

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL DE ACCESO Y SEGURIDAD UTILIZANDO EL PROTOCOLO X-10

Williams Chamorro, Ing.
David Guerrón, Ing.
Luís Corrales, Dr.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

RESUMEN

En este proyecto se diseña y construye un sistema de seguridad, aplicado al campo de la Domótica, utilizando como plataforma de desarrollo el protocolo estándar de comunicación X -10, el cual permite enviar información a través de la red eléctrica de bajo voltaje presente en cualquier vivienda; en el diseño del proyecto se buscó utilizar materiales de fácil disponibilidad en el mercado ecuatoriano para reducir los costos en comparación con equipos extranjeros.

Para cumplir con el objetivo planteado, se diseñó un sistema de seguridad que cuenta con sensores, cámaras de video, módulos actuadores, un módulo de interface con el computador, y un software desarrollado con el programa Visual Basic.

El sistema utiliza como medio físico de conexión la instalación eléctrica convencional (110V, 60HZ) y como protocolo de comunicación el estándar X -10, que consiste en el envío de señales en alta frecuencia (120KHz) a través del cableado eléctrico tomando como referencia el cruce por cero de la onda senoidal de voltaje, para el acoplamiento de los módulos X -10 a la red eléctrica se utiliza filtros inductivos capacitivos (L-C) pasa altos.

La interfaz hombre máquina es un software desarrollado con el programa Visual Basic, el cual trabaja en tiempo real, mostrando continuamente la información recibida por los sensores de vigilancia, y de acuerdo a estos datos recibidos, puede tomar acciones de control a través de módulos actuadores que pueden activar elemento de potencia como motores paso a paso, relés electromagnéticos, etc.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas domóticos permiten integrar el funcionamiento de los elementos eléctricos y electrónicos presentes en un entorno doméstico, utilizando para ello elementos inteligentes de control que requieren de protocolos de comunicación para transmitir información a través de las redes de interconexión.

El objetivo de la Domótica es obtener un estándar que permita una evolución hacia las aplicaciones de la vivienda del futuro; combinando para ello el uso racional de la electricidad, la electrónica y la informática, aplicadas al confort de los usuarios de las viviendas, ya que permite automatizar y optimizar el uso de los sistemas de seguridad, energía, comunicaciones, etc. de una forma económica, fácil y eficiente.

Dentro del campo de la Domótica existen numerosos protocolos de comunicación como por ejemplo CEBus, X -10, EIB, Lonworks, etc., y utilizan para comunicarse diferentes medios de interconexión como: par trenzado, fibra óptica, cable coaxial, redes eléctricas, señales de enlace de radiofrecuencia, etc.

El protocolo estándar X -10 utiliza para comunicarse la red eléctrica convencional presente en cualquier vivienda, por lo que no necesita de infraestructura adicional para poder funcionar, simplemente los elementos se conectan a los tomacorrientes, siendo un sistema fácil de instalar, reduciendo significativamente los costos en comparación con otros sistemas domóticos presentes en el mercado.

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

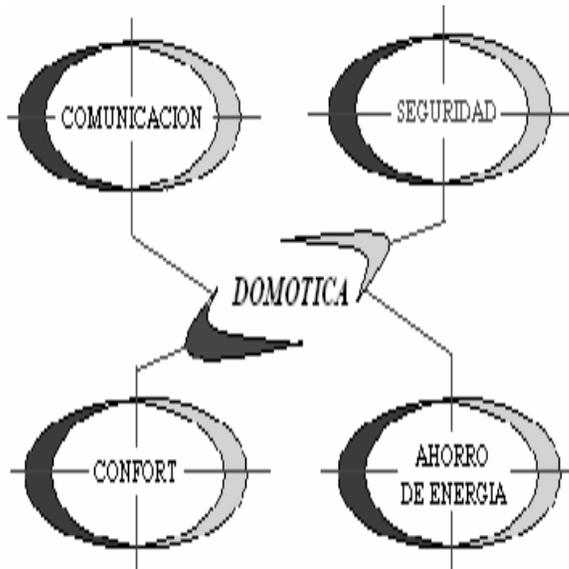


Figura 1. Funciones básicas que gestiona un Sistema Domótico

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Para la programación del micro controlador se utilizó, el software MPLAB IDE v7.31 de Microchip como editor, ensamblador y simulador para el código fuente de cada programa, y el software IC-Prog 1.05D para la grabación de los programas en los microcontroladores.

El Sistema de Seguridad X -10 posee sensores de vigilancia convenientemente ubicados, los cuales envían información a un computador provisto de un software el cual toma acciones de control ya sea en forma automática o a través de un operador.

El sistema utiliza como medio físico de conexión la instalación eléctrica convencional de bajo voltaje (110V,60HZ) y como protocolo de comunicación el estándar X -10, que consiste en el envío de señales en alta frecuencia (120KHz) a través del cableado eléctrico tomando como referencia el cruce por cero de la onda senoidal de voltaje.

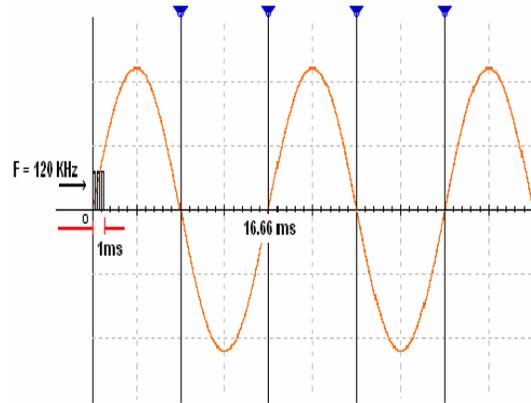


Figura 2. Transmisión de una señal binaria X -10 a 60 Hz.

Un uno binario del mensaje se representa por un pulso de 120 KHz durante un milisegundo en el cruce por cero, y un cero binario del mensaje se representa por la ausencia del pulso de 120Khz.

El pulso de un milisegundo se transmite 3 veces para que coincida con el paso por cero de las tres fases para un sistema trifásico. El máximo retraso entre el comienzo del envío y los pulsos de 120 KHz es de $50 \mu\text{seg}$. La transmisión completa de una orden X -10 necesita once ciclos de voltaje. Esta trama se divide en tres campos de información.

- Dos ciclos representan el código de inicio.
- Cuatro ciclos representan el código de casa (letras A-P).
- Cinco ciclos representan el código numérico (1-16) o código de función (encender, apagar, aumento de intensidad, etc.).

Para aumentar la fiabilidad del sistema, el bloque completo (código de inicio, código de casa y código de número) se transmite siempre dos veces, separando cada dos códigos por tres ciclos completos de corriente, excepto para funciones de regulación de intensidad, que se transmite de forma continua (por lo menos dos veces) sin separación entre las códigos.

La velocidad de transmisión es de 60 bps, la cual está dada por la frecuencia de la red eléctrica de 60 Hz (50 Hz en Europa).

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

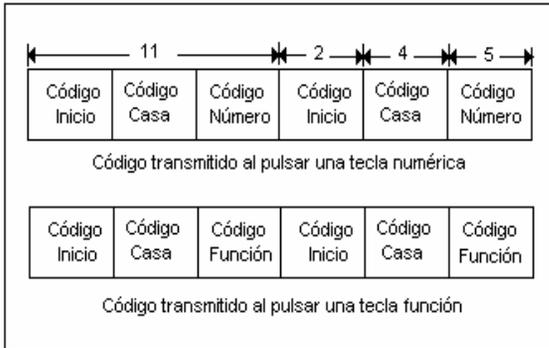


Figura 3. Estructura de los códigos transmitidos.

Los receptores para evitar el ruido eléctrico de la red, abren su ventana de recepción con una duración de 0.6ms, dos veces cada período de la onda senoidal (Figura 4), esto es 120 veces cada segundo, para una frecuencia de 60Hz y 100 veces cada segundo para una frecuencia de 50Hz.

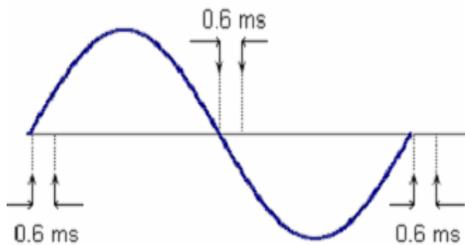


Figura 4. Ventana del receptor de 0.6 ms.

Los datos binarios son transmitidos en el momento en que la onda senoidal de 110V y 60Hz pase por cero voltios. Un "1" binario es definido como la presencia de pulso, inmediatamente seguido por la ausencia de pulso. Un "0" binario es definido como la ausencia de pulso, inmediatamente seguido de la presencia de pulso (Figura 5.).

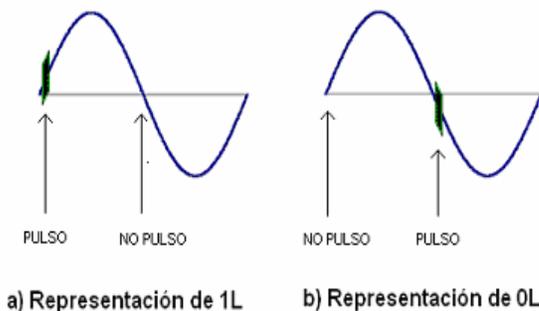


Figura 5. Representación de un bit binario.

Mientras que los pulsos transmitidos son de 1ms de duración, los receptores son diseñados para abrir una ventana de recepción durante 0.6ms.

Para establecer un punto predecible de envío, cada grupo de datos empieza siempre con al menos 6 pasos por cero limpios, luego de lo cual se envía un código de inicio (Start code), el cual es "pulso", "pulso", "pulso", "ausencia de pulso" (1110 en binario).

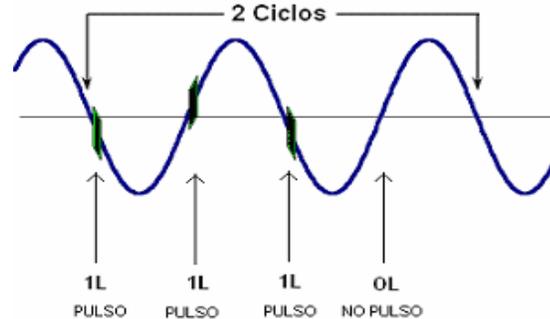


Figura 6. Código de inicio.

Después que el código de inicio se ha transmitido, se envía el primer nibble de datos (un nibble contiene 4 bits o medio byte), estos cuatro bits asigna un código de letra que facilita el manejo de los dispositivo (Figura 7.).

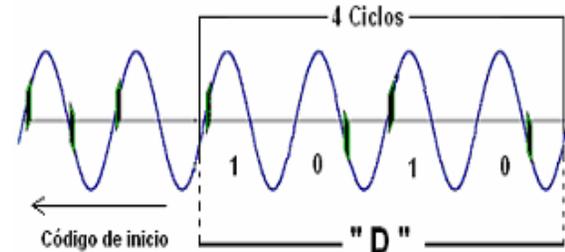


Figura 7. Código de letra.

La asignación de estos primeros cuatro bits fue realizada de forma aleatoria, de tal forma que el código de letra no coincida con el predecible patrón binario.

Código de letras			
A = 0110	E = 0001	I = 0111	M = 0000
B = 1110	F = 1001	J = 1111	N = 1000
C = 0010	G = 0101	K = 0011	O = 0100
D = 1010	H = 1101	L = 1011	P = 1100

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Tabla 1. Código de letras.

A continuación se envía un segundo nibble, el cual proporciona la segunda mitad de la dirección del dispositivo (Figura 8.).

El último bit de este segundo nibble es un bit de función. Cuando este bit es un "0", significa que el nibble es un código numérico y si es un "1", el nibble es un código de comando.

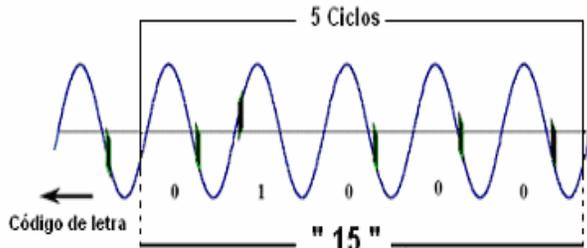


Figura 8. Código de número

Código de número			
1 = 01100	5 = 00010	9 = 01110	13 = 00000
2 = 11100	6 = 10010	10 = 11110	14 = 10000
3 = 00100	7 = 01010	11 = 00110	15 = 01000
4 = 10100	8 = 11010	12 = 10110	16 = 11000

Tabla 2. Código de número.

Para tener seguridad de que los datos fueron enviados y recibidos correctamente, cada marco de datos o trama (código de inicio, código de letra, código de número o de comando), debe ser transmitido 2 veces.

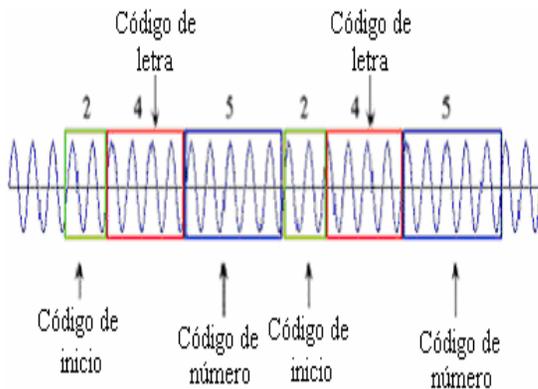


Figura 9. Envío de una trama con redundancia.

Para transmitir una nueva trama ya sea de dirección o comando se debe esperar por lo menos

3 ciclos de silencio, es decir por lo menos 6 pasos por cero limpios ("000000").

Luego que el receptor reconoce su dirección, esta listo para recibir el comando de función, entonces el transmisor nuevamente envía el código de inicio, luego envía el primer nibble con el código de letra y finalmente envía el segundo nibble con el código de comando (Figura 10). El receptor reconoce al segundo nibble como comando al verificar que el bit de función es un "1". Todos los códigos de comandos terminan en un uno binario.

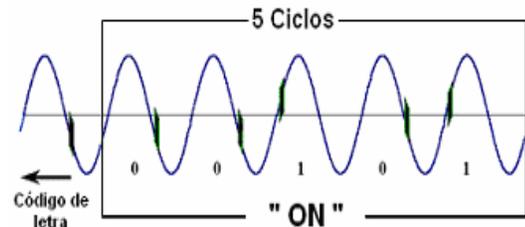


Figura 10. Código de comando.

Para garantizar que el comando se ha enviado y recibido correctamente, la trama (código de inicio, código de letra, código de comando), se envía dos veces.

En funciones de regulación de intensidad se transmite de forma continuada (por lo menos dos veces) sin la separación de los 3 ciclos de silencio entre tramas.

En la Figura 11. se tiene un dato completo en el sistema X -10,

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

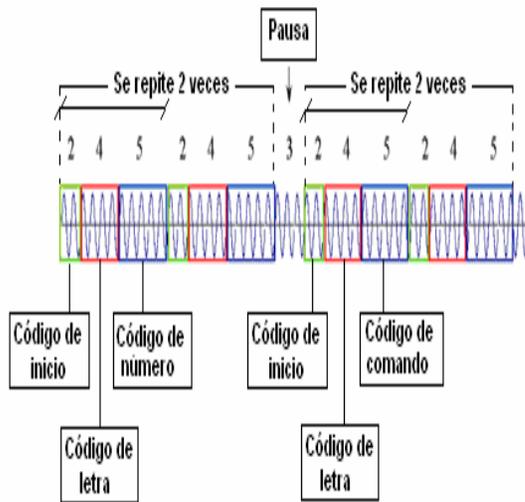


Figura 11. Transmisión estándar X -10.

Para transmitir un dato completo en X -10 se necesita 47 ciclos de la onda senoidal de 60Hz. Esto equivale a 0.7833 segundos; sin embargo, algunos comandos duran menos tiempo, como por ejemplo el comando "All Lights On", ya que no necesitan código de dirección.

Para que los dispositivos puedan funcionar en sistemas bifásicos y trifásicos, los transmisores deben enviar las tramas desfasados por cada cruce por cero de cada onda trifásica.

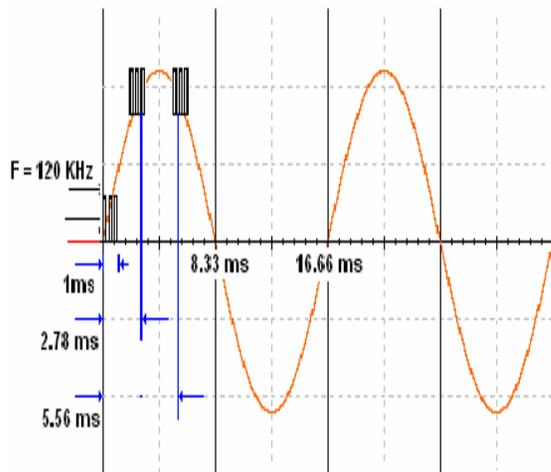


Figura 12. Envío de señales X -10 en sistemas trifásicos.

Para el acoplamiento de las señales X -10 a la red eléctrica se utilizó filtros inductivo

capacitivos (L-C) pasa altos, de forma que se comporten como un circuito abierto a la frecuencia de 60 Hz y como un cortocircuito a 120KHz que es la frecuencia de trabajo estándar X -10.

Para la comunicación entre el computador y el MODEM X -10 se utiliza el estándar RS-232 a través del puerto serial.

La Figura 13. Muestra en un diagrama de bloques el funcionamiento del módulo de interfaz con el computador.

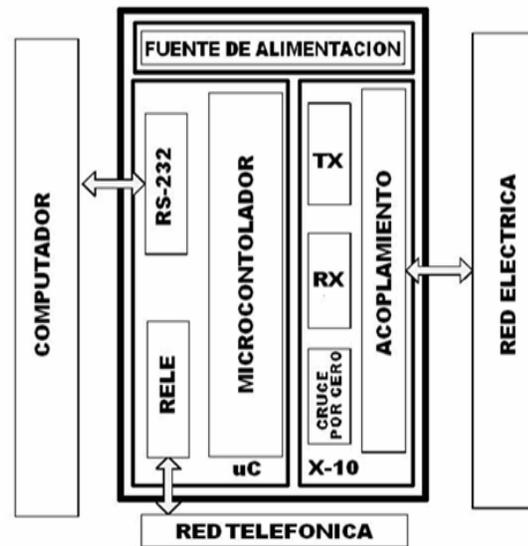


Figura 13. Diagrama de bloques del módulo de interfaz con el computador

Todos los módulos X -10 tienen un micro controlador (PIC16F628A) el cual para el envío de señales X -10 genera pulsos PWM (Pulse Wide Modulation) en cada cruce por cero de la onda senoidal de voltaje, cada pulso tiene una duración de 1 ms con una frecuencia de 120KHz y una relación de trabajo de 0.5. Los pulsos pasan a la red eléctrica por medio de un filtro pasa alto inductivo capacitivo (L-C) calibrado a 120KHz.

En la recepción de mensajes X -10 los módulos abren una ventana de espera de 0.6ms en cada cruce por cero de la onda senoidal. Los módulos tienen dos filtros inductivos capacitivos, uno en serie y uno en paralelo con los cuales se logra el efecto atenuador deseado.

También se ha implementado en el programa del microcontrolador un filtro digital, el cual confirma que realmente se trate de un 1

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

lógico, discriminando así posibles señales de ruido cercanas a la frecuencia de 120 KHz.

Como las señales recibidas son muy pequeñas, estas son amplificadas por dos circuitos amplificadores, el primero utiliza un FET (canal N) y el segundo emplea un transistor BJT (NPN) en configuración de emisor común, que le da la suficiente ganancia de forma que pueda ser detectada por el decodificador de tonos LM567.

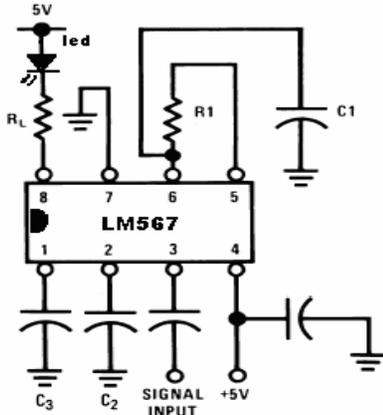


Figura 14. Circuito decodificador de tonos LM567

Cuando el LM567 detecta una señal con una frecuencia dentro del ancho de banda de enganche alrededor de la frecuencia central, presenta en la salida un cero lógico, y cuando esta señal de entrada está fuera del ancho de banda de enganche presenta alta impedancia, es decir se comporta como un circuito abierto. Estos ceros y unos lógicos son adecuadamente interpretados por los microcontroladores de los módulos X-10.

En la Figura 15 se muestra en un diagrama de flujo la secuencia general que se sigue en el proceso de recepción de códigos X -10

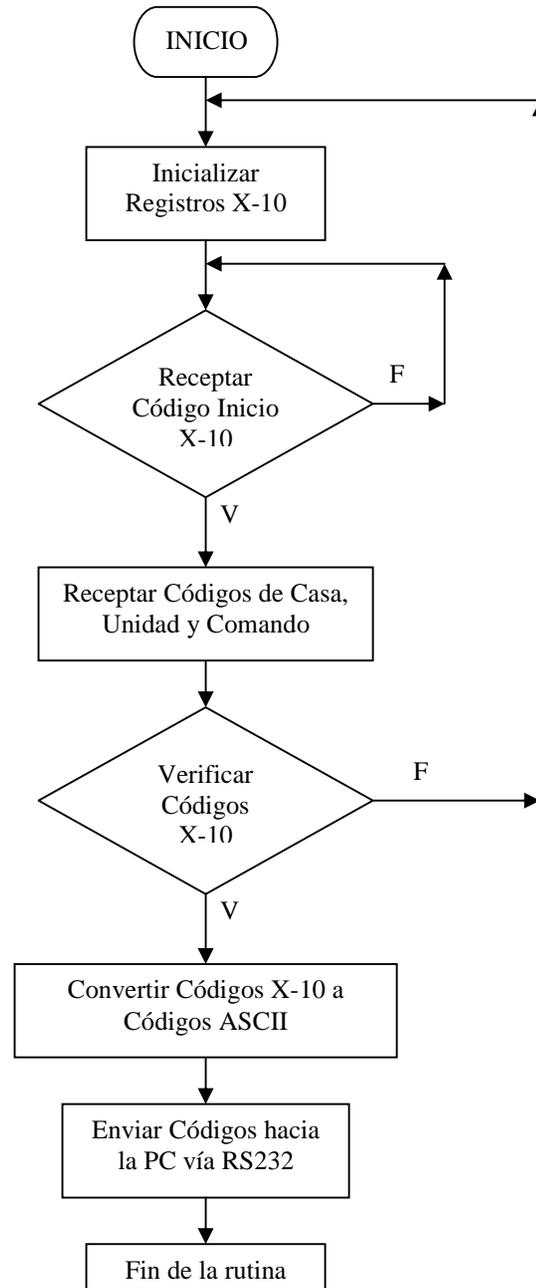


Figura 15. Diagrama de flujo para la recepción de códigos X -10 en el MODEM.

El Sistema de Seguridad X -10 utiliza como interfaz hombre máquina un software desarrollado con el programa Visual Basic, el mismo que trabaja en tiempo real.

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

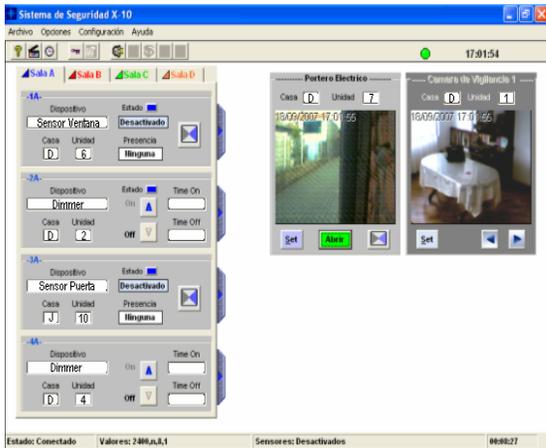


Figura 16. Pantalla principal con dispositivos configurados.

La estructura física del sistema de seguridad X-10 presenta una pantalla principal en la que se visualizan los dispositivos X-10 configurados

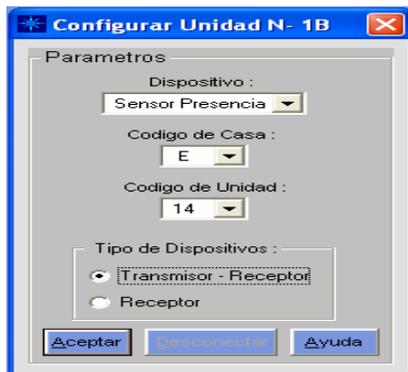


Figura 17. Ventana para la configuración de un dispositivo X-10

En el HMI (Interfaz Hombre Máquina) se pueden configurar simulación de presencia, monitoreo de cámara de video y activación de sensores.

3. PRUEBAS Y RESULTADOS

En las pruebas realizadas se pudo obtener un buen funcionamiento del Sistema de seguridad X-10, tanto en la recepción como en la transmisión de datos X-10.

El ruido encontrado en las líneas eléctricas es de características aleatorias al igual que su frecuencia, las mismas que afectan la señal de control X-10 que están en el orden de 120 KHz.

Uno de los aspectos que afectan el buen funcionamiento en la transmisión de los pulsos de 120 KHz es el retraso que generan los integrados y dispositivos electrónicos utilizados para la transmisión y recepción de la señal X-10.

La potencia de la señal determina la distancia de alcance que tendrá la señal X-10. En este proyecto, para la inserción de la señal en la red se utiliza un circuito basado en un transistor que trabaja como interruptor electrónico de alta frecuencia.

La distancia no ha sido un problema determinante ya que según las pruebas realizadas, los módulos han respondido a una distancia de 50 metros entre transmisor y receptor de señal X-10.

La sensibilidad y amplificación que se le pueda dar al circuito encargado de detectar y recibir los pulsos de 120 KHz ayudan a incrementar la distancia de alcance de la señal.

3.1. Formas de Onda Obtenidas

En la Figura 18 se muestra la forma de onda de 120 KHz generada por el PIC16F628A.

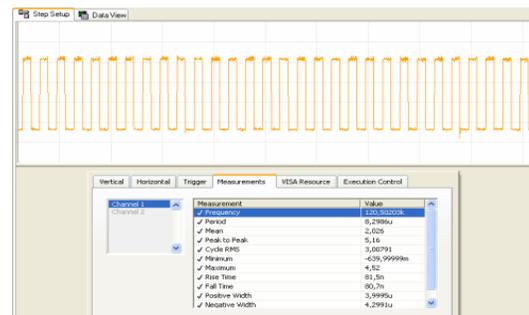


Figura 18. Señal de frecuencia de 120 KHz.

En la Figura 19 se muestra una parte de un comando X-10 generado por el PIC.

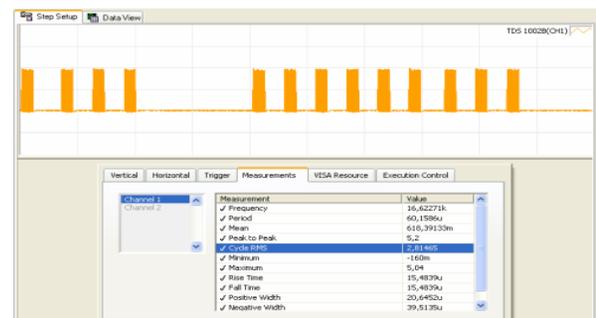


Figura 19. Tren de pulsos de 120 KHz.

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

En la Figura 20 se muestra la forma de onda de la señal de cruce por cero

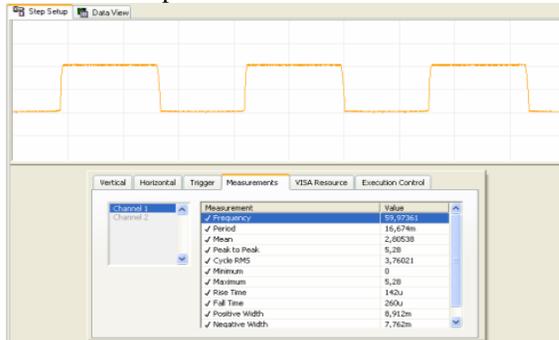


Figura 20. Señal del cruce por cero para un módulo actuador.

En la Figura 21 se muestra la forma de onda de la señal de cruce por cero que ingresa a un módulo Dimer X -10.

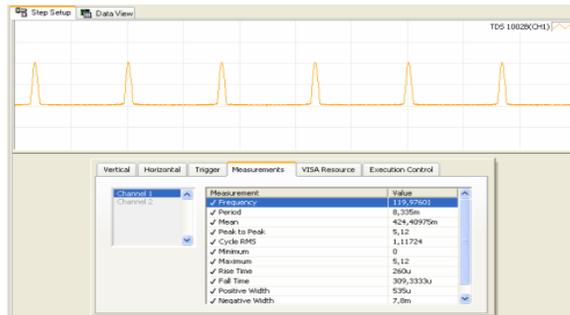


Figura 21. Señal del cruce por cero para Dimer X -10 diseñado.

La forma de onda que muestra la Figura 22 corresponde a una parte de un comando X -10

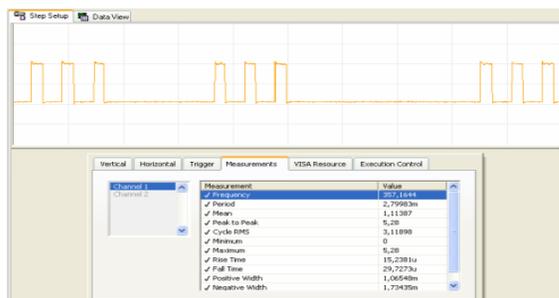


Figura 22. Señal proveniente de un módulo X -10 diseñado.

En la Figura 23 se muestran las formas de onda de una parte de un comando X -10

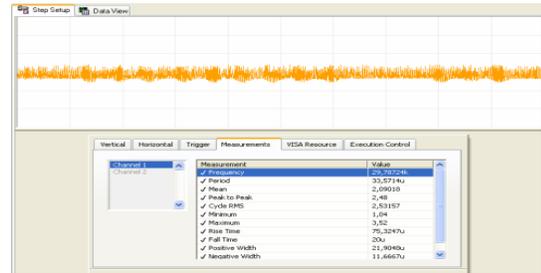


Figura 23. Señal proveniente de un módulo X -10 diseñado.

4. CONCLUSIONES

El diseño y configuración del HMI utilizando el programa Visual Basic es conveniente cuando se desea reducir costos en lo que tiene que ver a adquirir licencias para el funcionamiento de dichos programas.

La obligación de introducir una clave para realizar cualquier configuración de un dispositivo X -10, asegura que solo las personas autorizadas pueden alterar el entorno del sistema de seguridad.

Una limitación del estándar del protocolo de comunicación es que se recomienda para uso residencial con bajo ruido eléctrico, por lo que no es un sistema recomendado para lugares con demasiados elementos.

La limitación más importante del protocolo X -10 es que solo funciona con presencia de energía eléctrica.

Con el estándar X -10 solamente es posible transmitir comandos de control básicos. Cada bit requiere un ciclo completo de 60 Hz y por lo tanto la tasa de transmisión está limitada a 60 bps, esto hace que sea un protocolo lento.

La ventaja más importante del protocolo X -10 es que se utiliza el cableado de la instalación eléctrica convencional, por lo que no es necesario realizar una nueva infraestructura

Los dispositivos X -10 para comunicarse entre si, envían pulsos de voltaje a alta frecuencia, los cuales se van atenuando con la distancia, debido a la impedancia de la red eléctrica.

Mediante elementos de potencia como relés y contactores acoplados a los módulos sensores y actuadores se puede controlar grandes cargas

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

como por ejemplo motores monofásicos o trifásicos.

Ya que los módulos utilizan microcontroladores es posible cualquier tipo de control, como por ejemplo On-Off, PID, PWM, SPWM, etc. Dependiendo de las aplicaciones especiales en las que se desee aplicar.

Debido a que se utiliza el protocolo de acceso múltiple con detección de portadora y colisiones CSMA/CD, se minimiza las probabilidades de que un dispositivo no pueda comunicarse.

En el diseño de las placas electrónicas se debe tomar en cuenta la frecuencia de los pulsos con los que trabaja el protocolo X -10. Al tratarse de alta frecuencia (120 Khz), el diseño de las placas electrónicas debe hacérselo procurando evitar interferencias electromagnéticas y contaminación de ruido.

Para que este equipo de seguridad X -10 pueda funcionar ante fallas de energía eléctrica se recomienda que el lugar donde esta instalado cuente con un generador de corriente alterna.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] José Moreno Gil, Instalaciones automatizadas en viviendas y edificios, Madrid: Thomson, 2001.

[2] ANGULO, José, MICROCONTROLADORES PIC: Diseño Práctico de aplicaciones PIC 16F87x, segunda parte, McGraw-Hill Interamericana de España S.A.U., España, 2000.

[3] RASHID, Muhammad, ELECTRÓNICA DE POTENCIA Circuitos Dispositivos y Aplicaciones, Segunda Edición, Prentice Hall, Hispanoamericana S.A., México, 1993.

[4] BOYLESTAD, Robert, ELECTRONICA: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos, Octava Edición, Person Education S.A., México, 2003.

[5] Programación Visual, Curso práctico de programación de computadoras, Libro 2. CEKIT.

[5] Carlos A. Reyes, Microcontroladores PIC, Programación en BASIC, Segunda Edición, 2006.

BIOGRAFIA

Williams Chamorro



Nacido en Quito Ecuador en el año de 1972, estudios primarios en la escuela "23 de Mayo"; estudios secundarios realizado en el Instituto Nacional "Mejía" mención físico matemático; graduado de

Ingeniero en Electrónica y Control de la Escuela Politécnica Nacional, profesor y coordinador de electrónica en los Institutos Superiores "Vida Nueva", "David Ausubel" y "Mayor Pedro Traversari"; trabajos independientes en sistemas de automatización y control aplicados al sector residencial e industrial.

David Guerrón

Nacido en Quito Ecuador en el año de 1978, estudios primarios en la Escuela Fiscal Mixta "Carlos Cadena"

estudios secundarios realizado Colegio Nacional Técnico "UNE", Bachiller Técnico Industrial en Electricidad; graduado de Ingeniero en Electrónica y Control de la Escuela Politécnica



Nacional, profesor del Instituto Superior "Vida Nueva", trabajos independientes en sistemas de automatización y control aplicados al sector residencial e industrial.