 ed. , Ed. Mc Graw-Hill. (1998).

PACKMANN Emilio M, Mediciones electricas, 2º Hispano Americana SA. 1998, 350

DIAZ Carlos Sánchez, CHILET Salvador Segui, Fundamentos básicos de la electrónica de potencia, Valencia, Upv, 2002, 325.

HRASNICA Halid, HAIDINE Adbelfatteh, Broadband powerline communications, Chichester, Wiley, 2004, 283.

CARCELLE Xavier, Power Line Communications in practice, Paris, Eyrolles, 2006, 329.

RAS Enrique, Transformadores de potencia, de medida y de protección, Barcelona, Marcombo S.A., 1994, 237.

KUO Benjamin, Sistemas de control automatico, Naucalpan de juarez, Prentice-Hall hispanoamerica S.A., 1996, 873

NASHELSKY Boylestad, Electronica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos, Naucalpan de Juarez, Prentice Hall, 2003, 1021.

ULLOA Raúl, Filtros (Aproximación y síntesis), Lomas de Santa Fe, Universidad Iberoamericana, 2005, 221.

FAUNDEZ Marcos, Sistemas de comunicaciones, Barcelona, Marcombo S.A., 2001, 331.

TOMASI, Sistemas de comunicaciones electrónicas, Naucalpan de Juarez, Prentice Hall, 2003, 951.

COUGHLIN Robert, Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales, Naucalpan de Juarez, Prentice Hall, 1999, 523.

BALCELLS Josep, Interferencias electromagnéticas en sistemas electrónicos, Barcelona, Marcombo S.A., 1992, 594.

Introducción a las comunicaciones a través de la red eléctrica. Disponible en: <http://es.kioskea.net/contents/cpl/cpl-intro.php3>, [19/12/10] 15:34

¿Qué es el PLC? Disponible en: <http://www.ure.es/plcure/modules.php?name=enlacesplc&file=opcion1>, [19/12/10], 15:45

Domotica, Sistemas de control. Disponible en: <http://personal.redestb.es/jorgecd/domotica.html>, [20/12/10] 09:16

Adaptación de impedancias. Disponible en: <http://www.scribd.com/doc/19626704/Cap11Adaptaciondeimpedancias2008>, [20/12/10], 10:04

Fuentes de alimentación de alta potencia. Disponible en: http://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_amplificadores/Fuentes/Fuentes.html, [20/12/10], 10:20

Sistema de transmisión PLC. Disponible en: <http://www.angelfire.com/nc2/misdocumentos/trampas/TrampasdeOnda.html>, [20/12/10], 11:15

Tecnologías PLC. Disponible: <http://es.kioskea.net/contents/cpl/cpl-technologie.php3>, [20/12/10], 15:45

ANEXO A

(PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR QUE REALIZA LA
CODIFICACION)

#INCLUDE<P16F84A.INC>

CON1 EQU 0X20 ; definición de variables

CON2 EQU 0X21

BSF STATUS,5 ; banco 1 para programar puertos

BCF STATUS,6

BSF PORTB,0 ; definicion de puertos de entrada y salida

BSF PORTB,1

BSF PORTB,2

BCF PORTB,3

BCF PORTB,4

BCF PORTB,5

BCF PORTB,6

BCF STATUS,5 ; banco 1

BCF STATUS,6

INICIO

BCF PORTB,3

BCF PORTB,4

BCF PORTB,5

BCF PORTB,6

TEMPERATURA

BTFSS PORTB,0 ; pregunta si hay uno en el puerto b0

GOTO TEMPERATURA1 ; no hay uno va a otra subrutina

GOTO ESTADOALTO ; si hay uno va a otra subrutina

GOTO INICIO

TEMPERATURA1

BTFSS PORTB,1 ; pregunta si hay uno en el puerto b1

GOTO ALARMA ; no hay uno va a otra subrutina

GOTO ESTADODBAJO ; si hay uno va a otra subrutina

GOTO INICIO

ALARMA

BTFSS PORTB,2	; pregunta si hay uno en el puerto b2
GOTO INICIO	; no vuelve a inicio
BSF PORTB,5	;si arroja un uno lógico por los puertos b5 y b6
BSF PORTB,6	
CALL TIEMPO	; espera un tiempo

GOTO INICIO

ESTADOALTO

BSF PORTB,3	; arroja un uno lógico por los puertos b3 y b4
BSF PORTB,4	
CALL TIEMPO	; espera un tiempo
GOTO INICIO	

ESTADOBAJO

BSF PORTB,4	; arroja un uno lógico por el puerto b4
CALL TIEMPO	; espera un tiempo

GOTO INICIO

TIEMPO			; bucles de tiempo
	MOVLW	0X66	
	MOVWF	CON1	
N1			
	MOVLW	0X88	
	MOVWF	CON2	
N2			
	DECFSZ	CON2,1	
	GOTON2		
	DECFSZ	CON1,1	
	GOTON1		
	RETURN		

END

ANEXO B

(PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR QUE REALIZA LA TRANSMISION
Y RECEPCION DE DATOS DEL COMPUTADOR)

```
#INCLUDE<P16F628A.INC>
```

```
;  
;  
;
```

```
CONT1          EQU 0X20      ; definicion de variables  
CONT2          EQU 0X21  
DATO           EQU 0X23  
CONT3          EQU 0X24  
CONT4          EQU 0X25  
CONT5          EQU 0X26  
CONTADORBITS   EQU 0X27  
DATORECIBIDO   EQU 0X28  
CONT6          EQU 0X29  
CONT7          EQU 0X30
```

PUERTOS

```
BSF            STATUS,5      ; banco 1.  
MOVLW          B'11110011'   ; definición de puertos de I/O  
MOVWF          TRISB  
BCF            PORTA,0  
BCF            PORTA,1  
BCF            PORTA,2  
BCF            PORTA,3  
BCF            PORTA,4  
BCF            STATUS,5      ; banco 0.
```

TRANSMISION

```
BCF            PORTA,0        ; envía un cero lógico a los puertos A0, A2 y A3  
BCF            PORTA,2  
BCF            PORTA,3  
CALL           CONFIGURA_TX ;llama la subrutina que configura la transmision
```

PROGRAMA

```
CALL           LED            ; llama la subrutina para encender un led  
BTFSS          PORTB,0        ; pregunta si hay uno en el puerto b0  
GOTO           PROGRAMA1      ; no hay uno va a otra subrutina  
GOTO           ENVIA          ; si hay uno va a enviar el dato
```

PROGRAMA1

```
CALL           LED  
BTFSS          PORTB,5  
GOTO           PROGRAMA2  
GOTO           ENVIA1
```

PROGRAMA2

```
CALL           LED  
BTFSS          PORTB,6  
GOTO           ENVIA2  
GOTO           ENVIA3
```

```

.....
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,
ENVIA
    MOVLW        .1                      ; SOLO 1
    MOVWF        CONT3

OTRO
    MOVLW        A'A'                    ; carga A en ASCII
    MOVWF        DATO
    CALL         TRANSMITIR              ; llama subrutina para transmitir
    DECFSZ       CONT3,1; decrementa y pregunta si ya es 0
    GOTO         OTRO; no es cero entonces sigue decrementando
    GOTO         RECEPCION

ENVIA1
    MOVLW        .1                      ; solo 1
    MOVWF        CONT3

OTRO1
    MOVLW        A'B'
    MOVWF        DATO
    CALL         TRANSMITIR
    DECFSZ       CONT3,1
    GOTO         OTRO1
    GOTO         RECEPCION

ENVIA2
    MOVLW        .1                      ; solo 1
    MOVWF        CONT3

OTRO2
    MOVLW        A'C'
    MOVWF        DATO
    CALL         TRANSMITIR
    DECFSZ       CONT3,1
    GOTO         OTRO2
    GOTO         RECEPCION

ENVIA3
    MOVLW        .1                      ; solo 1
    MOVWF        CONT3

OTRO3
    MOVLW        A'D'
    MOVWF        DATO
    CALL         TRANSMITIR
    DECFSZ       CONT3,1
    GOTO         OTRO3
    GOTO         TRANSMISION

```

```

.....
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

```

LED

```
BSF          PORTB,3
CALL         TIEMPO
BCF          PORTB,3
CALL         TIEMPO
RETURN
```

TIEMPO

```
1.      MOVLW    0XC9          ; C9 Valor con que se carga el contador
      MOVWF     CONT1
NIVEL   MOVLW    0XEA          ; EA Valor con que se carga el
contador 2.      MOVWF     CONT2
NIVEL28 DECFSZ    CONT2,1      ; Se resta en 1 el contador 2 y se
pregunta si es cero.      GOTONIVEL28          ; Aun el contador 2 no es cero.
      DECFSZ    CONT1,1      ; Se resta en 1 el contador 1 y se
pregunta si es cero.      GOTONIVEL          ; Aun el contador 1 no es cero.
      RETURN          ; Retorna de la subrutina.
```

LED2

```
BSF          PORTA,1
CALL         TIEMPO
BCF          PORTA,1
CALL         TIEMPO
RETURN
```

TIEMPO1

```
      MOVLW    0X05          ; FE Valor con que se carga el contador 1.
      MOVWF     CONT7
```

TIEMPOX

```
      MOVLW    0XFF          ; FE Valor con que se carga el contador 1.
      MOVWF     CONT4
```

NIVEL11

```
      MOVLW    0XFF          ; FE Valor con que se carga el contador
```

2.

```
      MOVWF     CONT5
```

NIVEL13

RECEPCION

CALL LED2

RECIBIR

CALL CONFIGURA_RX
GOTO RX

CONFIGURA_RX

```
BSF STATUS,5 ; Banco 1
BCF STATUS,6
MOVLW 0X04 ; Configuración USART
MOVWF TXSTA ; y activación de transmisión
MOVLW .25 ; 9600 baudios
MOVWF SPBRG
BCF STATUS,5 ; Banco 0

BSF RCSTA,7 ;se activa la USART
MOVLW 0X90 ; configuracion de la usart
MOVWF RCSTA ; para recepcion continua
```

RETURN

.....
))))))))))))))))))))))))

.....
))))))))))))))))))))))))
RX

```
MOVFRREG,0 ; Se lee el dato recibido
MOVWF DATORECIBIDO ;se almacena en la variable
```

DATOS

```
MOVLW A'G' ; mueve G a w
SUBWF DATORECIBIDO,0 ;se resta f con w
BTFSS STATUS,2 ;pregunta el resultado de la resta (si es uno)
GOTO DATOS2 ; no va a otra subrutina
BSF PORTA,2 ; si arroja un uno lógico por el puerto A2
CALL TIEMPO1 ; espera un tiempo
CALL TIEMPO1
BCF PORTA,2
GOTO TRANSMISION ; vuelve al inicio del programa
```

DATOS2

```
MOVLW A'H'  
SUBWF DATORECIBIDO,0  
BTFSS STATUS,2  
GOTO DATOS3  
BSF  PORTA,3  
CALL TIEMPO1  
CALL TIEMPO1  
BCF      PORTA,3  
GOTO TRANSMISION
```

DATOS3

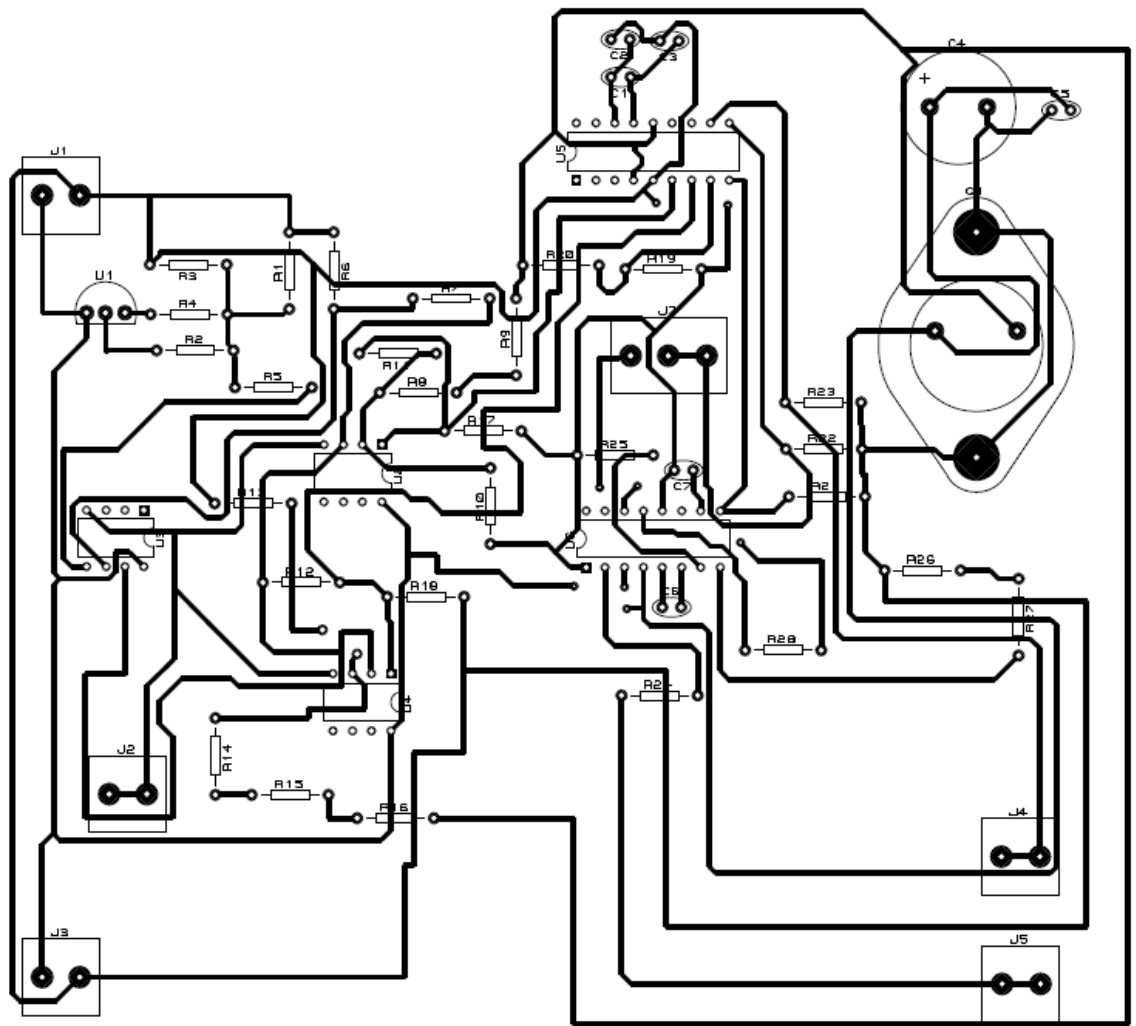
```
MOVLW A'I'  
SUBWF DATORECIBIDO,0  
BTFSS STATUS,2  
GOTO TRANSMISION  
BSF  PORTA,0  
CALL TIEMPO1  
CALL TIEMPO1  
BCF  PORTA,0  
GOTO TRANSMISION
```

END

; Final del programa.

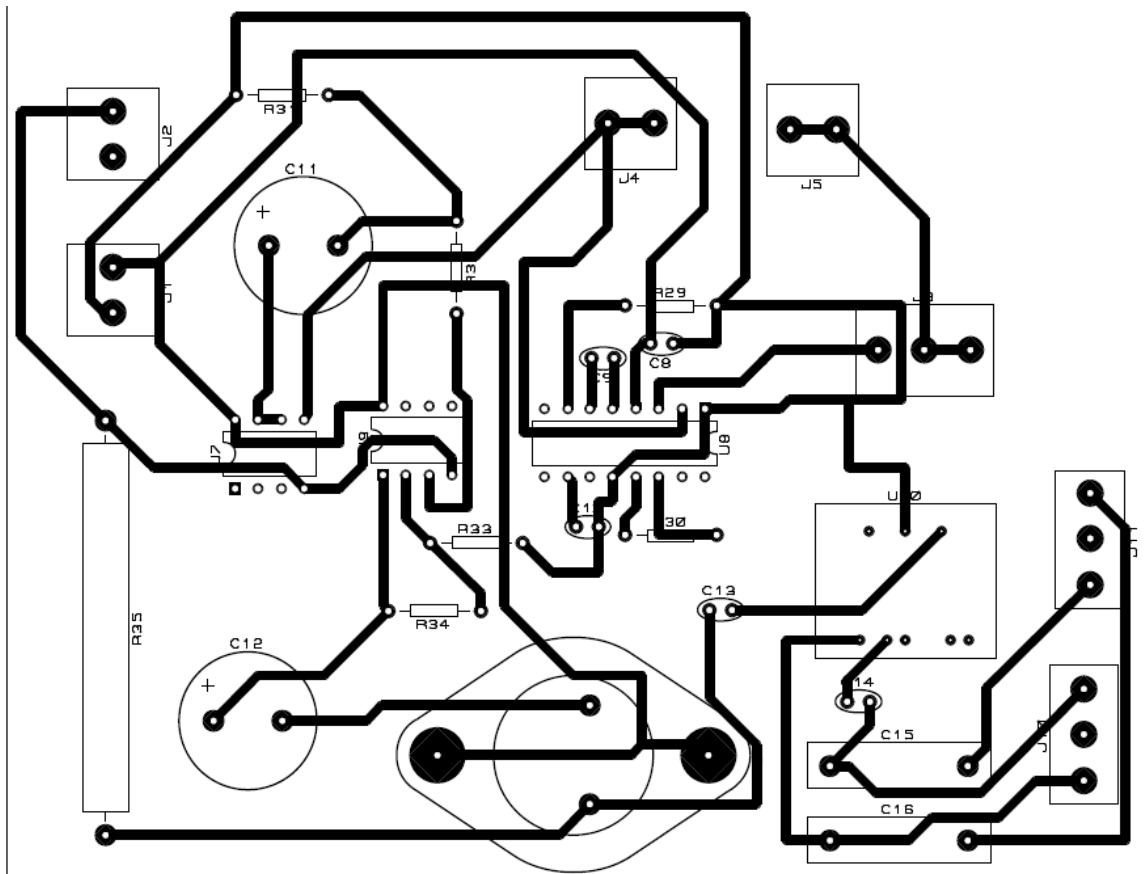
ANEXO C

(DISEÑO DE BAQUELA DE TRANSMISION PARTE 1)



ANEXO D

(DISEÑO DE BAQUELA DE TRANSMISION PARTE 2)



ANEXO E

(DISEÑO DE BAQUELA DE RECEPCION)

