

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
SEDE – LATACUNGA



CARRERA DE INGENIERÍA EN
ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE
ILUMINACIÓN RESIDENCIAL UTILIZANDO
TECNOLOGÍA POWER LINE COMMUNICATION”

PATRICIO JAVIER FERNÁNDEZ SOLARTE

JAIME FERNANDO VARELA CAMPOVERDE

LATACUNGA, OCTUBRE DEL 2006

CERIFICACIÓN

Certificamos que el presente documento fue elaborado por los señores:

Patricio Javier Fernández Solarte

Jaime Fernando Varela Campoverde

Bajo nuestra dirección, como requisito para la obtención del título de Ingeniero en Electrónica Especialidad Instrumentación.

Ing. Eddie Galarza
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Marcelo Silva
CODIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

A Dios por brindarme vida y sabiduría para alcanzar todo reto que se presentó durante mi carrera, por ello quiero dedicárselo a mi familia en especial a mis padres Patricio Fernández y Aída Solarte que me brindaron incondicionalmente todo el apoyo espiritual y económico que me permitió alcanzar un nuevo triunfo en mi carrera estudiantil ya que sin su ayuda y comprensión no hubiera podido finalizar mis estudios.

También quiero hacer un pequeño recordatorio a todos los profesores que me han impartido clases por su gran esfuerzo y dedicación, ya que sin su aportación no habría adquirido ni los conocimientos ni las ganas de superarme que hoy tengo.

Patricio Javier.

Siendo el presente, el reflejo del trabajo y la dedicación continua firme y permanente, es meritorio y digno dedicarlo a mis queridos padres, quienes con su incalculable esfuerzo hicieron factible el logro de mis objetivos.

Jaime Fernando.

AGRADECIMIENTO

Nuestros sinceros agradecimientos a los ingenieros Eddie Galarza y Marcelo Silva que hicieron posible que este proyecto sea realizado de la mejor manera no solo en beneficio nuestro sino para que sirva de inicio para nuevos proyectos de investigación en nuestra universidad.

También manifestamos nuestra gratitud hacia todos nuestros profesores y demás personas que colaboraron en forma directa o indirecta para la culminación de este trabajo.

*Patricio Javier
Jaime Fernando*

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	I
-------------------	---

CAPÍTULO I

TRANSMISIÓN DE DATOS EN REDES ELÉCTRICAS

1.1	GENERALIDADES.....	1
1.1.1.	REDES DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	1
1.1.2.	COMUNICACIÓN DE DATOS.....	3
1.1.3.	PROTOCOLOS Y ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS.....	5
1.1.3.1.	EL MODELO OSI.....	6
1.1.4.	TRANSMISIÓN DE DATOS.....	9
1.1.4.1	CONCEPTOS.....	9
1.1.4.2	FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA.....	9
1.1.4.3	TRANSMISIÓN DE DATOS ANALÓGICOS Y DIGITALES.....	10
1.1.4.4	PERTURBACIONES EN LA TRANSMISIÓN.....	11
1.1.5.	CODIFICACIÓN DE DATOS.....	13
1.1.5.1	DATOS DIGITALES, SEÑALES DIGITALES.....	13
1.1.5.2	DATOS DIGITALES, SEÑALES ANALÓGICAS.....	14
1.1.5.3	DATOS ANALÓGICOS, SEÑALES DIGITALES.....	15
1.1.6.	LA INTERFAZ EN LAS COMUNICACIONES DE DATOS.....	16
1.1.6.1	TRANSMISIÓN ASÍNCRONA Y SÍNCRONA.....	16
1.1.6.2	INTERFACES.....	17
1.1.7.	CONTROL DE ENLACE DE DATOS.....	17
1.1.7.1	DETECCIÓN DE ERRORES.....	17
1.1.7.2	CONTROL DE ERRORES.....	18
1.2.	MODULACIÓN DE SEÑALES DIGITALES.....	19
1.2.1	CODIFICACIÓN BINARIA DE SEÑALES EN BANDA BASE.....	19
1.2.2	MODULACIÓN DE AMPLITUD (ASK).....	20
1.2.3	MODULACIÓN DE FRECUENCIA (FSK).....	22
1.2.4	MODULACIÓN DE FASE (PSK).....	24
1.2.4.1	MODULACIÓN PSK BINARIA (BPSK).....	24
1.2.4.2	MODULACIÓN PSK CUATERNARIA (QPSK).....	25
1.2.4.3	MODULACIÓN QPSK DESPLAZADA (OQPSK).....	26
1.2.4.4	MODULACIÓN QPSK DIFERENCIAL $\pi/4$ ($\pi/4$ DQPSK).....	26
1.2.4.5	MODULACIÓN DE AMPLITUD EN CUADRATURA (QAM).....	26
1.2.5	MODULACIÓN OFDM.....	27
1.2.6	EFICIENCIA ESPECTRAL.....	28
1.2.7	TÉCNICAS DE DEMODULACIÓN.....	29
1.2.7.1	DEMODULACIÓN COHERENTE.....	29
1.2.7.2	DEMODULACIÓN INCOHERENTE.....	30

1.2.8	COMPARACIÓN DE ESQUEMAS DE DEMODULACIÓN.....	30
1.3	PROTOCOLOS.....	32
1.3.1	X.10	32
1.3.1.1	X10 POWER LINE.....	32
1.3.1.2	X10 RADIOFRECUENCIA	36
1.3.1.3	VENTAJAS DE X10	37
1.3.2	CEBus.....	38
1.3.2.1	CODIFICACIÓN DE LA SEÑAL.....	38
1.3.2.2	MEDIOS FÍSICOS PERMITIDOS	42
1.3.2.2	CAL (Commun Appliance Language)	42
1.3.3	SCALABLE NODE ADDRESS PROTOCOL (SNAP).....	43
1.3.3.1	DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO	44
1.3.4	OTROS PROTOCOLOS ESTÁNDAR	47
1.4	POWER LINE COMMUNICATION (PLC)	48
1.4.1	HISTORIA DEL PLC	49
1.4.2	COMO FUNCIONA	50
1.4.3	CARACTERÍSTICAS DESTACADAS DE PLC.....	58
1.4.4	ESTADO ACTUAL DEL PLC	59
1.4.5	COMPAÑÍAS PROVEEDORAS	59
1.4.5.1	DS2.....	59
1.4.5.2	ENDESA NET FACTORY	60
1.4.5.3	HOMEPLUG	60
1.4.6	VENTAJAS DE PLC	61
1.4.7	DESVENTAJAS DE PLC.....	61
1.4.8	COMPARATIVA.....	62

CAPÍTULO II

HARDWARE Y SOFTWARE PARA EL CONTROL

DE ILUMINACIÓN DOMÉSTICA

2.1	CONSIDERACIONES GENERALES	64
2.2	HARDWARE.....	65
2.3	SOFTWARE.....	71
2.3.1	CONCEPTOS BÁSICOS DE ActiveX.....	72
2.3.2	DISEÑO Y DESARROLLO DE LA APLICACIÓN	75
2.3.2.1	INTERFAZ DE USUARIO.....	78
2.3.2.1.1	ENVÍO DE DATOS AL PUERTO	84
2.3.2.1.2	CONFIGURACIÓN DE DIRECCIONES Y TEMPORIZADORES	88
2.3.2.1.3	LECTURA DE DATOS	90
2.3.2.2	CONTROL DE PROGRAMA	94

CAPÍTULO III

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1.	PRUEBAS	106
3.1.1.	PRUEBAS DE HARDWARE.....	106
3.1.2.	PRUEBAS DE SOFTWARE	111
3.2.	INTEGRACIÓN DE HARDWARE Y SOFTWARE.....	112
3.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	113

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.	CONCLUSIONES.....	116
4.2.	RECOMENDACIONES	117
	BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES	119
	ANEXO A: MANUAL DE USUARIO	120
	ANEXO B: GLOSARIO DE TÉRMINOS	124
	ANEXO C: DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS	129
	Interfaz USB	130
	Transmisor X10 RF (310MHz)	133
	Receptor X10 RF (310MHz).....	134

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la tecnología de las comunicaciones se ha desarrollado considerablemente, y esto se debe, en gran parte, a las crecientes necesidades del mundo en este campo. Las redes de comunicación de datos ya no se limitan a la interconexión de computadoras con el objetivo de compartir información, actualmente se utilizan redes de comunicación en otros campos como son: automatización industrial, domótica, etc.

Hoy en día la tecnología probada intrínsecamente necesita de un cableado especial como medio de transmisión, o en el caso de redes inalámbricas, se necesitan equipos de modulación que se encarguen de poner la información en el espacio, asimismo equipos de demodulación para recibir esta señal, es decir, para ambos tipos de redes es preciso diseñar las características del medio de transmisión que se utilizará, lo cual demanda más tiempo y costos de implementación del sistema. Para eliminar este tiempo y costo adicional, desde hace varios años se ha venido ensayando, principalmente en Europa, la posibilidad de utilizar como medio de transmisión la infraestructura ya establecida, es decir, los cables de la red de energía eléctrica y esto ha dado lugar a la aparición de la tecnología Power Line Communication (PLC).

La tecnología PLC principalmente busca llegar a los usuarios del servicio de Internet, gestionando y analizando una serie de recursos tecnológicos que el mercado actual ofrece junto a la utilización de otros servicios prestados por diferentes empresas, como lo es el servicio de conexión a Internet de gran ancho de banda, lo que significa gran capacidad, que junto a las líneas conmutadas hacen un gran equipo a la hora de integrar estos servicios para poder ofrecerlos a los clientes, quienes principalmente son personas que demandan información para desarrollar investigaciones que buscan el bienestar de la sociedad.

Como resultado de la integración de los servicios antes mencionados, el usuario sólo necesitaría tener un computador en buenas condiciones y una línea eléctrica que por medio del acceso a redes permitan que un Proveedor de Acceso a Internet (ISP) traslade la información hasta su casa. De esta manera se podría satisfacer la demanda de acceso a Internet, sobre todo en las zonas rurales o en zonas en donde no se cuente con una infraestructura telefónica. La demanda de estos sectores es bastante amplia pero los costos de implementación de la redes de telecomunicaciones son muy altos y el servicio es relativamente lento.

Para esta problemática existe la tecnología PLC que permite la comunicación por redes eléctricas, eliminando el costo de cableado.

La tecnología PLC suministra múltiples servicios con la misma plataforma tecnológica IP, así un sólo módem permite el acceso a Internet, telefonía, domótica, televisión interactiva, seguridad, etc.

En el presente proyecto se realiza el estudio y análisis de los fundamentos teóricos de la tecnología PLC y se implementará un sistema de control de iluminación doméstico basado en la misma, utilizando para ello dispositivos disponibles en el mercado actual. Con esto se pretende abrir las puertas a nuevas investigaciones referentes al tema. Además, aunque es necesario tener algo de conocimiento de lo que constituyen las redes tanto locales (LAN), como mundiales (WAN), el proyecto las define superficialmente sin entrar en detalle en cada una de ellas.

Se debe tener en cuenta que el proyecto sólo especificará la tecnología necesaria para ofrecer el servicio de automatización doméstica al usuario final, centrándonos en el control de iluminación, sus ventajas, desventajas, requerimientos del sistema y posibles innovaciones a futuro, considerando en todo momento aspectos tecnológicos, económicos y de seguridad del sistema implementado, así como también el agrado de los usuarios, cuestión que se verá reflejada siempre y cuando se ofrezca un servicio de gran calidad.

El presente trabajo está dividido en cuatro capítulos, que encierran el estudio y construcción del prototipo de control de iluminación doméstico. En el primer capítulo se realiza una revisión general de conceptos básicos referente a: transmisión de datos, modulación, protocolos de comunicación, y se analiza en detalle la tecnología Power Line Communication (PLC).

En el segundo capítulo se detalla la programación del software e integración del mismo con el hardware de control; en el capítulo tres se documenta las pruebas realizadas y resultados obtenidos del sistema implementado, finalmente en el capítulo cuatro se presentará las respectivas conclusiones y recomendaciones del proyecto.

CAPÍTULO I

TRANSMISIÓN DE DATOS EN REDES ELÉCTRICAS

1.1 GENERALIDADES

1.1.1. REDES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El sistema de suministro eléctrico está formado por el conjunto de medios y elementos útiles para la generación, transporte y distribución de la energía eléctrica. Este conjunto está dotado de mecanismos de control, seguridad y protección.¹

Constituye un sistema integrado que además de disponer de sistemas de control distribuido, está regulado por un sistema de control centralizado que garantiza una explotación racional de los recursos de generación y una calidad de servicio acorde con la demanda de los usuarios, compensando las posibles incidencias y fallas producidas. Con este objetivo, tanto la red de transporte como las subestaciones asociadas a ella pueden ser propiedad o estar operadas y gestionadas por un ente independiente de las compañías propietarias de las centrales y de las distribuidoras o comercializadoras de electricidad

Asimismo, el sistema precisa de una organización económica centralizada para planificar la producción y la remuneración a los distintos agentes del mercado si, existen múltiples empresas participando en las actividades de generación, distribución y comercialización.

En la figura siguiente, se pueden observar en un diagrama esquematizado las distintas partes componentes del sistema de suministro eléctrico:

¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_suministro_el%C3%A9ctrico

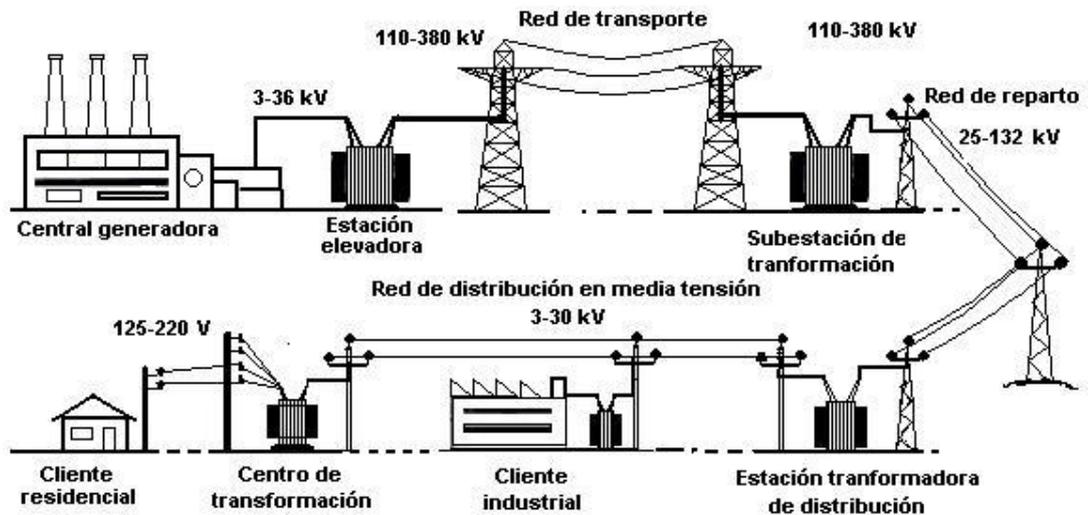


Fig. 1.1: Sistema de Suministro Eléctrico

La energía eléctrica se genera en las Centrales Eléctricas. Una central eléctrica es una instalación que utiliza una fuente de energía primaria para hacer girar una turbina que, a su vez, hace girar un alternador, generando así electricidad. El hecho de que la electricidad, a nivel industrial, no pueda ser almacenada y deba consumirse en el momento en que se produce, obliga a disponer de capacidades de producción con potencias elevadas para hacer frente a las puntas de consumo con flexibilidad de funcionamiento para adaptarse a la demanda.

La Red de Transporte es la encargada de enlazar las centrales con los puntos de utilización de energía eléctrica. Para un uso racional de la electricidad es necesario que las líneas de transporte estén interconectadas entre sí con estructura en forma de malla, de manera que pueda transportar electricidad entre puntos muy alejados, en cualquier sentido y con las menores pérdidas posibles.

Las subestaciones son plantas transformadoras que se encuentran junto a las centrales generadoras (Estación elevadora en la figura 1) y en la periferia de las diversas zonas de consumo, enlazadas entre ellas por la Red de Transporte. En estas últimas se reduce la tensión de la electricidad, de la tensión de transporte a la de distribución.

Desde las subestaciones ubicadas cerca de las áreas de consumo, el servicio eléctrico es responsabilidad de la compañía suministradora (distribuidora o comercializadora) que ha de construir y mantener las líneas necesarias para llegar a los clientes.

Estas líneas, realizadas a distintas tensiones, y las instalaciones en que se reduce la tensión hasta los valores utilizables por los usuarios, constituyen la Red de Distribución. Las líneas de la Red de Distribución pueden ser aéreas o subterráneas.

Los Centros de Transformación, dotados de transformadores alimentados por las líneas de distribución en media tensión, son los encargados de realizar la última transformación, efectuando el paso de las tensiones de distribución a tensión de utilización.

El punto que une las redes de distribución con las instalaciones interiores de los clientes se denomina Instalación de Enlace y está compuesta por: acometida, caja general de protección, línea repartidora y derivaciones individuales

1.1.2. COMUNICACIÓN DE DATOS

Una red de computadoras es una colección interconectada de computadores autónomos que se utiliza para compartir recursos, especialmente información (datos). A más de esto una red es capaz de proveer mayor confiabilidad ya que existe más de una fuente para los recursos.

Las redes se clasifican en las dimensiones de la tecnología de transmisión y del tamaño.

De acuerdo a la tecnología de transmisión, estas pueden ser:

Broadcast: un solo canal de comunicación compartido por todas las máquinas. Un paquete mandado por alguna máquina es recibido por todas las otras.

Punto a Punto: muchas conexiones entre pares individuales de máquinas. Los paquetes de A a B pueden atravesar máquinas intermedias, entonces se necesita el ruteo (routing) para dirigirlos.

En cuanto al tamaño y escala de la red, estas se clasifican en:

Redes de Área Local (LAN):² Normalmente usan la tecnología de broadcast: un solo cable con todas las máquinas conectadas, son de cobertura pequeña, velocidades de transmisión muy elevadas, utilizan redes de difusión en vez de conmutación, no hay nodos intermedios. Velocidades típicas son de 10 a 100 Mbps.

Redes de Área Amplia (WAN): Consisten en una colección de hosts (máquinas) o LANs de hosts conectados por una subred. La subred consiste en las líneas de transmisión y los ruteadores, que son computadores dedicados a cambiar de ruta. Se mandan los paquetes de un ruteador a otro. Se dice que la red es packet-switched (paquetes ruteados) o store-and-forward (guardar y reenviar). La distancia promedio está entre 100 Km a 1000 Km.

Existen redes en las que se establece un camino a través de los nodos dedicados a la interconexión de dos estaciones. En cada enlace, se dedica un canal lógico a cada conexión. Los datos se transmiten tan rápido como se pueda. En cada nodo, los datos de entrada se encaminan por el canal dedicado sin sufrir retardos, a esto lo se conoce como la conmutación de circuitos.

En el caso de que no se reserve un canal lógico, en cada nodo, el paquete se recibe totalmente, se almacena y seguidamente se transmite al siguiente nodo, esto sucede en la conmutación de paquetes. Para la retransmisión de tramas con una tasa de errores muy pequeña y una velocidad de transmisión elevada, no es necesario adjuntar mucha información de cabecera a cada paquete y por tanto las velocidades de transmisión son elevadísimas comparadas con el sistema de conmutación de paquetes.

En retransmisión de tramas se usan paquetes de tamaño variable y en ATM se usan paquetes de tamaño fijo, con lo que se ahorra información de control de cada trama y por tanto se aumenta la velocidad de transmisión (cada paquete se llama aquí "celda"). En este sistema, se dedican canales virtuales de velocidades de transmisión adaptables a las características de la transmisión (es parecido a la conmutación de circuitos).

² <http://cybercursos.net>

Una aplicación basada en la conmutación de circuitos (banda estrecha) y en conmutación de paquetes (banda ancha), para un sistema de transmisión de enfoque universal y de velocidad de transmisión muy rápida se conoce como RDSI y RDSI de Banda Ancha respectivamente.

1.1.3. PROTOCOLOS Y ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS³

Los protocolos de comunicaciones definen las normas que posibilitan que se establezca una comunicación entre varios equipos o dispositivos, ya que estos equipos pueden ser diferentes entre sí.

Para la comunicación entre dos entidades situadas en sistemas diferentes, se necesita definir y utilizar un protocolo. Los puntos que definen un protocolo son:

Sintaxis: formato de los datos y niveles de señal.

Semántica: incluye información de control para la coordinación y manejo de errores.

Temporización: incluye la sincronización de velocidades y secuenciación.

Todas estas tareas se subdividen en subtareas y a todo se le llama arquitectura del protocolo. Básicamente los protocolos que se utilizan en las comunicaciones son una serie de normas que deben aportar las siguientes funcionalidades:

- Permitir localizar un equipo o dispositivo de forma inequívoca.
- Permitir realizar una conexión con otro equipo.
- Permitir intercambiar información entre equipos y dispositivos de forma segura, independiente del tipo de máquinas que estén conectadas (PC, Mac, AS-400, etc...).
- Abstraer a los usuarios de los enlaces utilizados (red telefónica, radioenlaces, satélite...) para el intercambio de información.
- Permitir liberar la conexión de forma ordenada.

³ <http://www.monografias.com/trabajos3/comunicdatos/comunicdatos.shtml>

Debido a la gran complejidad que conlleva la interconexión de ordenadores, se ha tenido que dividir todos los procesos necesarios para realizar las conexiones en diferentes niveles. Cada nivel se ha creado para dar una solución a un tipo de problema particular dentro de la conexión. Cada nivel también tendrá asociado un protocolo, el cual entenderán todas las partes que integren la conexión.

1.1.3.1. EL MODELO OSI⁴

El modelo OSI (Open Systems Interconnection) es la propuesta que hizo la ISO (International Standards Organization) para estandarizar la interconexión de sistemas abiertos. Un sistema abierto se refiere a que es independiente de una arquitectura específica. Se compone el modelo de un conjunto de estándares ISO relativos a las comunicaciones de datos.

El modelo en sí mismo no puede ser considerado una arquitectura, ya que no especifica el protocolo que debe ser usado en cada capa, sino que suele hablarse de modelo de referencia. Este modelo está dividido en siete capas:

Nivel Físico

Se ocupa de la transmisión de bits de información a través de un canal de comunicación. Se debe asegurar que un determinado valor enviado llegue como tal a su destino. En este nivel se deben considerar los aspectos mecánico, eléctrico, de interfaz, y el medio de transmisión. Un ejemplo de ellos son los cables, tarjetas y repetidores.

Nivel de Enlace

A partir de cualquier medio de transmisión debe ser capaz de proporcionar una línea sin errores. Debe crear y reconocer los límites de las tramas, así como resolver los problemas derivados del deterioro, pérdida o duplicidad de las tramas. También debe incluir algún mecanismo de regulación del tráfico que evite la saturación de un receptor que sea más lento que el emisor. Un ejemplo de ellos son los puentes (Bridges).

⁴ <http://cybercursos.net>

Nivel de Red

Decide el encaminamiento de los paquetes entre el origen y el destino. Este encaminamiento puede establecerse estáticamente (mediante tablas de rutas prefijadas) o bien dinámicamente (en función del tráfico de la red). También debe detectar y corregir problemas de congestión del tráfico. Un ejemplo de ellos son los encaminadores y los protocolos IP e IPX.

Nivel de Transporte

Acepta los datos de la capa de sesión, los divide si es necesario, y los pasa a la capa de red asegurándose que lleguen a su destino. Aísla a las capas superiores de cambios en el hardware de comunicaciones. Es la parte encargada de garantizar la transmisión de datos. En ella se puede encontrar los protocolos UDP, TCP, SPX.

Nivel de Sesión

Gestiona el control de diálogo entre los usuarios de diferentes máquinas mejorando los servicios entre ellos permitiendo que el tráfico vaya en un solo sentido o evitando que ambos extremos ejecuten una misma operación a la vez. También realiza tareas de sincronización. Por ejemplo el nivel de sesión en una transferencia de archivo va insertando puntos de verificación. Si se tiene una red insegura cada vez que exista una interrupción de las comunicaciones el nivel de sesión se encargará de proseguirlas a partir del último punto de verificación y no tendrá que empezar de nuevo otra vez.

Nivel de Presentación

Se ocupa de los aspectos de representación de la información. Por ejemplo se ocupa del tipo de codificación de los datos previamente establecido. También se ocupa de la compresión de los datos y de su encriptación.

Nivel de Aplicación

Se ocupa de emulación de terminales, transferencia de ficheros, correo electrónico y otras aplicaciones.

Los datos que se desean enviar de una máquina a otra son llevados al nivel de aplicación. Ahí se le añade la cabecera de aplicación CA delante de los datos y entonces el tren de bits es pasado al nivel de presentación. Ésta transforma toda la información recibida, cabecera y datos, y la pasa al nivel de sesión y así sucesivamente. De esta forma todos los niveles transforman el tren de bits que les viene del nivel superior en bloques sin importarles que parte sean las cabeceras de los niveles anteriores y que parte sean los datos y posteriormente añaden su propia cabecera.

Así llegan al nivel físico que coloca los paquetes que le llegan en el medio de transmisión y los envía a la máquina receptora. Allí los paquetes seguirán el proceso contrario: cada nivel quita su cabecera correspondiente y realiza la transformación inversa a la realizada por el nivel equivalente, llegando al nivel de presentación que entrega al proceso receptor el tren de bits del proceso emisor.

En los nodos intermedios solo los otros tres niveles inferiores habrán tenido que tratar la información observando en la cabecera correspondiente a su nivel si el paquete iba dirigido a ellos, y viendo que no, reenviándolo hacia el receptor.

El resultado para los cuatro niveles superiores es como si hubieran recibido de su nivel equivalente directamente la información.

Por ello los niveles superiores se denominan protocolos de extremo a extremo. En la figura 1.2 se puede ver un esquema de transmisión del modelo OSI.

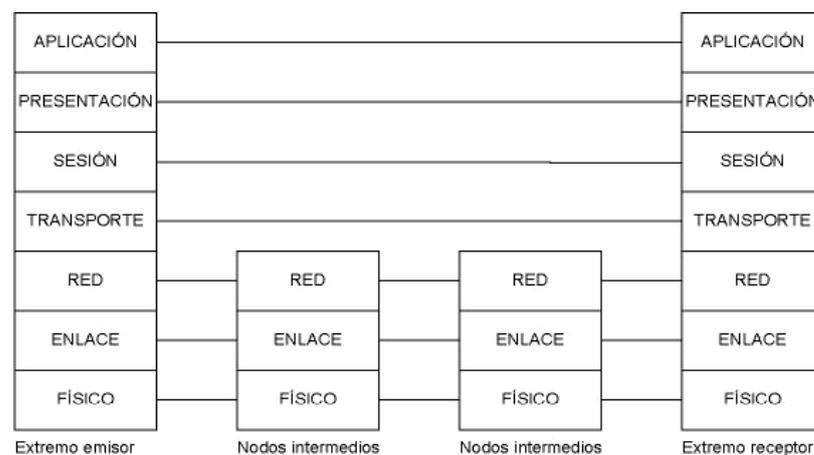


Fig. 1.2: Modelo OSI

1.1.4. TRANSMISIÓN DE DATOS⁵

1.1.4.1 CONCEPTOS

Los medios de transmisión pueden ser: guiados, si las ondas electromagnéticas van encaminadas a lo largo de un camino físico; y no guiados, si el medio es sin encauzar (aire, agua, etc.).

Simplex si la señal es unidireccional.

Half-duplex si ambas estaciones pueden transmitir pero no a la vez

Full-duplex si ambas estaciones pueden transmitir a la vez.

1.1.4.2 FRECUENCIA, ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA

Una señal, en el ámbito temporal, puede ser continua o discreta; periódica o no periódica. Una señal es periódica si se repite en intervalos de tiempo fijos llamados período. La onda sinusoidal es la más conocida y utilizada de las señales periódicas. En el ámbito del tiempo, esta onda se caracteriza por amplitud, frecuencia y fase, como se indica en la siguiente expresión.

$$S(t) = A \text{Sen}(2\pi ft + \text{fase}) \quad (1.1)$$

En la práctica, una señal electromagnética está compuesta por muchas frecuencias. Si todas las frecuencias son múltiplos de una dada, esa frecuencia se llama frecuencia fundamental.

El espectro de una señal es el conjunto de frecuencias que constituyen la señal.

El ancho de banda es la anchura del espectro. Muchas señales tienen un ancho de banda infinito, pero la mayoría de la energía está concentrada en un ancho de banda pequeño. Si una señal tiene una componente de frecuencia cero, es una componente continua.

⁵ <http://www.monografias.com/trabajos3/comunicdatos/comunicdatos.shtml>

El medio de transmisión de las señales limita mucho las componentes de frecuencia a las que puede ir la señal, por lo que el medio sólo permite la transmisión de cierto ancho de banda.

En el caso de ondas cuadradas (binarias), éstas se pueden simular con ondas sinusoidales en las que la señal sólo contenga múltiplos impares de la frecuencia fundamental. Cuanto más ancho de banda, más se asemeja la función seno (multifrecuencia) a la onda cuadrada. Pero generalmente es suficiente con las tres primeras componentes.

Se puede demostrar que al duplicar el ancho de banda, se duplica la velocidad de transmisión a la que puede ir la señal. Al considerar que el ancho de banda de una señal está concentrado sobre una frecuencia central, al aumentar ésta, aumenta la velocidad potencial de transmitir la señal.

Pero al aumentar el ancho de banda, aumenta el coste de transmisión de la señal aunque disminuye la distorsión y la posibilidad de ocurrencia de errores.

1.1.4.3 TRANSMISIÓN DE DATOS ANALÓGICOS Y DIGITALES

Una señal analógica es una señal continua que se propaga en el tiempo y una señal digital es una serie de pulsos de tensión. Los datos analógicos se pueden representar por una señal electromagnética con el mismo espectro que los datos. Los datos digitales se suelen representar por una serie de pulsos de tensión que representan los valores binarios de la señal.

La transmisión analógica es una forma de transmitir señales analógicas (que pueden contener datos analógicos o datos digitales). El problema de la transmisión analógica es que la señal se debilita con la distancia, por lo que hay que utilizar amplificadores de señal.

La transmisión digital tiene el problema de que la señal se atenúa y distorsiona con la distancia, por lo que hay que introducir repetidores de señal. Al usar repetidores en vez de amplificadores, el ruido y otras distorsiones no son acumulativos.

La utilización de banda ancha es más aprovechada por la tecnología digital ya que los datos transportados se pueden encriptar y por tanto hay más seguridad en la información. Al tratar digitalmente todas las señales, se pueden integrar servicios de datos analógicos (voz, vídeo, etc.) con digitales como texto y otros.

1.1.4.4 PERTURBACIONES EN LA TRANSMISIÓN

En la transmisión, se presentan las siguientes perturbaciones

Atenuación

La energía de una señal decae con la distancia, por lo que hay que asegurarse que llegue con la suficiente energía como para ser captada por la circuitería del receptor y además, el ruido debe ser sensiblemente menor que la señal original (para mantener la energía de la señal se utilizan amplificadores o repetidores).

Debido a que la atenuación varía en función de la frecuencia, las señales analógicas llegan distorsionadas, por lo que hay que utilizar sistemas que le devuelvan a la señal sus características iniciales (usando bobinas que cambian las características eléctricas o amplificando más las frecuencias más altas).

Distorsión de retardo

Debido a que en medios guiados, la velocidad de propagación de una señal varía con la frecuencia, hay frecuencias que llegan antes que otras dentro de la misma señal y por tanto las diferentes componentes en frecuencia de la señal llegan en instantes diferentes al receptor. Para atenuar este problema se usan técnicas de ecualización.

Ruido

El ruido es toda aquella señal que se inserta entre el emisor y el receptor de una señal dada. Hay diferentes tipos de ruido: ruido térmico debido a la agitación térmica de electrones dentro del conductor, ruido de intermodulación cuando distintas frecuencias comparten el mismo medio de transmisión, diafonía se produce cuando hay un acoplamiento entre las líneas que transportan las señales y el ruido impulsivo.

vo se trata de pulsos discontinuos de poca duración y de gran amplitud que afectan a la señal.

Capacidad del canal

Se llama capacidad del canal a la velocidad a la que se pueden transmitir los datos en un canal de comunicación. La velocidad de los datos es la velocidad expresada en bits por segundo a la que éstos pueden ser transmitidos.

El ancho de banda es aquel ancho de banda de la señal transmitida y que está limitado por el transmisor y por la naturaleza del medio de transmisión (en hertzios).

La tasa de errores es la razón a la que ocurren errores. Para un ancho de banda determinado es aconsejable la mayor velocidad de transmisión posible pero de forma que no se supere la tasa de errores aconsejable. Para conseguir esto, el mayor inconveniente es el ruido.

Para un ancho de banda dado W , la mayor velocidad de transmisión posible es $2W$, pero si se permite (con señales digitales) codificar más de un bit en cada ciclo, es posible transmitir más cantidad de información.

La formulación de Nyquist nos dice que aumentando los niveles de tensión diferenciables en la señal, es posible incrementar la cantidad de información transmitida.

$$C = 2W \log_2 M \quad (1.2)$$

El problema de esta técnica es que el receptor debe de ser capaz de diferenciar más niveles de tensión en la señal recibida, cosa que es dificultada por el ruido.

Cuanto mayor es la velocidad de transmisión, mayor es el daño que puede ocasionar el ruido.

Shannon propuso la fórmula que relaciona la potencia de la señal (S), la potencia del ruido (N), la capacidad del canal (C) y el ancho de banda (W).

$$C = W \log_2 (1 + \frac{S}{N}) \quad (1.3)$$

Esta capacidad es la capacidad máxima teórica de cantidad de transmisión, pero en la realidad, es menor debido a que no se ha tenido en cuenta nada más que el ruido térmico.

1.1.5. CODIFICACIÓN DE DATOS

1.1.5.1 DATOS DIGITALES, SEÑALES DIGITALES

Una señal digital consiste en una serie de pulsos de tensión. Para datos digitales no hay más que codificar cada pulso como bit de datos.

En una señal unipolar (tensión siempre del mismo signo) habrá que codificar un 0 como una tensión baja y un 1 como una tensión alta (o viceversa).

En una señal bipolar (positiva y negativa), se codifica un 1 como una tensión positiva y un 0 como negativa (o viceversa). La razón de datos de una señal es la velocidad de transmisión expresada en bits por segundo, a la que se transmiten los datos.

La razón de modulación es la velocidad con la que cambia el nivel de la señal, y depende del esquema de codificación elegido.

- Un aumento de la razón de datos aumentará la razón de error por bit.
- Un aumento de la relación señal-ruido (S/N) reduce la tasa de error por bit.
- Un aumento del ancho de banda permite un aumento en la razón de datos.

Para mejorar las prestaciones del sistema de transmisión, se debe utilizar un buen esquema de codificación, que establece una correspondencia entre los bits de los datos y los elementos de señal.

Los factores a tener en cuenta para utilizar un buen sistema de codificación son:

Espectro de la señal: la ausencia de componentes de altas frecuencias, disminuye el ancho de banda. La presencia de componente continua en la señal obliga a mantener una conexión física directa (propensa a algunas interferencias). Se debe concentrar la energía de la señal en el centro de la banda para que las interferencias sean las menores posibles.

Sincronización: para separar un bit de otro, se puede utilizar una señal separada de reloj (lo cuál es muy costoso y lento) o bien que la propia señal porte la sincronización, lo cuál implica un sistema de codificación adecuado.

Detección de errores: la forma común de detectar errores es incluir un “dato” adicional, luego de enviada la información, con lo cual se puede detectar e inclusive corregir errores. El dato de análisis de error (paridad, checksum, CRC), debe coincidir con el cálculo realizado en el receptor.

Una forma sencilla de control de errores, es el bit de paridad, el cual da una posibilidad de detección de error en un 60%.

Inmunidad al ruido e interferencias: hay códigos más robustos al ruido que otros.

Coste y complejidad: el coste aumenta con el aumento de la razón de elementos de señal.

1.1.5.2 DATOS DIGITALES, SEÑALES ANALÓGICAS

Para transmitir datos digitales mediante señales analógicas es necesario convertir estos datos a un formato analógico. Para esto existen varias técnicas, entre las más comunes tenemos:

Desplazamiento de Amplitud (ASK): los dos valores binarios se representan por dos valores de amplitud de la portadora, por ejemplo $s(t)=A\cos(2\pi ft)$ simboliza el 1 y $s(t)=0$ simboliza el 0. Aunque este método es muy sensible a cambios repentinos de la ganancia, es muy utilizado en fibras ópticas (1 es presencia de luz y 0 es ausencia de luz).

Desplazamiento de Frecuencia (FSK): en este caso, los dos valores binarios se representan por dos frecuencias próximas a la portadora. Este método es menos sensible a errores que ASK y se utiliza para mayores velocidades de transmisión que ASK, para transmisiones de teléfono a altas frecuencias y para LAN's con cables coaxiales.

Desplazamiento de Fase (PSK): en este caso es la fase de la portadora la que se desplaza. Un 0 se representa como una señal con igual fase que la señal anterior y

un 1 como una señal con fase opuesta a la anteriormente enviada .Utilizando varios ángulos de fase, uno para cada tipo de señal, es posible codificar más bits con iguales elementos de señal.

1.1.5.3 DATOS ANALÓGICOS, SEÑALES DIGITALES

Para transmitir datos analógicos en señales digitales es preciso realizar un proceso de digitalización de los datos. Este proceso y el siguiente de decodificación la realiza un dispositivo llamado codec.

Modulación por codificación de impulsos

Se basa en el teorema de muestreo: “Si una señal $f(t)$ se muestrea a intervalos regulares de tiempo con una frecuencia mayor que el doble de la frecuencia significativa más alta de la señal, entonces las muestras así obtenidas contienen toda la información de la señal original”. La función $f(t)$ se puede reconstruir a partir de estas muestras mediante la utilización de un filtro pasa-baja. Es decir, se debe muestrear la señal original con el doble de frecuencia que ella, y con los valores obtenidos, normalizándolos a un número de bits dado (por ejemplo, con 8 bits habría que distinguir entre 256 posibles valores de amplitud de la señal original a cuantificar) se ha podido codificar dicha señal.

En el receptor, este proceso se invierte, pero por supuesto se ha perdido algo de información al codificar, por lo que la señal obtenida no es exactamente igual que la original (se le ha introducido ruido de cuantización).

Hay técnicas no lineales en las que es posible reducir el ruido de cuantización muestreando a intervalos no siempre iguales.

Modulación delta

Esta técnica reduce la complejidad de la anterior mediante la aproximación de la función a codificar por una función escalera lo más parecida posible. De esta forma, cada escalón de la escalera ya puede ser representado por un valor (en 8 bits, uno entre 256 posibles valores de amplitud) .La elección de un adecuado salto de esca-

lera y de la frecuencia de muestreo pueden hacer que se modifique la precisión de la señal.

La principal ventaja de esta técnica respecto a la anterior es la facilidad de implementación.

1.1.6. LA INTERFAZ EN LAS COMUNICACIONES DE DATOS

1.1.6.1 TRANSMISIÓN ASÍNCRONA Y SÍNCRONA

Hay enormes dificultades a la hora de recuperar la señal transmitida por un emisor, sobre todo debido a que hay que saber cada cuanto tiempo va a llegar un dato; para esto se suelen usar técnicas de sincronización.

TRANSMISIÓN ASÍNCRONA

La manera más fácil de conseguir sincronismo es enviando pequeñas cantidades de bits a la vez, sincronizándose al inicio de cada cadena. Esto tiene el inconveniente de que cuando no se transmite ningún carácter, la línea está desocupada. Para detectar errores, se utiliza un bit de paridad en cada cadena. Usando la codificación adecuada, es posible hacer corresponder un 0 (por ejemplo) a cuando la línea está parada (con NRZ, cada vez que se quiera comenzar a transmitir una cadena, se usa un 1 como señal). Si el receptor es un tanto más rápido o lento que el emisor, es posible que incluso con cadenas cortas (o tramas, que son las cadenas más los bits adicionales de paridad y de comienzo y parada) se produzcan errores como el error de delimitación de trama (se leen datos fuera de la trama al ser el receptor más lento que el emisor) o el error que se produce al introducirse ruido en la transmisión de forma que en estado de reposo, el receptor crea que se ha emitido un dato (el ruido).

Este tipo de transmisión es sencilla y no costosa, aunque requiere muchos bits de comprobación y de control.

TRANSMISIÓN SÍNCRONA

En este tipo de transmisión no hay bits de comienzo ni de parada, por lo que se transmiten bloques de muchos bits. Para evitar errores de delimitación, se pueden

sincronizar receptor y emisor mediante una línea aparte (método utilizado para líneas cortas) o incluyendo la sincronización en la propia señal (codificación Manchester o utilización de portadoras en señales analógicas). Además de los datos propios y de la sincronización, es necesaria la presencia de grupos de bits de comienzo y de final del bloque de datos, además de ciertos bits de corrección de errores y de control. A todo el conjunto de bits y datos se le llama trama.

Para bloques grandes de datos, la transmisión síncrona es más eficiente que la asíncrona.

1.1.6.2 INTERFACES

Generalmente, los computadores y terminales no están capacitados para transmitir y recibir datos de una red de larga distancia, y para ello están los módem u otros circuitos parecidos. A los terminales y computadores se les llama DTE y a los circuitos (módem) de conexión con la red se les llama DCE. Los DCE se encargan de transmitir y recibir bits uno a uno. Los DTE y DCE están comunicados y se pasan tanto datos de información como de control. Para que se puedan comunicar dos DTE hace falta que ambos cooperen y se entiendan con sus respectivos DCE. También es necesario que los dos DCE se entiendan y usen los mismos protocolos.

La interfaz entre el DCE y el DTE debe de tener una concordancia de especificaciones:

- **De procedimiento:** ambos circuitos deben estar conectados con cables y conectores similares.
- **Eléctricas:** ambos deben de trabajar con los mismos niveles de tensión.
- **Funcionales:** debe de haber concordancia entre los eventos generados por uno y otro circuito.

1.1.7. CONTROL DE ENLACE DE DATOS

1.1.7.1 DETECCIÓN DE ERRORES

Cuanto mayor es la trama que se transmite, mayor es la probabilidad de que contenga algún error. Para detectar errores, se añade un código en función de los bits

de la trama de forma que este código señale si se ha cambiado algún bit en el camino. Este código debe de ser conocido e interpretado tanto por el emisor como por el receptor.

COMPROBACIÓN DE PARIDAD

Se añade un bit de paridad al bloque de datos (por ejemplo, si hay un número par de bits 1, se le añade un bit 0 de paridad y si son impares, se le añade un bit 1 de paridad).

Pero puede ocurrir que el propio bit de paridad sea cambiado por el ruido o incluso que más de un bit de datos sea cambiado, con lo que el sistema de detección fallará.

COMPROBACIÓN DE REDUNDANCIA CÍCLICA (CRC)

Dado un bloque de n bits a transmitir, el emisor le sumará los k bits necesarios para que $n+k$ sea divisible (resto 0) por algún número conocido tanto por el emisor como por el receptor. Este proceso se puede hacer bien por software o bien por un circuito hardware (más rápido).

1.1.7.2 CONTROL DE ERRORES

Se trata en este caso de detectar y corregir errores aparecidos en las transmisiones. Puede haber dos tipos de errores:

Tramas pérdidas: cuando una trama enviada no llega a su destino.

Tramas dañadas: cuando llega una trama con algunos bits erróneos.

Hay varias técnicas para corregir estos errores:

Confirmaciones positivas: el receptor devuelve una confirmación de cada trama recibida correctamente.

Retransmisión después de la expiración de un intervalo de tiempo: cuando ha pasado un cierto tiempo, si el emisor no recibe confirmación del receptor, reenvía otra vez la trama.

Confirmación negativa y retransmisión: el receptor sólo confirma las tramas recibidas erróneamente, y el emisor las reenvía.

1.2. MODULACIÓN DE SEÑALES DIGITALES

La modulación como término general es un concepto clave del progreso de las telecomunicaciones. En la práctica, la modulación consiste en variar las características de una señal portadora de acuerdo con las características de otra señal denominada moduladora, y que es básicamente la que transporta la información de interés.

Una primera clasificación de las modulaciones se puede hacer como analógica y digital y a su vez estas se subdividen en modulaciones de amplitud, frecuencia y fase. Dado el caso de nuestro estudio, en donde lo que se trata es de transmitir información de naturaleza digital en canales modulados analógicamente, a continuación se detalla los tipos de modulación digital que existen.

1.2.1 CODIFICACIÓN BINARIA DE SEÑALES EN BANDA BASE

En los sistemas digitales con fuentes de información directamente digitales, la codificación de la señal digital en banda base es fundamental. Esta codificación determina su representación frecuencial en banda base, y por tanto la que tendrá una vez transportada a su frecuencia definitiva, es decir, el ancho de banda de la señal a transmitir.

Cada codificación concreta presenta una serie de propiedades que la hace adecuada para unas aplicaciones y otras. En la figura 1.3 se muestran varias de las codificaciones más comunes.

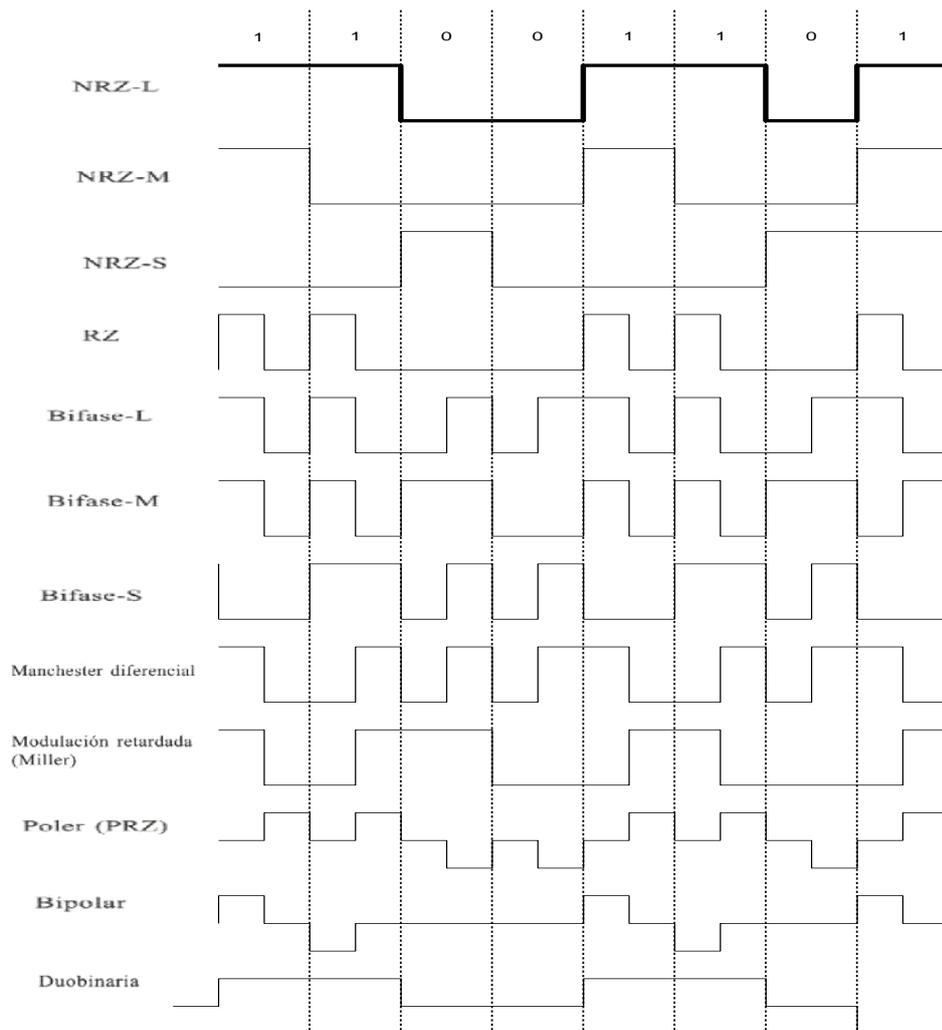


Fig 1.3: Codificaciones de Señales Digitales

1.2.2 MODULACIÓN DE AMPLITUD (ASK)

Consiste en hacer variar la amplitud de una señal portadora de acuerdo con las variaciones de una señal moduladora con valores discretos (digitales, típicamente 0 y 1). Matemáticamente se expresa esta modulación como el producto de una portadora sinusoidal (seno o coseno) por la señal moduladora representada según una de las codificaciones del apartado anterior. Si $M(\omega)$ es el espectro de la señal digital, el espectro de la señal modulada ASK será de la forma:

$$S(\omega) = \frac{M(\omega + \omega_p) + M(\omega - \omega_p)}{2} \quad (1.4)$$

ω_p : Frecuencia de la portadora

La señal que se obtiene corresponde a la señal original trasladada en frecuencia, de la misma forma que en AM. En realidad, se trata de AM con una señal modulante cuadrada como se muestra en las figuras 1.4 y figura 1.5.

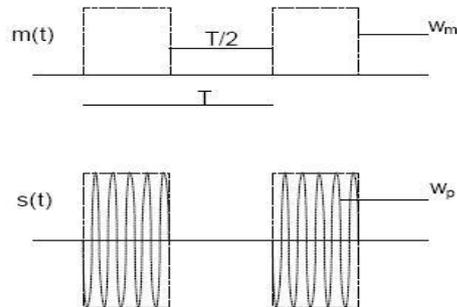


Fig. 1.4: Señal modulada ASK en el dominio del tiempo

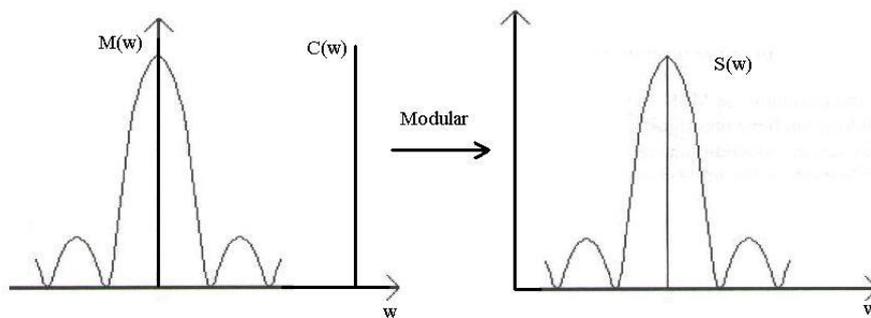


Fig 1.5: Señal modulada ASK en el dominio de la frecuencia

Sobre este caso simple de modulación ASK existen variantes, entre ellas M-ASK que es una modulación ASK de múltiples niveles, donde si en vez de utilizar dos símbolos, 0 y 1, se utiliza más de dos símbolos, se tendrá diferentes niveles de señal como se muestra en la figura 1.6.

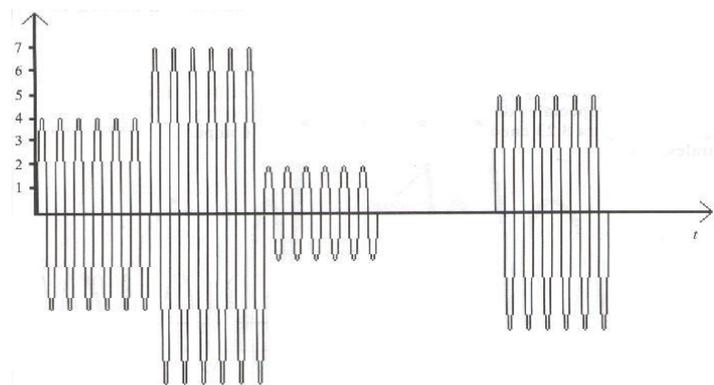


Fig 1.6: Señal ASK multinivel.

1.2.3 MODULACIÓN DE FRECUENCIA (FSK)

La modulación FSK es una modulación FM con mensaje digital. Se obtienen las frecuencias f_1 y f_2 de salida para entrada de “0” y “1” respectivamente. El fundamento de la modulación FSK consiste en que la señal portadora cambie el valor de su frecuencia de acuerdo a la señal moduladora que transporta la información.

La generación de señales FSK se puede hacer de dos modos distintos:

- Mediante conmutación entre dos fuentes de frecuencia diferentes al ritmo que marque la señal moduladora. Este es un método muy sencillo pero que como inconveniente puede producir saltos de fase en la señal como consecuencia de la ausencia de sincronización entre osciladores, y por tanto componentes espectrales elevadas que deterioren el ancho de banda.
- Por medio de un oscilador controlado por tensión (VCO o Voltage Controlled Oscillator), donde la señal moduladora actúa como controladora en tensión del circuito VCO. Este método consigue una fase continua en la señal generada (transición suave en los cambios de frecuencia), y por consiguiente un ancho de banda menor. Es lo que se conoce como FSK de fase continua (CPFSK o Continuous Phase FSK).

Si la relación de frecuencias utilizada en la modulación y el período de bit son las adecuadas, se puede incluso conseguir una señal a la salida de envolvente constante, por tanto, el espectro resultante depende del espaciado entre las portadoras f_1 y f_2 utilizadas en la generación de la salida.

Si la frecuencia de corte de la señal digital es pequeña en el espectro se observarán solo las frecuencias f_1 y f_2 en el analizador de espectros, pero conforme se aumenta la frecuencia moduladora el espectro parece más la superposición de dos espectros ASK alrededor de f_1 y f_2 , excepto por ciertas distorsiones, como se indica en la figura 1.7 y figura 1.8..

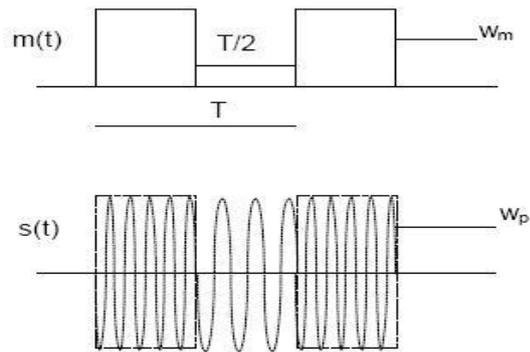


Fig 1.7: Señal modulada FSK en el dominio del tiempo

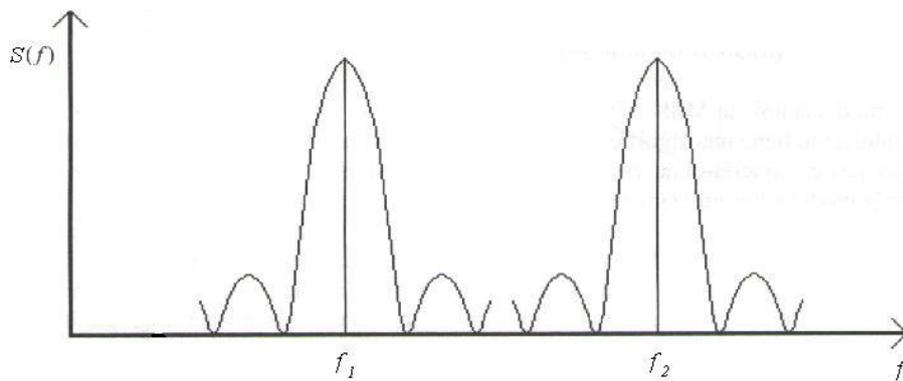


Fig 1.8: Señal modulada FSK en el dominio de la frecuencia

Generalmente se estudian dos tipos especiales de FSK, como lo son la FSK de Sunde y la MSK (Minimum Shift Keying). En la figura 1.9 podemos ver una representación comparativa de las componentes espectrales de estos tipos especiales de modulación FSK.

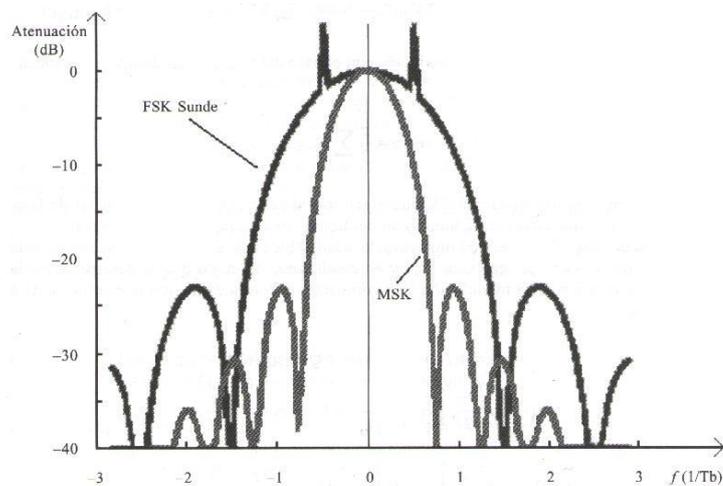


Fig 1.9: Señales moduladas FSK Sunde y MSK en el dominio de la frecuencia.

En relación con lo representado se puede decir que la primera de las variantes tiene un espectro muy característico, consecuencia de una separación entre las frecuencias portadoras equivalente a la velocidad de símbolo.

1.2.4 MODULACIÓN DE FASE (PSK)

El concepto en la modulación digital de fase sigue siendo el mismo que en las modulaciones analógicas. La información se transportará en la fase de la señal modulada. Las modulaciones PSK presentan muchas variantes, entre ellas tenemos:

1.2.4.1 MODULACIÓN PSK BINARIA (BPSK)

Con la transmisión por desplazamiento de fase binaria (BPSK), son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia de portadora. Una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico. Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están 180° fuera de fase. El BPSK es una forma de modulación de onda cuadrada de portadora suprimida de una señal de onda continua.

Para BPSK, la razón de cambio de salida, es igual a la razón de cambio de entrada, y el ancho de banda de salida, más amplio, ocurre cuando los datos binarios de entrada son una secuencia alterativa de unos y ceros. La frecuencia fundamental (f_a) de una secuencia alterativa de bits 1/0 es igual a la mitad de la razón de bit ($f_b/2$). Matemáticamente, la fase de salida de un modulador de BPSK es:

$$\Phi(t) = (\text{sen } \omega a t) \times (\text{sen } \omega c t) \quad (1.5)$$

$$\Phi(\omega) = \frac{1}{2}\cos(\omega c - \omega a) - \frac{1}{2}\cos(\omega c + \omega a) \quad (1.6)$$

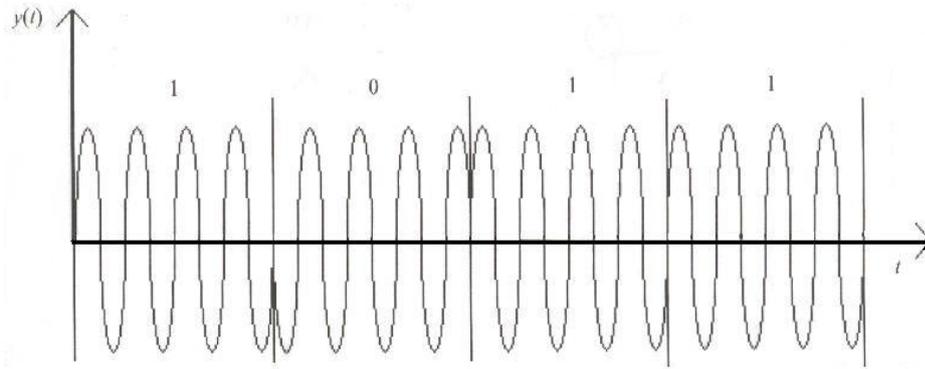


Fig 1.10: Señal modulada PSK en el dominio del tiempo

Suele ser habitual realizar codificaciones diferenciales donde los bits no tienen valor absoluto, sino que son únicamente valorables respecto al bit recibido con anterioridad. Así pues, es posible la codificación de la información de modo diferencial, es decir si se debe transmitir un 0 se cambia de fase, y si se debe enviar un 1 no se cambia de fase.

1.2.4.2 MODULACIÓN PSK CUATERNARIA (QPSK)

A fin de aprovechar el resto de los estados posibles de fase, se pueden idear las estrategias de modulación que contemplen la agrupación de varios bits en un mismo símbolo.

La transmisión por desplazamiento de fase cuaternaria (QPSK) o, en cuadratura PSK, como a veces se le llama, es otra forma de modulación digital de modulación angular de amplitud constante. Con QPSK son posibles cuatro fases de salida, para una sola frecuencia portadora. Debido a que hay cuatro fases de salida diferentes, tiene que haber cuatro condiciones de entrada diferentes, y debido a que la entrada digital a un modulador de QPSK es una señal binaria; para producir cuatro condiciones diferentes de entrada, se necesita más de un solo bit de entrada. Con 2 bits, hay cuatro posibles condiciones: 00, 01, 10 y 11. En consecuencia, en QPSK, los datos de entrada binarios se combinan en grupos de 2 bits llamados dibits. Cada código dibit genera una de las cuatro fases de entrada posibles. Por tanto, para cada dibit introducido al modulador, ocurre un solo cambio de salida. Así que, la razón de cambio en la salida es la mitad de la razón de bit de entrada.

1.2.4.3 MODULACIÓN QPSK DESPLAZADA (OQPSK)

En la versión anterior de la modulación observábamos que la constelación configurada ofrecía la posibilidad de transiciones sin límite entre los diferentes símbolos. Este hecho traía como consecuencia que las transiciones por 0 fueran posibles, y con ellas la generación de componentes espectrales en frecuencias elevadas.

La modulación OQPSK persigue precisamente este objetivo, limitar los tránsitos entre símbolos, de modo que no sea posible hacer cualquier transición.

1.2.4.4 MODULACIÓN QPSK DIFERENCIAL $\pi/4$ ($\pi/4$ DQPSK)

Esta modulación se caracteriza por el hecho de que la fase no es absoluta, sino establecida como diferencial con respecto a la anterior. Además, a toda la señal se aplica un desplazamiento de $\pi/4$ que lo que consigue son dos modulaciones QPSK separadas por $\pi/4$. Es decir, en los díbits pares se utiliza una constelación y en los impares otra, desplazada una distancia angular de 45° .

1.2.4.5 MODULACIÓN DE AMPLITUD EN CUADRATURA (QAM)

Las modulaciones QAM son una familia de métodos de modulación basados en la variación de la amplitud de la señal portadora entre una serie de niveles múltiples pero limitados (digitales). Es decir, es un tipo de modulación en amplitud multinivel, que también se expresa por medio de componentes en fase y en cuadratura.

El fundamento consiste en combinar dos señales ortogonales entre sí (una en fase y otra en cuadratura), de tal modo que se asigne amplitud diferente a cada señal variándola entre una serie de valores discretizados.

En general, esta familia de modulaciones recibe la calificación M-QAM, donde M puede adoptar diferentes niveles, los más comunes son 4, 16, 32, 64 y 256. El parámetro M da cuenta de los símbolos que utiliza el sistema, donde en cada símbolo se codifican m bits.

Como en todas las modulaciones que incluyen muchos símbolos en su constelación, se presentan problemas en la detección conforme aumenta el número M y los símbolos se encuentran cada vez más cerca y la zona de decisión disminuye. Esto

indica que las señales recibidas necesiten una relación señal a ruido muy elevada, y esto orienta esta modulación más hacia el mundo de los radioenlaces fijos.

1.2.5 MODULACIÓN OFDM

La modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing o multiplexión por división de frecuencias ortogonales) es una forma de transmitir datos sobre un número elevado de portadoras (típicamente cientos e incluso miles), de tal modo que la velocidad binaria sobre cada portadora sea muy inferior a de la señal original. Esta circunstancia permite el envío de información de muy alta velocidad, sin someterse a los requerimientos de relación señal a ruido elevados. Cada portadora necesitará una relación señal a ruido relativamente pequeña para ser recibida correctamente. Adicionalmente, se prepara el conjunto para que los nuevos símbolos, ahora más extendidos en el tiempo y por tanto más fácilmente detectables, se emitan todos a la vez.

La historia de la modulación OFDM asociada a la práctica de realizar procesamiento de datos de alta velocidad, se remonta a la década de los setenta. Los primeros sistemas de comunicaciones que utilizaron esta modulación fueron los sistemas militares en HF. Desde entonces, y sobre todo hoy en día, muchos son los sistemas que la incluyen: UIT ADSL, ETSI DAB, ETSI DVB-T, ETSI HIPERLAN/2, IEEE 802.11a,... cada uno en bandas de frecuencias distintas.

OFDM no es una modulación que tenga sentido por sí misma, sino que únicamente cobra significado cuando se considera conjuntamente con otras modulaciones. Es decir las modulaciones OFDM son más un mecanismo de transporte o multiplexión de otras modulaciones digitales que se incorporan en cada una de las portadoras OFDM. En efecto, se basa en transmitir simultáneamente portadoras moduladas a su vez por cualquier otra modulación digital (BPSK, QPSK, QAM, etc.). Cada portadora incluida transporta señales de velocidad inferior a la principal, y por tanto más robustas (símbolos de mayor duración) a los efectos de canal de comunicaciones.

En OFDM el pulso subportador usado para la transmisión está seleccionado para ser rectangular. Esto tiene la ventaja que las tareas de formar el pulso y la modula-

ción pueden ser realizadas por una Transformada Discreta Inversa de Fourier simple (IDFT) la misma que puede ser implementada muy eficazmente como una Transformada Inversa Rápida de Fourier. (IFFT). Consecuentemente en el receptor sólo se necesita una FFT para invertir esta operación. Según los teoremas de la transformada de Fourier la forma rectangular de pulso conducirá a un tipo $\text{Sen}(x)/x$ de espectro de las subportadoras.

1.2.6 EFICIENCIA ESPECTRAL

Luego de haber revisado con cierto detalle una pequeña muestra de las modulaciones digitales existentes, en concreto, las que podrían utilizarse en los sistemas objeto de nuestro estudio, es necesario comparar algunas características relevantes de los diferentes tipos de modulación tratados.

Para poder comparar las modulaciones descritas anteriormente, se necesita parámetros que las caractericen. Uno de los conceptos más utilizados es el de la eficiencia espectral, que hace referencia a la capacidad de un sistema de modulación de acomodar datos en un ancho de banda limitado. La unidad de medida de este parámetro (eficiencia espectral) es bps/Hz, es decir, el resultado de dividir la velocidad binaria alcanzada entre el ancho de banda ocupado.

Los procedimientos para mejorar la eficiencia espectral de una modulación son:

- Relacionar la velocidad binaria de los datos con el cambio de la frecuencia de la modulación.
- Restringir las posibles transiciones entre símbolos, evitando componentes de fase elevadas en frecuencia.
- Utilizar modulaciones con posterioridad al filtrado en banda base con filtros de diferentes tipos (coseno alzado, guassiano,...).

En la tabla 1.1 se muestra el valor de la eficiencia espectral para las diferentes modulaciones.

Tabla 1.1: Valor de la eficiencia espectral

Modulación	Límite teórico de eficiencia espectral (bps/Hz)
MSK	1
BPSK	1
QPSK	2
8 PSK	3
16 QAM	4
32 QAM	5
64 QAM	6
256 QAM	8

1.2.7 TÉCNICAS DE DEMODULACIÓN

Si el ancho de banda es importante, tanto o más lo es poder detectar correctamente y de forma sencilla los datos que fueron enviados. Tanto así que, en numerosas ocasiones la modulación se escoge por su facilidad de demodulación.

En la detección entra en juego la calidad de los datos, es decir, la probabilidad de no acertar en la elección del dato transmitido a partir de lo realmente enviado. Así pues, siempre se habla de dos tipos de calidades:

- Calidad de portador, que es la de la propia señal en sí, es decir, la que puede ser medida objetivamente.
- Calidad final, aquella tal y como la percibe el usuario final.

La calidad se relaciona con la recepción de una señal mezcla de señal deseada, interferencias y ruido. La incertidumbre existente en la detección de un 0 o un 1 se concreta en la existencia de un parámetro denominado tasa de error de bit (BER o Bit Error Rate).

1.2.7.1 DEMODULACIÓN COHERENTE

Se habla de detección coherente cuando ésta se fundamente en obtener la información de fase de la señal, y por tanto se basa en la comparación de la señal recibida con una réplica de la portadora utilizada en la modulación en origen, y desde ahí poder obtener la información de fase.

Son muchos los casos prácticos donde se puede utilizar la demodulación coherente:

- Las modulaciones PSK transportan la información en la fase de la señal. Obviamente es necesario demodular coherentemente.
- La modulación BPSK se detecta multiplicando la señal recibida por una réplica de la portadora, para posteriormente filtrar con ayuda de un filtro pasabajo que nos devolverá la señal moduladora.
- La modulación QPSK presenta una complejidad aumentada en tanto que en recepción se deberá disponer de dos demoduladores, cada uno para la señal de fase $I(t)$ y cuadratura $Q(t)$. La dificultad se presenta en mantener la fase de la réplica usada en recepción. Para ello se diseñan los circuitos PLL (Phase Locked Loop).
- Para solucionar esta dificultad aparece la modulación DPSK, donde la fase de la señal original no tiene interés y sí la señal recibida justamente antes a la que se está tratando.
- Las señales FSK de banda estrecha también utilizan demodulación coherente.

1.2.7.2 DEMODULACIÓN INCOHERENTE

Las demodulaciones incoherentes son aquellas que no toman en consideración la fase de la señal recibida. En este caso, los circuitos de recepción son más sencillos de diseñar e implementar. Algunos casos de detección incoherente son los siguientes:

- En las modulaciones ASK, la detección se realizará con un detector de envolvente, ya que es en ella donde se encuentra la información transmitida.
- La modulación FSK de banda ancha precisaría de ser demodulada con dos circuitos sensibles a cada una de las frecuencias en paralelo, de modo que sólo evaluando la potencia en cada portadora se conocerá el bit que se está recibiendo.

1.2.8 COMPARACIÓN DE ESQUEMAS DE DEMODULACIÓN

Como se mencionó anteriormente la eficiencia espectral sirve para comparar sistemas de modulación de un modo genérico y solo en un aspecto muy concreto. Sin embargo, en la comparación entre modulaciones se deberá considerar la demodulación y para ello se debe comparar la potencia de la señal necesaria (sobre el nivel de

ruido) para obtener una probabilidad de error o BER dado. En general se habla de E_b/N_0 (relación de energía por bit frente al ruido o densidad de potencia de ruido gaussiano blanco) y que se expresa generalmente en dB. Un gráfico comparativo de algunos esquemas de demodulación se muestra en la figura 1.11.

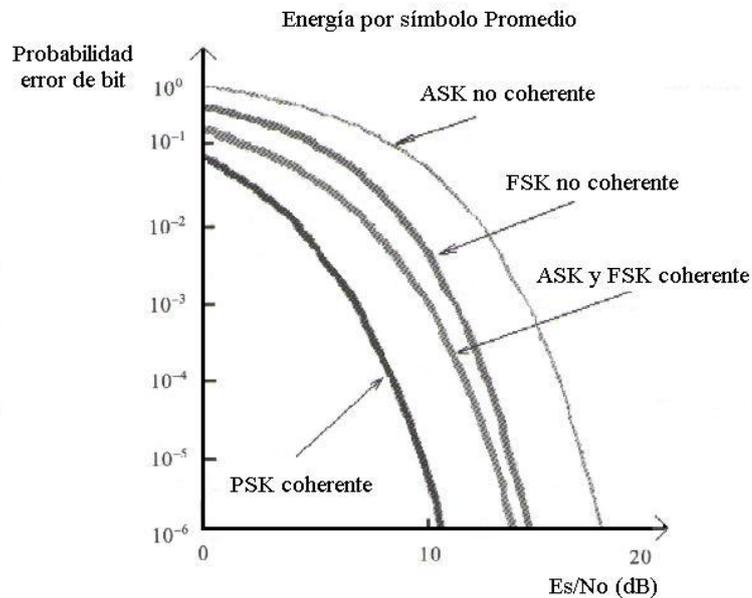


Fig 1.11: Comparativa de esquemas de demodulación.

Para esta comparación es aplicable lo siguiente:

- La demodulación coherente es más compleja en cuanto a hardware que la no coherente pero a la vez tiene una BER mejor para el resto de las condiciones constantes.
- Los esquemas diferenciales tienen peor BER que los no diferenciales, pero su implementación es sencilla.
- Cuantos más niveles de modulación se usa, tanto mayor será el BER, es decir su probabilidad de error.

Finalmente, a manera de resumen se presenta tabla 1.2 que muestra las aplicaciones típicas de las diferentes técnicas de modulación.

Tabla 1.2: Aplicaciones de las diferentes técnicas de modulación

Modulación	Aplicación
FSK	DECT, Sistemas de radiobúsqueda, sistemas PMR.
MSK, GMSK	GSM.
BPSK	Telemetría de espacio profundo, módems de cable.
QPSK, $\pi/4$ -DQPSK	Comunicaciones satelitales, NADC, TETRA, PDC, sistemas LMDS, DVB-S (Digital Video Broadcasting-Satelite), cable módems.
8 PSK	Comunicación satelital, sistemas de telemetría
16 QAM	Sistemas digitales de radioenlace terrestre, DVB-C (Digital Video Broadcasting-Cable)
32 QAM	Sistemas digitales de radioenlace terrestre, DVB-T
64 QAM	DVB-C, módems, sistemas MMDS
256 QAM	Módems, DVB-C (Europa)

1.3 PROTOCOLOS

Los protocolos de comunicación básicamente son un conjunto de reglas que se deben seguir para lograr un intercambio de información entre dos o más dispositivos, en otras palabras, se puede decir que un protocolo es el idioma que habla un transmisor, y para que exista comunicación, el receptor debe hablar el mismo idioma.⁶

Dependiendo del sistema que se utilice, marca de equipos, tipo de aplicación, etc. existe una gran variedad de protocolos que podrían utilizarse, sin embargo en el presente trabajo nos limitaremos a estudiar los protocolos más utilizados por la tecnología PLC.

1.3.1 X.10⁷

X10 es un protocolo de comunicación que permite controlar aparatos eléctricos a través de la instalación de red eléctrica. El estándar surgió hace 20 años como parte de los experimentos realizados por la empresa Picosystem y lleva más de quince años funcionando a nivel comercial.

1.3.1.1 X10 POWER LINE.

La transmisión de una señal binaria en X10 se realiza mediante ráfagas de 120KHz superpuestas en los cruces por cero de la señal de la red eléctrica. La ausencia de

⁶ <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EpypkEukFAfuMngjBg.php>

⁷ <http://odisea.ii.uam.es/esp/recursos/X10.htm>

ráfaga significa un cero lógico. Los interfaces Power Line proporcionan una onda de 60Hz. con un retraso máximo de 83µseg desde el cruce por cero de la corriente alterna. El máximo retraso entre el comienzo del envío y los pulsos de 120KHz. es de 60µseg.

Un 1 binario se representa por un pulso de 120KHz. durante 1 milisegundo, en el punto cero, y el 0 binario se representa por la ausencia de ese pulso de 120KHz. El pulso de 1 milisegundo se transmite tres veces para que coincida con el paso por el cero en las tres fases para un sistema trifásico. La Figura 1.12 muestra la relación entre estos pulsos y el punto cero de la corriente alterna.

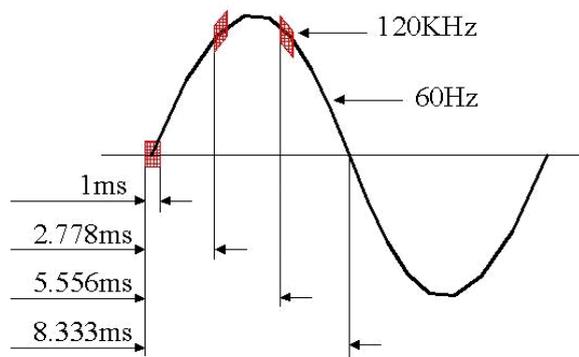


Fig 1.12: Transmisión de datos X10 en una señal alterna

La transmisión completa de un código X10 necesita once ciclos de corriente. Los dos primeros ciclos representan el Código de Inicio (Start Code), los cuatro siguientes ciclos representan el Código de Casa (House Code, letras A-P), los siguientes cinco representan o bien, el Código Numérico (Number Code, 1-16), o el Código de Función (Function Code, On, Off, etc...). Este bloque completo (Código de Inicio, Código de Casa y Código de Función o Numérico) se transmite siempre en grupos de dos, separando cada grupo por tres ciclos de la corriente, excepto para funciones de regulación de intensidad, que se transmiten de forma continua (por lo menos dos veces) sin separación entre códigos.⁸

⁸ <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EypkEukFAfuMngjBg.php>

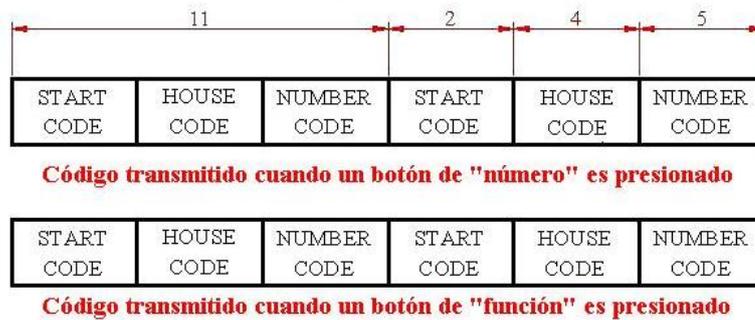


Fig 1.13: Ciclos de Transmisión X10

Dentro de cada bloque de códigos, cada cuatro o cinco bits de código deben ser transmitidos en modo normal y complementario en medio ciclo de corriente. Por ejemplo, si un pulso de 1 milisegundo se transmite en medio ciclo (1 binario), entonces no se transmitirá nada en la siguiente mitad del ciclo (0 binario).

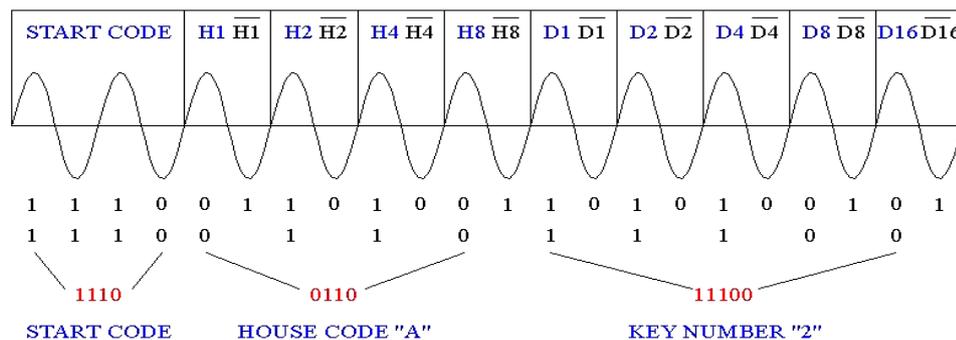


Fig 1.14: Formato de Trama X10

En la tabla 1.3 se indican los códigos binarios a ser transmitidos para cada “House Code” y “Key Code”. El “Start Code” es siempre “1110” y es un valor único, y también es el único código que no sigue la relación de complemento en la mitad del ciclo de la señal alterna.

1. “Hail Request” es transmitido para ver si hay algún transmisor X10 dentro del rango de oyente. Esto permite al OEM (Original Equipment Manufacturer) asignarle un House Code diferente si se recibe un “Hail Acknowledge”.
2. En una instrucción “Pre-Set Dim” el bit D8 representa el bit más significativo del nivel y H1, H2, H4 y H8 representan los bits menos significativos.
3. El código “Extended Data” es seguido por 8 bits (un byte) que representan datos analógicos (luego de una conversión análogo/digital). No debería haber se-

paración entre el código “Extended Data” y los datos reales, y tampoco entre bytes de datos. El primer byte puede ser utilizado para decir cuántos bytes de datos seguirán. Si existe separación entre los bytes de datos, estos códigos podrían ser recibidos por módulos X10 causando una operación errónea.

“Extended Code” es similar a “Extended Data”: un byte a continuación de Extended Code (sin separaciones) puede representar códigos adicionales, permitiendo con esto al diseñador expandir más allá de 256 códigos actualmente disponibles.

Tabla 1.3: Comandos X10

	HOUSE CODES				KEY CODES						
	H1	H2	H4	H8	D1	D2	D4	D8	D16		
A	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	
B	1	1	1	0	2	1	1	1	0	0	
C	0	0	1	0	3	0	0	1	0	0	
D	1	0	1	0	4	1	0	1	0	0	
E	0	0	0	1	5	0	0	0	1	0	
F	1	0	0	1	6	1	0	0	1	0	
G	0	1	0	1	7	0	1	0	1	0	
H	1	1	0	1	8	1	1	0	1	0	
I	0	1	1	1	9	0	1	1	1	0	
J	1	1	1	1	10	1	1	1	1	0	
K	0	0	1	1	11	0	0	1	1	0	
L	1	0	1	1	12	1	0	1	1	0	
M	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	
N	1	0	0	0	14	1	0	0	0	0	
O	0	1	0	0	15	0	1	0	0	0	
P	1	1	0	0	16	1	1	0	0	0	
			All Units Off			0	0	0	0	1	
			All Lights On			0	0	0	1	1	
			On			0	0	1	0	1	
			Off			0	0	1	1	1	
			Dim			0	1	0	0	1	
			Bright			0	1	0	1	1	
			All Lights Off			0	1	1	0	1	
			Extended Code			0	1	1	1	1	
			Hail Request			1	0	0	0	1	1
			Hail Acknowledge			1	0	0	1	1	
			Pre-set Dim			1	0	1	X	1	2
			Extended Data Transfer			1	1	0	0	1	3
			Status On			1	1	0	1	1	
			Status Off			1	1	1	0	1	
			Status Request			1	1	1	1	1	

Existen tres tipos de dispositivos X10: los que sólo pueden transmitir órdenes, los que sólo pueden recibirlas y los que pueden enviar/recibir éstas.

Los transmisores pueden direccionar hasta 256 receptores. Los receptores vienen dotados de dos pequeños conmutadores giratorios, (uno con 16 letras y el otro con 16 números) que permiten asignar una dirección de las 256 posibles. En una misma instalación puede haber varios receptores configurados con la misma dirección, todos realizarán la función preasignada cuando un transmisor envíe una trama con esa dirección. Evidentemente cualquier dispositivo receptor puede recibir órdenes de diferentes transmisores.

Los dispositivos bidireccionales, tienen la capacidad de responder y confirmar la correcta realización de una orden, lo cual puede ser muy útil cuando el sistema X10 está conectado a un programa de ordenador que muestre los estados en que se encuentra la instalación domótica de la vivienda.

1.3.1.2 X10 RADIOFRECUENCIA

Excepto por la diferencia en frecuencias portadoras, el protocolo RF que X10 utiliza para dispositivos estándar es idéntico al protocolo original NEC IR, el cual es ampliamente utilizado por dispositivos de control remoto IR (Infrarrojos). La envolvente de datos para un código NEC se muestra la figura 1.15.

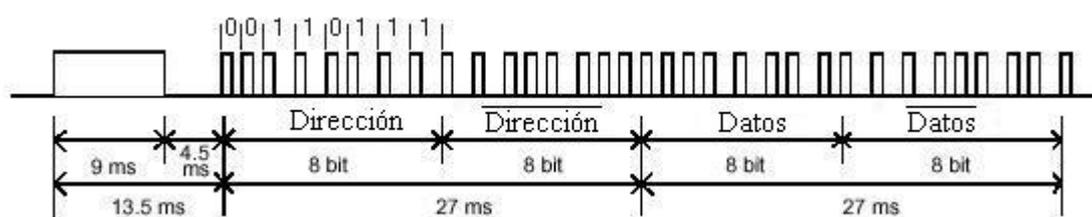


Fig 1.15: Protocolo original NEC IR

Cada código comienza con una ráfaga de 9ms de portadora seguida por una ausencia de señal de 4.5ms. Esto es necesario para fijar el ACG (control automático de ganancia) en los receptores los mismos que dinámicamente se adaptan a la longitud de la señal. Luego existen 32 bits con el 1 lógico representado por 2.25ms entre los flancos ascendentes y el 0 lógico representado por 1.125ms entre los flancos ascendentes. El flanco ascendente del bit 33 indica el final del último código y es seguido por una ausencia de señal de 40ms.

Los tiempos en X10 RF son ligeramente diferentes de los tiempos de IR, con una ráfaga inicial de 8.8ms seguida por una ausencia de señal de 4.4ms, con 2.2ms para el 1 lógico y 1.1ms para el 0 lógico. La mayoría de transmisores X10 RF envía un mínimo de 5 copias del código separados por ausencias de señal de 40ms.

En lugar de un byte dirección y un byte de datos, X10 envía dos bytes de datos con cada byte seguido inmediatamente por su complemento para la detección de errores. Dentro de cada byte, el bit 7 es recibido primero y el bit 0 es el último. En el código de la figura 1.15, en el orden recibido, el primer byte es 00110111, el segundo es 11001000, el tercero es 00011010, y el cuarto es 11100101. Después invertir el orden de los bits y chequear el complemento, los dos bytes de datos son 11101100 y 01011000 o EC y 58 en hexadecimal.

1.3.1.3 VENTAJAS DE X10 ⁹

- Protege el Hogar y la familia: es posible encender todas las luces con solo un botón. También trabaja con los sistemas de alarma, se puede controlar y comprobar el estado de la casa a distancia.
- Añade Valor a la Propiedad: una casa con un sistema domótico se cotiza más alto en el mercado inmobiliario. La casa es más fácil de vender. Incorpora características únicas que no tiene la competencia. Es un valor añadido que le da mayor categoría.
- Ahorro de Energía: añadir inteligencia a la casa, además de ahorrar energía, la hace más respetuosa con el medio ambiente. Todo el mundo tiene claro que los cristales dobles ahorran energía. Pues de igual forma, un sistema que supervisa y controla las luces y electrodomésticos apagándolos cuando no son necesarios también ahorra energía.
- Inversión Protegida: una de las grandes ventajas que tiene el sistema X10 es que es totalmente universal y por lo tanto transportable. Todos los productos X10 son tan fáciles de instalar y desinstalar.
- Visión de Futuro: una de las cosas que más preocupa cuando se invierte en tecnología hoy en día es su vida útil. Todos conocemos ya cual es la vigencia de un computador. O lo que pasa con los formatos que no son universales (vídeos beta,

⁹ http://es.wikipedia.org/wiki/Power_line_communication

CD vídeo, etc.). De entre los varios sistemas domóticos que tratan de imponerse en la actualidad, el sistema X10 es el único que sigue vigente después de más de 25 años y más de cien millones de aparatos funcionando por todo el mundo. (Antiguamente sólo en EEUU) actualmente ya se ha adaptado el sistema a 220V y se usa por toda Europa y América Latina.

1.3.2 CEBus.¹⁰

En 1984 varios miembros de la EIA norteamericana (Electronics Industry Association) propusieron unificar los protocolos de señalización infrarroja para el control remoto de electrodomésticos y llegaron a la conclusión de que había la necesidad de crear un bus domótico que permitiera más funciones que las que aportaban sistemas de aquella época (ON, OFF, DIMMER, ALL OFF, etc). Especificaron y desarrollaron entonces un estándar llamado CEBus (Consumer Electronic Bus).

En 1992 fue presentada la primera especificación. Se trata de un protocolo para entornos distribuidos de control, que está definido en un conjunto de documentos (en total unas 1000 páginas). Como es una especificación abierta cualquier empresa puede conseguir estos documentos y fabricar productos que implementen este estándar.

En esencia, el CEBus es un conjunto de documentos de especificaciones de arquitectura abierta que definen protocolos para hacer que los productos se comuniquen a través de la red eléctrica, cable UTP, coaxial, espectro infrarrojo y radiofrecuencia.

1.3.2.1 CODIFICACIÓN DE LA SEÑAL

La codificación de la señal para el canal de control PL (Power Line) será No Retorno a Cero (NRZ), Codificación por Ancho de Pulso usando los símbolos “1”, “0”, “EOF” y “EOP”. Estos símbolos están codificados usando un barrido de frecuencia portadora acoplado a la línea de conducción eléctrica.

¹⁰ <http://odisea.ii.uam.es/esp/recursos/Cebus>.

La figura 1.17 exterioriza un ejemplo de codificación durante la porción del preámbulo del mensaje. Para hacer la detección del preámbulo más fácil, la unidad de tiempo del símbolo es más larga durante el preámbulo que durante la porción de mensaje del paquete. Mientras la unidad de tiempo del símbolo es más larga (114 μ s vs 100 μ s), el tiempo de barrido de la portadora SUPERIOR- θ 1 permanece constante a todo lo largo del paquete. Así el tiempo que el medio esté en el estado INFERIOR varía (sin portadora), ocupando el tiempo entre barridos SUPERIOR- θ 1.

Esta temporización es mostrada sólo para ilustrar la codificación. La temporización real de estado es realizada en la capa de codificación de símbolo. La capa física sólo devuelve un barrido SUPERIOR o introduce la condición INFERIOR (ninguna salida).

El preámbulo termina con un símbolo especial EOF de preámbulo que divide el preámbulo de la porción de no-preámbulo del mensaje. EOF consta de ocho estados SUPERIOR- θ 1 en una fila de 100 μ s cada uno (sin intervenir ninguna condición inferior). El cuerpo del mensaje inmediatamente sigue el EOF del preámbulo.

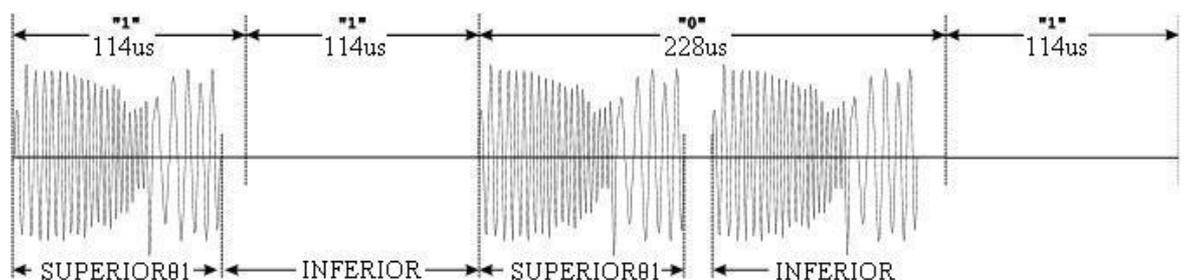


Fig 1.17: Codificación del Preámbulo del Canal de Control PL.

La figura 1.18 muestra la codificación durante la porción de no-preámbulo del mensaje. Durante esta porción el transmisor está continuamente entregando un barrido de frecuencia portadora en ambos estados SUPERIOR- θ 1 y θ 2 de la fase.

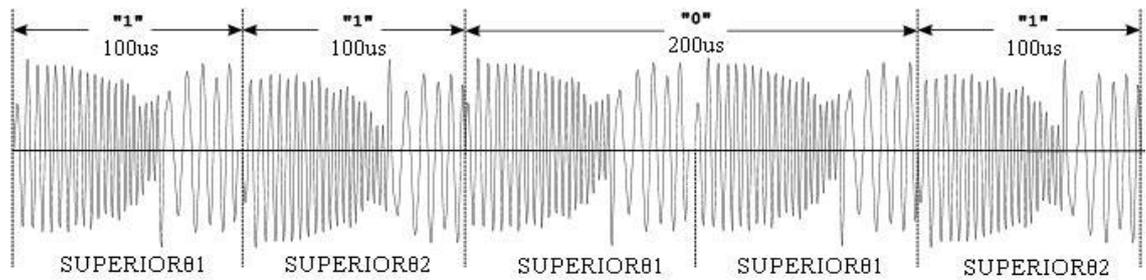


Fig 1.18: Codificación del No-Preámbulo del Canal de Control PL.

Las transmisiones de este tipo de protocolo se basan en paquetes de datos que varían en longitud dependiendo de la cantidad de información transmitida. La longitud del paquete mínimo es de 64 bits.

El estándar involucra direcciones de dispositivos que son configuradas por hardware en la fábrica con 4,000 millones de posibilidades de combinaciones. Existe un lenguaje predefinido para controles orientados a objetos que incluyen comandos como Volume Up, Fast Forward, Rewind, Pause, Skip, Temperature Up, Temperature Down.

Los comandos y los informes de estados se transmiten por el canal de control en forma de mensajes. El núcleo de la especificación CEBus se centra en definir este canal de control. El formato de los mensajes CEBus es independiente del medio de físico utilizado. Cada mensaje contiene la dirección de destino sin ninguna referencia sobre qué medio físico está situado el receptor o el transmisor. De esta forma CEBus forma una red uniforme a nivel lógico en forma de bus. CEBus soporta una topología flexible, es decir cualquier dispositivo se puede conectar a cualquier medio siempre que tenga la interfaz adecuada. Para comunicar segmentos de red que tienen diferente medio físico, se utilizan dispositivos llamados *routers*, los mismos que pueden estar integrados dentro de otro dispositivo con más funcionalidades.

Para facilitar la difusión de mensajes todos los dispositivos tienen una dirección a la que responden todos (broadcast address), además, los dispositivos se pueden asociar en grupos (group address). De esta forma se puede mandar un único mensaje a varios dispositivos al mismo tiempo. Un dispositivo puede pertenecer a uno o más grupos.

Los objetivos principales del estándar son:

- Facilitar el desarrollo de módulos de interfaz de bajo coste que puedan ser integrados fácilmente en electrodomésticos.
- Soportar la distribución de servicios de audio y vídeo tanto en formato analógico como digital.
- Evitar la necesidad de un controlador central, distribuyendo la inteligencia de la red entre todos los dispositivos.
- Permitir añadir y quitar componentes de la red sin que afecte al rendimiento del sistema ni que requiera un gran esfuerzo la configuración por parte del usuario.
- Proporcionar un método adecuado de acceso al medio.

1.3.2.2 MEDIOS FÍSICOS PERMITIDOS

El protocolo CEBus puede trabajar en los siguientes medios físicos.

- Red eléctrica
- Cable trenzado
- Cable coaxial
- Infrarrojos
- Radio Frecuencia
- Fibra óptica
- Bus audio-vídeo

En todos los medios físicos, la información de control y datos se transmite a la misma tasa binaria, 8000 b/s. Aunque también se permiten canales para acomodar audio o vídeo.

1.3.2.2 CAL (Commun Appliance Language)¹¹

CAL es el lenguaje que utilizan los dispositivos CEBus para comunicarse. Es un lenguaje orientado a comandos que permite controlar dispositivos CEBus y asignar recursos. El lenguaje es un elemento de la capa de aplicación.

¹¹ <http://odisea.ii.uam.es/esp/recursos/Cebus>.

Las funciones de asignación de recursos permiten pedir, usar y liberar recursos CEBus. Las funciones de control proporcionan la capacidad de enviar comandos CAL a dispositivos remotos, así como también responder a comandos CAL.

CAL utiliza el paradigma de programación orientada a objetos. Cuando un objeto recibe un mensaje se ejecuta alguno de los métodos disponibles. Un mensaje consiste en un identificador de método seguido de cero o más parámetros. Cuando se recibe el mensaje, se busca en la lista de métodos cual es el que tiene el identificador y se si se encuentra, se ejecuta. Ej: si se quiere subir el volumen de la radio en tres unidades, habrá que mandar un mensaje al objeto que controla la radio en cuestión en el que se invoque el método de subir volumen con el parámetro 3.

Los objetos CAL no se organizan en jerarquías (no existe el concepto de herencia tal como se entiende en OO) sino que el comportamiento depende del contexto en el que se encuentre. Ej. Se tiene un objeto de control analógico, este se puede usar tanto para representar un control de volumen, un termostato o un dimmer. La función exacta vendrá determinada por el contexto en el cual es instanciado el objeto.

1.3.3 SCALABLE NODE ADDRESS PROTOCOL (SNAP)¹²

El protocolo SNAP fue desarrollado por la empresa sueca High Tech Horizon, en un principio, para su módem PLM-24 (módem PLC). El protocolo es abierto, gratuito, independiente del medio, orientado a control y muy fácil de implementar especialmente con microcontroladores que tienen recursos de memoria muy limitados, pero también se lo puede utilizar en sistemas mucho más grandes debido a la propiedad que tiene de ser dimensionable.

SNAP permite diferentes longitudes de paquete y diferente complejidad del protocolo, es decir, puede ser utilizado como un protocolo muy simple sin banderas (Flags) o detección de errores, o el programador puede utilizar hasta 24 banderas y cualquiera de los métodos de detección de errores definidos dependiendo de la necesidad (o habilidad del programador). Debido a que es escalable, nodos simples y sofisticados pueden comunicarse entre sí dentro de la red.

¹² <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EpypkEukFAfuMngjBg.php>

1.3.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO

Toda comunicación entre nodos de red, es en forma de paquetes. Estos paquetes pueden ser de longitud diferente. La longitud total del paquete dependerá de cuántos bytes de dirección (0-6Bytes) se desea utilizar, cuántos bytes de banderas (0-3Bytes), cuántos bytes de datos se va a enviar (0-512Bytes) y qué método de detección de errores se aplicará. Todo esto está definido en los bytes de definición del encabezado (HDB2 y HDB1).

Cada paquete podría ser precedido por bytes opcionales de preámbulo y siempre comienza con un único byte: 01010100 llamado byte de sincronización (SYNC). Se puede utilizar cualquier tipo de caracteres de preámbulo siempre y cuando no coincidan con el byte de sincronización.

En la figura 1.19 se muestra un pequeño paquete SNAP con la siguiente estructura:

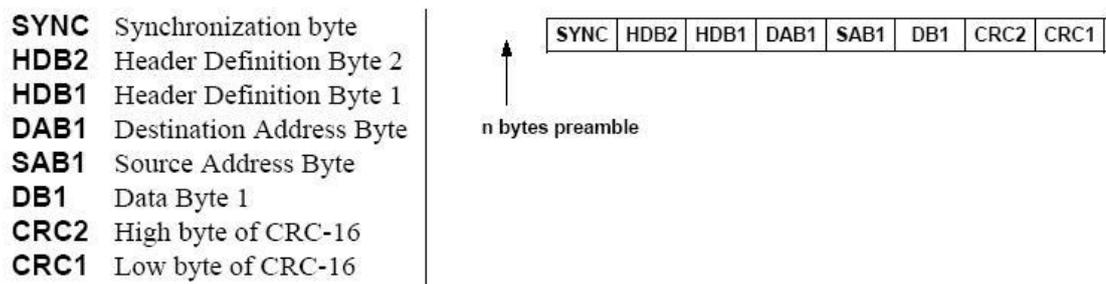


Fig 1.19: Paquete SNAP de 8 bytes

La longitud total de este paquete es 8 bytes (sin tomar en cuenta los bytes de preámbulo). Todos los bytes dentro de un grupo están situados con el byte menos significativo a la derecha.

HDB2 y HDB1¹³

Los dos primeros bytes después del byte de sincronización (SYNC) son los bytes de definición de encabezado y se utilizan para definir la estructura completa del paquete que se va a transmitir y los nombres de los campos se han seleccionado para ser fáciles de recordar.

¹³ http://odisea.ii.uam.es/esp/recursos/Otros_protocolos.htm

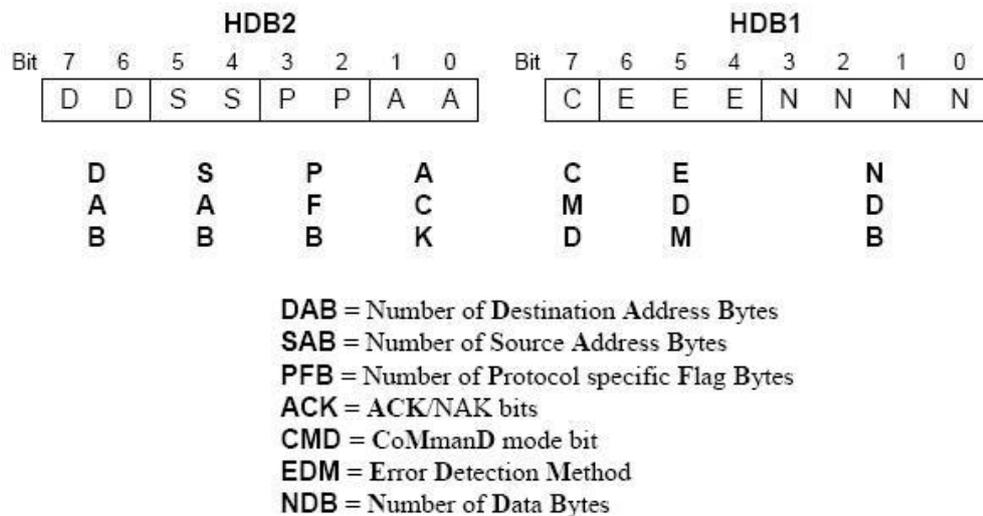


Fig 1.20: Bytes de Definición de Encabezado

Para el byte HDB2 se definen los siguientes bits:

- Los bits DAB y de SAB definen el número de bytes de direcciones de destino y fuente respectivamente en el paquete. Con un tamaño máximo de 3 bytes, se tiene un total de 16777215 direcciones diferentes.
- Los dos bits PFB definen cuantos bytes de banderas específicas del protocolo se incluyen en el paquete. El máximo es 24 banderas.
- Los bits ACK definen si el nodo que envía, solicita una respuesta ACK/NAK de acuerdo a la tabla 1.4.

Tabla 1.4: Solicitud de ACK

Bit	1	0	
	0	0	No ACK request (Tx)
	0	1	ACK request (Tx)
	1	0	ACK response (Rx)
	1	1	NAK response (Rx)

Para el byte HDB1 se definen los siguientes bits:

- El bit CMD que indica el modo de comando. Es una característica opcional, si no está implementada en un nodo, este bit debería ser fijado en cero. Un nodo que implemente esta característica podrá responder consultas (queries) de otros nodos así como también enviar respuestas cuando por ejemplo el nodo receptor no puede manipular la estructura del paquete de un paquete recibido. Puede

usarse para examinar por nodos en redes grandes y tener respuesta de sus capacidades o para dos nodos negociando la estructura correcta del paquete, entre otras cosas. Si este bit está en 1, indica que el dato en DB1 contiene un comando (consulta o respuesta). Esto resulta en 256 comandos diferentes en total.

El rango está dividido en dos grupos, los comandos entre 1-127 son consultas y los comandos entre 128-255 son respuestas. Los comandos especificados hasta la fecha son los siguientes:

Tabla 1.5: Modo de comando (bit CMD)

CMD	CONSULTA	CMD	RESPUESTA
0	Modo de comando implementado?	128	Modo de comando implementado
1	Estructura de paquete preferida?	129	Estructura de paquete preferida
2	Reservado pero no definido?	130	Reservado pero no definido
...
127	Reservado pero no definido?	255	Reservado pero no definido

Para que esto funcione correctamente, se debe acotar lo siguiente: el nodo remitente no puede usar un rango de dirección superior que el nodo receptor. Este no es un problema si los nodos receptores que implementan esta característica son capaces de manipular todo el rango de direcciones (1-16777215). Otra solución, en el caso de que se esté utilizando una red maestro/esclavo, es asignar a todos los equipos “maestro” de la red el rango de direcciones bajo (1-255).

- Los tres bits correspondientes a EDM definen qué método de detección de errores se está utilizando para validar los paquetes.

Tabla 1.6: Método de detección de errores

Bit	6	5	4	
	0	0	0	No error detection
	0	0	1	3 times re-transmission
	0	1	0	8-bit checksum
	0	1	1	8-bit CRC
	1	0	0	16-bit CRC
	1	0	1	32-bit CRC
	1	1	0	FEC (specific FEC standard TBD)
	1	1	1	User defined

- Los cuatro bits NDB definen cuántos bytes de datos hay en el paquete.

Tabla 1.7: Cantidad de bytes por paquete

Bit	3	2	1	0	# de Bytes
	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	1
	0	0	1	0	2
	0	0	1	1	3
	0	1	0	0	4
	0	1	0	1	5
	0	1	1	0	6
	0	1	1	1	7
	1	0	0	0	8
	1	0	0	1	16
	1	0	1	0	32
	1	0	1	1	64
	1	1	0	0	128
	1	1	0	1	256
	1	1	1	0	512
	1	1	1	1	User specified

Finalmente se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- El byte de sincronización no es incluido en el cálculo de detección de errores.
- Si un nodo es capaz de usar 2 o 3 bytes DAB, entonces también debería ser capaz de decodificar 1 o 2 bytes DAB para compatibilidad.
- Si un nodo es capaz de usar 2 o 3 bytes de longitud de dirección SAB pero está configurado para usar una dirección baja que se ajusta a 1 byte (1-255), entonces se debería usar 1 byte de longitud SAB con todos los paquetes de salida para tener compatibilidad con nodos que únicamente pueden manejar direcciones de 1 Byte.
- Si se envían paquetes por un medio: Power Line, RF o IR; estos deberían tener menos de 40 bytes para mejorar el desempeño.

1.3.4 OTROS PROTOCOLOS ESTÁNDAR¹⁴

Actualmente se están desarrollando otros protocolos, tales como:

- **Echonet:** estándar propuesto por Matsushita, Hitachi, Mitsubishi y Toshiba. Pretende ser una capa intermedia que aísle la complejidad de los buses físicos

¹⁴ http://odisea.ii.uam.es/esp/recursos/Otros_protocolos.htm

existentes, de forma que se obtenga una interfaz común para cada electrodoméstico. Está enfocado a ser el protocolo de control de dispositivos HAVI.

- **HBS (Home Bus System):** estándar con vigencia en Japón. Creado a partir de un consorcio de empresas japonesas y apoyado por el gobierno. Abarca la comunicación entre electrodomésticos, teléfonos y equipos de audio-video utilizando par trenzado y cable coaxial.
- **HES (Home Electronic System):** Es un estándar desarrollado por ISO (International Organization for Standardization) y el IEC (International Electrotechnical Commission). El objetivo principal es especificar el hardware y software requerido de tal forma que una empresa pueda diseñar un producto que funcione en varias redes domóticas.
- **SmartHome:** creado por un consorcio de fabricantes norteamericanos que especifica una red cableado de control centralizado. La novedad se encuentra en que en paralelo a la red de control (sensores/actuadores) se define una red de cable coaxial para el transporte de video y audio, así como se define una pasarela con la red pública de teléfono.
- **SSDN (Smart Systems Digital Network):** tecnología enfocada a redes de área local y de control basada en el protocolo de transmisión en serie que utilizan las UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter).
- **HomeConnex:** es una red dedicada a conectar PCs, TVs, dispositivos de audio/video y set-top boxes integrándolos en un único sistema.
- **No New Wires:** tecnología desarrollado por Intellon para realizar comunicaciones de alta velocidad sobre las líneas existentes de red eléctrica y par trenzado. Incorpora el estándar CEBus.
- **EIA-776:** estandarización de puentes entre CEBus y EIB.

1.4 POWER LINE COMMUNICATION (PLC)¹⁵

También denominada BPL (Broadband over Power Lines) es una tecnología basada en la transmisión de datos utilizando como infraestructura (medio de transmisión) la red eléctrica. Esto implica la capacidad de ofrecer, mediante este medio, cualquier servicio basado en IP, como podría ser: telefonía IP, Internet, videoconferencia, datos a alta velocidad, etc.

¹⁵ http://es.wikipedia.org/wiki/Power_line_communication

Posibilita la transmisión de voz y datos a través de una infraestructura ya desplegada, los cables eléctricos, permitiendo convertir los enchufes convencionales en conexiones a los servicios de telecomunicaciones antes mencionados. En definitiva, constituye una alternativa real a las actuales tecnologías de acceso local (Última Milla).

Adicionalmente, al utilizar los cables eléctricos como medio de transmisión, la instalación eléctrica domiciliar se comporta como una red de datos en donde cada tomacorriente se convierte en un potencial punto de conexión al mundo de la Internet.

Hay dos tipos principales de Power Line Communication:

PLOC (Power Line Outdoors Communication o comunicaciones extrahogareñas utilizando la red eléctrica). Esto es, la comunicación entre la subestación eléctrica y la red doméstica (electro-módem).

PLIC (Power Line Indoors Communication o comunicaciones intrahogareñas utilizando la red eléctrica). Esto es, utilizar la red eléctrica interior de la casa, para establecer comunicaciones internas. Un ejemplo: PLIC es una de las vías utilizadas en domótica (otra que se suele utilizar también es la comunicación vía radio).

1.4.1 HISTORIA DEL PLC ¹⁶

La idea de utilizar el cable eléctrico para transmisión de información no es nueva. El uso de PLC en sus orígenes (años 50) se limitaba al control de líneas eléctricas y a la transmisión a baja velocidad de las lecturas de los contadores. Ha sido una tecnología usada desde hace aproximadamente 20 años, en el seno de las propias compañías eléctricas empezaron a utilizar sus propias redes para la transmisión de datos de modo interno.

Las primeras pruebas piloto serias realizadas, datan de 1997 en el Reino Unido y una audiencia de 200 usuarios, la compañía canadiense Nortel y la británica West Electricity Board crean Norweb. Esta empresa cerró hace 3 años (2002) pero estableció las bases de lo que se conoce como transmisión de datos por la red eléctrica.

¹⁶ http://html.rincondelvago.com/plc_1.html

Durante finales de los noventa los avances tecnológicos realizados permitieron alcanzar velocidades de transmisión de Mega bits.

La compañía OneLine completó con éxito una prueba en Alemania realizada sobre 8 hogares, la velocidad alcanzada fue 8 Mbps.

Bewag.Dublin, realizó pruebas basadas en CDMA pero no llegó a implementarse por falta de socio tecnológico.

RWE/ASCOM/Kevin efectuó el primer ensayo piloto probando tecnologías de acceso desde un transformador de bajo voltaje a 200 hogares.

Siemens/ENBW/Tesion, en agosto de 1998, utilizando modulación OFDM alcanzó una velocidad de transmisión de 1.2 Mbps en una topología de red estrella.

DS2, una empresa española, desde 1998 desarrolla productos para PLC.

La UE (Unión Europea) aprobó una directiva en la que reconocía que la red eléctrica de baja y media tensión son unos soportes válidos para el desarrollo de telecomunicaciones y para brindar el servicio, las Empresas Eléctricas tendrán que solicitar licencias para operar en el mercado de las telecomunicaciones a la CMT.

A finales del 2003 se identificaban ya más de 80 iniciativas PLC en un total de 40 países con más de 27000 usuarios instalados, mostrando las Empresas Eléctricas un interés especial en dicha tecnología. Lo anterior permite que el PLC sea ahora una tecnología de acceso probada a través de varios países en forma simultánea con más de 10 lanzamientos comerciales liderados por DS2 que han alcanzado mayores velocidades.

1.4.2 COMO FUNCIONA¹⁷

El concepto técnico es sencillo, desde la estación de transformación hasta el usuario final se utiliza la red eléctrica y a partir de la estación de transformación se conecta con la red de telecomunicaciones convencional. Esto supone que se podrá tener acceso a Internet en cualquier punto de la geografía donde llegue la red eléctrica no

¹⁷ <http://www.satconxion.es/productos-servicios-redes-plc-desc.php>

siendo necesario disponer de la red telefónica, lo que posibilita el acceso a Internet en puntos donde la red telefónica no llega.

La señal utilizada para transmitir datos a través de la red eléctrica suele ser de 1,6 a 30Mhz, la cual difiere mucho de la frecuencia de la red eléctrica convencional (60Hz), esto supone que la posibilidad de interferencias entre ambas señales es prácticamente nula.

El sistema de comunicaciones sobre red eléctrica consiste en una red full dúplex punto a multipunto con los elementos siguientes:

- HE: Equipo Cabecera.
- CPE: Equipo de usuario.
- HG: Pasarela o Gateway.

En el sentido que la comunicación sea punto a multipunto se refiere a que es una comunicación bidireccional establecida entre un transmisor ubicado en un punto fijo y múltiples receptores ubicados en varios puntos fijos.

- Equipo Cabecera (Head End, HE): Actúa como un router y se sitúa junto al transformador, por lo general de media a baja tensión.
- Equipo de Usuario (Customer Premise Equipment, CPE): El módem o dispositivo de usuario.
- Pasarela de Usuario (Home Gateway, HG): Que se emplea como repetidor en aquellos casos en los que la señal es reducida, o incluso como router.

La tecnología PLC basa su estructura de funcionamiento en la utilización de los cables eléctricos como medio de transporte desde la central eléctrica hasta el cliente, permitiendo entregar el servicio de Internet banda ancha. La energía eléctrica llega a los usuarios en forma de corriente alterna de baja frecuencia (60Hz en nuestro país); para PLC se utiliza alta frecuencia (1,6 – 30MHz) para transportar datos, voz y video.

Otro equipo importante dentro de la red es el módem PLC que necesita una empresa o un usuario doméstico en su casa. Este equipo modula y demodula la frecuen-

entre todos los usuarios que colgarán de dicho Repetidor, con un máximo de 256 usuarios.

Continuando con la explicación de la arquitectura de la red, el siguiente tramo de la red transcurre entre el “Repetidor” y su “Head End” correspondiente. Después se pasa a un nivel en el que los equipos “Head End” se comunican entre sí. Este nivel corresponde a la red de Media Tensión. Aquí, las velocidades actuales son de 135 Mbps.

Para dar salida a Internet uno o varios de los “Head End” se conectan a una red de transporte clásica en este caso fibra óptica (como se muestra en la figura 1.21). Esta red de transporte proporciona la salida a Internet.

Otra característica importante a la hora de describir una tecnología, es la forma cómo se realiza el control de acceso al medio de transmisión donde las redes que se componen de una serie de dispositivos que deben compartir la capacidad de transmisión y para evitar conflictos y errores a la hora de transmitir, se hace necesario algún método de control de acceso al medio de transmisión.

Para el caso de PLC y para cada tecnología, el protocolo de acceso al medio es el factor que caracteriza su evaluación en cuestión de rendimiento, fiabilidad, disponibilidad y gestión de red.

Los factores de evaluación, se definen de la siguiente manera:

- Rendimiento: depende del grado de aprovechamiento del medio, su capacidad para repartir el derecho de acceso y la resolución de conflictos de acceso.
- Fiabilidad: el protocolo debe proporcionar los mecanismos necesarios para asegurar un servicio continuo sin errores y debe ser capaz de detectar y corregir situaciones anómalas.
- Disponibilidad: la oportunidad de acceso debe estar en todo momento bien repartida entre todas las estaciones conectadas a la red.
- Gestión de red: aspectos como la reconfiguración de la red, gestión de nodos como prioridades, direccionamiento a todas las estaciones (broadcasting), etc. deben estar incluidos en el método de acceso.

El protocolo del MAC (a nivel de la capa de enlace) controla la forma de compartir el medio de transmisión entre clientes múltiples, mientras que el PHY (a nivel de la capa física) especifica la modulación, codificación, y formatos básicos del paquete.

Para el nivel físico en PLC se habla de OFDM como la técnica básica de transmisión de información que actualmente se utiliza en DSL y televisión satelital; la diferencia radica en que PLC utiliza OFDM en un a forma múltiple a diferencia de las mencionadas que la utilizan en forma continua o de igual manera lo que se hace es repetir el bit a transmitir varias veces de tal manera que el receptor tenga todas las posibilidades de que finalmente el bit llegue a su destino y que los envíos puedan recuperarse.

La modulación OFDM divide la secuencia de datos a transmitir a alta velocidad en múltiples pedacitos cada uno de los cuales tiene un índice binario relativamente bajo, el resultado es llamado un símbolo OFDM, cada símbolo tiene una duración igual al recíproco del espaciado del subportador y generalmente mucho tiempo comparado con la tasa de datos. En el receptor los datos son recuperados aplicando solamente la Transformada Rápida de Fourier regresando la señal al dominio de la frecuencia, las figuras 1.22 y 1.23 ilustran los aspectos referenciados anteriormente.

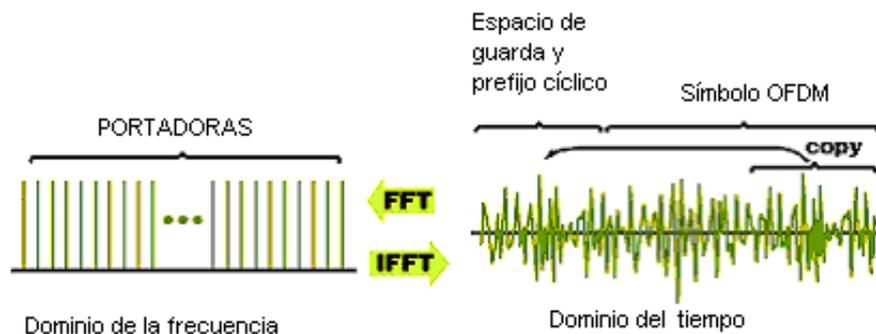


Fig 1.22: Transformación del dominio de frecuencia al dominio del tiempo.

La figura 1.23, ilustra el esquema planteado por la tecnología PLC.

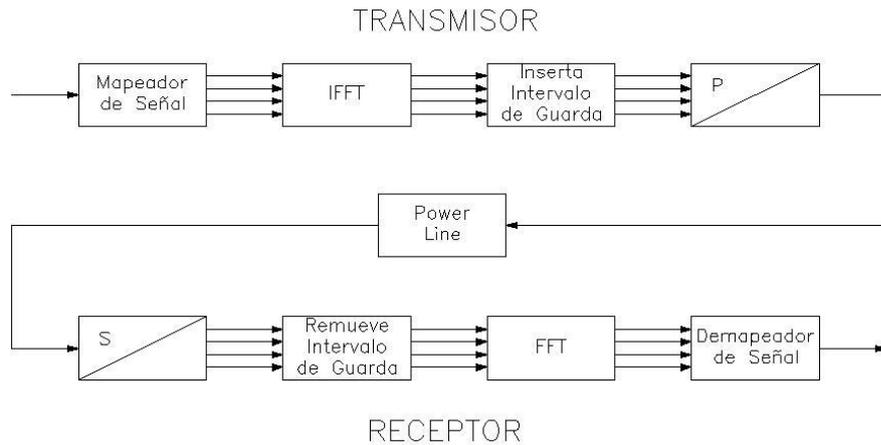


Fig 1.23: Esquema Tecnología PLC

Analizando la forma de onda en el dominio del tiempo de la figura 1.22, se observa que incluye un prefijo cíclico (Cyclic Prefix), que es una réplica de los últimos microsegundos del símbolo OFDM, los mismos que se encargan de absorber la interferencia “intersímbolo” ya que la tardanza presentada por el canal no es constante con la frecuencia.

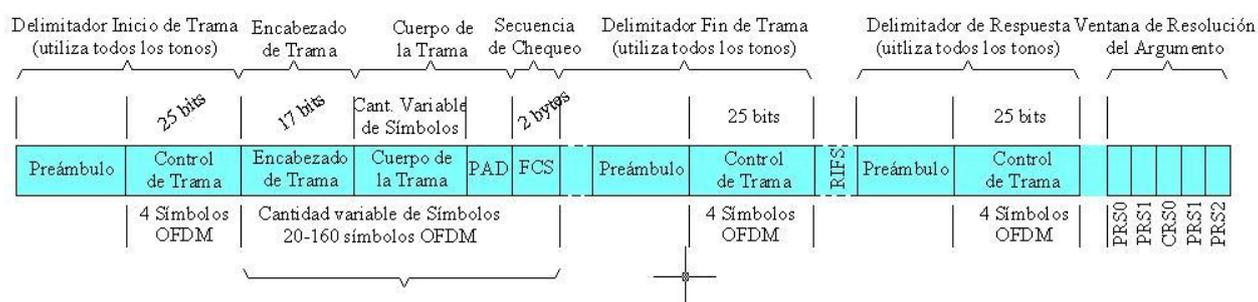
Sin este prefijo algunas muestras usadas en la FFT contendrían energía del anterior o el siguiente símbolo OFDM, si el prefijo cíclico es tomado a lo largo de una variación, entonces se debe esperar hasta el final del prefijo para comenzar a tomar muestras para usar la FFT así se asegura que la FFT no sea alterada por los símbolos vecinos.

Esta tecnología utiliza codificación Viterbi concatenado a Reed Solomon como corrección progresiva de errores (FEC); la codificación Viterbi es un código estándar de corrección de errores utilizado para corregir bits corruptos en el receptor. La codificación Viterbi añade bits extra a la cadena de bits cerrada de igual manera la codificación Reed Solomon es un código estándar de corrección de errores utilizado para corregir los bits corruptos en recepción para los datos de la carga útil.

Además, la seguridad en el nivel de transporte se basa en el protocolo TPC, combinado con el protocolo de red IP quien se encarga del direccionamiento de la información en la red, es decir, es quien se encarga de que el dato llegue a su destino bien sea con errores o sin ellos.

El protocolo del MAC en la tecnología de HomePlug PLC consiste en el acceso múltiple de portadora inteligente con evitación de colisión bien conocido como protocolo de la evitación de la colisión (CSMA/CA). El uso de CSMA/CA significa que el canal físico debe apoyar a la transmisión y a la recepción; es decir, a cada cliente se le permite su transmisión solamente cuando tiene datos a enviar. Primero que todo verifica si el medio está o no ocupado, si no está ocupado espera un momento y si en ese tiempo el canal es ocupado por otro entonces espera al final para realizar cualquier acción. Al terminar regresa al estado apagado para transmitir y vuelve al modo de recepción.

El paquete que lleva los datos consiste en una formación de símbolos OFDM que contiene un comienzo de trama (Start Frame Delimiter), una carga útil (Payload), y un final de trama (End Frame Delimiter) como se muestra en la figura 1.24. Para transmisiones unicast, el receptor responde transmitiendo una respuesta que indica el estado de la recepción (ACK, NACK, o Fallo) es decir, paquete bueno, detección de error en el paquete o recepción fallida.



Inicio de Trama Indica	Carga Útil (Payload)	Fin de Trama Indica	Respuesta Indica	PRSO & PRS1
Inicio de Trama Argumento de Control Longitud de Trama Índice de Mapa de Tonos	Hasta 13.75 Mbps Modulación adaptada y tonos Decodificada basada en mapa de tonos Extensible para mayores velocidades	Fin de Trama Argumento de Control Prioridad de Acceso al Canal	ACK - paquete sin errores NACK - errores detectados Longitud de Trama FAIL - receptor ocupado	1 1 - prioridad más alta (3) 1 0 - prioridad 2 0 1 - prioridad 1 0 0 - prioridad más baja (0)

Fig 1.24: Formato de Transmisión Power Line Communications.

El delimiter consiste en una secuencia de preámbulo seguida por una codificación TPC que consiste en el campo de control de trama. La secuencia de preámbulo es escogida para proporcionar buenas propiedades de correlación, también el receptor

puede realmente detectar el delimitador, hasta la interferencia sustancial y una falta de conocimiento de la función de transferencia que existe entre el receptor y la interferencia de transmisor.

El control de trama contiene información de la dirección de la capa de enlace (por ejemplo la longitud del paquete, y el estado de respuesta). La tarifa baja de seguridad TPC y el interleaving usado sobre el control de la trama proporciona buena inmunidad a la frecuencia contra daños selectivos así como la interferencia de banda ancha. Los tres tipos de delimitador tienen la misma estructura, pero los datos transportados en el delimitador varían dependiendo de su función.

A diferencia del delimitador, el payload o mejor dicho la parte de la carga útil del paquete es entendida solamente por el receptor de destino, los datos del payload son transportados sobre un juego de portadores que han sido convenidos anteriormente por el transmisor y entendido durante la recepción y un procedimiento de adaptación del canal.

El control de trama indica si el delimitador está al principio de una trama o al final de ella o es la respuesta delimitador; el principio de trama (Star Frame Delimiter) especifica la duración del payload para continuar, mientras otro delimitador implícitamente define dónde la transmisión falla, así si un receptor puede descifrar el control de la trama en el delimitador, éste puede determinar la duración para la cual el canal será ocupado por esta transmisión. Si el receptor no puede descifrar el control de trama, debe asumir que un paquete de longitud máxima está siendo transmitido

La destinación siempre reconoce paquetes unicast en la capa de enlace para transmitir la respuesta delimitador, si la fuente falla al recibir un reconocimiento se asume que una colisión ha causado el fracaso.

La destinación también puede escoger el signo FAIL si tiene insuficientes recursos para procesar la trama o NACK para indicar que el paquete fue recibido con los errores que no podían ser corregidos por el FEC.

El protocolo de resolución de contención incluye un algoritmo tipo random hacia atrás, este algoritmo sirve para dispersar los tiempos de transmisión colocando las tramas en fila (o siendo retransmitidas debido a una colisión) mientras el canal es-

taba ocupado, de igual forma proporciona un modo de asegurar que los clientes obtengan acceso al canal por orden de prioridad.

Lo anterior quiere decir que mientras un nodo completa una transmisión, otros nodos con paquetes hicieron cola para transmitir su prioridad en un intervalo de resolución de prioridad indicado en la figura 1.24 como PRS0 y PRS1. Por esta razón los signos usan On/Off, también son asignadas las prioridades, así la prioridad más alta puede ser extraída fácilmente incluso cuando múltiples usuarios señalan prioridades diferentes al mismo tiempo.

1.4.3 CARACTERÍSTICAS DESTACADAS DE PLC

Los aspectos importantes de la tecnología PLC son:

- Tecnología de banda ancha
- Velocidades de transmisión que llegan hasta 45 Mbps.
- Proceso de instalación sencillo y rápido para el cliente final.
- Enchufe eléctrico (toma única de alimentación, voz y datos.)
- Sin necesidad de obras ni cableado adicional.
- Equipo de conexión (Módem PLC).
- Transmisión simultánea de voz y datos.
- Conexión de datos permanente (activa las 24 horas del día).
- Permite seguir prestando el suministro eléctrico sin ningún problema.
- Si la distancia es superior a 300 metros desde el domicilio, se deben poner repetidores.
- Cada aparato conectado a la red es controlado por una dirección IP individual.
- Los problemas derivados de interferencias y cortes de la red como consecuencia de su inestabilidad se han solucionado con un sistema de modulación que distribuye 400 portadores a lo largo de una banda que va de 0 a 50 megahercios.
- Como la tecnología PLC se ha posicionado como un servicio de tipo IP utilizará routers de paquetes en vez de los de conmutación de circuitos.

1.4.4 ESTADO ACTUAL DEL PLC

Disponible ya:

- En el mundo: A pesar de su corta vida, la tecnología PLC está al alcance de bastantes usuarios. En Alemania más de 200.000 personas disfrutaban de este tipo de conectividad.
- En España: A nivel nacional, los hoteles “Puente Romano” y “Marbella Club” ya llevan a sus habitaciones servicios y conectividad de red a través de la tecnología PLC, aunque todo parece indicar que pronto estará en 30 hoteles más. Por otro lado los programas piloto de Endesa e Iberdrola han llevado esta tecnología a varios miles de hogares españoles, repartidos sobre todo por Madrid, Barcelona, Sevilla y Zaragoza, experimentando con los servicios de acceso a Internet y voz sobre IP para comunicaciones telefónicas.

En definitiva, las barreras que hay que superar ahora son burocráticas y, de hecho, hace poco, dos eléctricas ya solicitaron a la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones ofrecer estos servicios, lo cual parece estar en sintonía con los rumores que apuntan a que en pocos meses se dispondrá de ofertas de conectividad a Internet por parte de las eléctricas.

Ascom es uno de los fabricantes que más pruebas de campo está realizando. Sus módems se encuentran en 14 países. Sus primeros pedidos en firme son de la eléctrica RWE.

Durante este año espera fabricar 100.000 módems eléctricos. Estos aparatos se conectan al enchufe y también al ordenador, teléfono o televisión.

1.4.5 COMPAÑÍAS PROVEEDORAS

Cómo compañías proveedoras, tenemos las siguientes:

1.4.5.1 DS2

DS2 (Diseño de Sistemas en Silicio) es una compañía española ubicada en el Parque Tecnológico de Paterna (Valencia), dedicada al desarrollo de microelectrónica

para comunicaciones. Su objetivo como empresa es ser el líder mundial en el mercado de módems de alta velocidad para transmisión de datos por las líneas eléctricas de media y baja tensión. Para ello desarrolla productos que doten a sus clientes de tecnologías de acceso "last-mile" (servicio de datos de alta velocidad hasta la casa o edificio del abonado) y "last inch" (distribución del servicio por toda la casa o edificio, e interacción entre los distintos equipos domésticos).

1.4.5.2 ENDESA NET FACTORY

Se constituye en mayo de 2000, con la finalidad de agrupar y promover las actividades de Endesa en el campo de las nuevas tecnologías. Entre sus objetivos destacan el promover y desarrollar iniciativas de comercio electrónico, invertir en nuevas tecnologías que potencien el valor de las redes existentes.

Cuenta con un presupuesto de 400 millones de euros para el periodo 2000-2004, inversión que permitirá poner en valor la gran base de activos tangibles e intangibles con que cuenta Endesa: 22 millones de clientes, redes de distribución, 332.000 millones de pesetas en aprovisionamientos, 9.000 proveedores y su presencia en múltiples sectores y los cinco continentes

1.4.5.3 HOMEPLUG¹⁸

Es una alianza que tiene por objetivo permitir y promover disponibilidad, adopción e interconexión de los equipos basados en Power Line Communications entre las principales empresas pertenecientes a esta alianza se encuentran:

- Asoka USA Corporation
- Belkin corporación
- Corinex Global Corporation
- Ethernet Gigafast
- Iogear
- Grupo Inc. de Linksys
- Netgear Inc
- Phonex de Banda Ancha

¹⁸ <http://xataka.com/archivos/2005/03/15-un-nuevo-estandar-para-la-i.php>

- Siemens
- Intellon Corporation

Empresas encargadas de suministrar los equipos necesarios para la transmisión de datos por línea eléctrica.

1.4.6 VENTAJAS DE PLC

Como ventajas de PLC, se pueden destacar las siguientes:

- Debido a que esta tecnología usa las redes eléctricas, puede estar presente en todos los hogares pues la mayoría de las personas cuentan con el servicio de energía eléctrica.
- Servicios de Internet por banda ancha, telé vigilancia, telefonía IP, servicio multimedia -vídeo streaming, música, televisión y radio digital y videoconferencia, domótica.
- Las redes eléctricas poseen mayor cobertura que las redes telefónicas.
- Los datos se transmiten a través de la instalación eléctrica preexistente, por lo tanto no se necesita de tender nuevas redes de datos, solo se necesita un enchufe para tener un punto de conexión de acceso a la información.
- Permite rapidez y economía en el despliegue del sistema.
- Ahorro en el cableado y líneas telefónicas
- Acceso al servicio de Internet las 24 horas
- Velocidad de conexión hasta 12 Mbps.

1.4.7 DESVENTAJAS DE PLC

- En primer lugar, hay que elegir un tipo de modulación que sea el más adecuado para la red eléctrica. En PLC se emplea la modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).
- Otro de los problemas reside en el número máximo de hogares por transformador. Como las señales de datos de Power Line no pueden sobrevivir a su paso por un transformador, sólo se utilizan en la última milla. El modelo europeo de red eléctrica suele colocar un transformador cada 150 hogares aproximadamente.

- Si se juntan estos dos factores, se comprueba que es necesario que todos los transformadores vengan dotados de servidores de estación base Power Line. Y cuanto menor es el número de usuarios por transformador, más se elevan las inversiones necesarias. Es por eso que en Europa será más rentable que en Estados Unidos, donde el número de usuarios por transformador suele ser de 10.
- En tercer lugar, están las interferencias. Al poco tiempo de realizarse las primeras pruebas se comprobó que algunas de las frecuencias no se podían usar porque generaban interferencias en otros servicios preexistentes. Por ejemplo, el uso de determinadas frecuencias en las cercanías de un aeropuerto podía interferir, y de hecho interfería, con las frecuencias de la torre de control y las de los radares de aproximación. También se puede llegar a interferir con las transmisiones convencionales de radio en FM con las de los servicios de emergencia, como bomberos o policía.
- En la actualidad muchas compañías eléctricas están realizando intensivas pruebas de campo. Como se ha comentado, en el caso español estas pruebas se están llevando a cabo con pequeños grupos de usuarios, pero no van a pasar demasiados meses antes de que se inicien pruebas masivas, y probablemente para finales de este año o principios del que viene comiencen pruebas piloto con ciudades enteras. Esto va a permitir calibrar el monto global de las inversiones.

1.4.8 COMPARATIVA

Actualmente la tecnología PLC está en desarrollo y en pruebas, si bien es cierto que en Alemania, Suecia y España, algunas compañías ya están ofreciendo este servicio a sus clientes, en España, Iberdrola ha comenzado a ofrecer un servicio a gran escala de 600 Kbps simétricos desde finales del 2003.

La comparativa es para dar una idea de las posibles diferencias entre las distintas tecnologías, se rumora que el precio de la tecnología PLC será bastante inferior al de los actuales ADSL en el mismo rango de velocidades, que junto con su mayor velocidad de conexión la convierten en una llamativa tecnología (esto sin hablar de sus innumerables ventajas).

A continuación en la tabla 1.8 se observa un cuadro comparativo entre las diferentes tecnologías de acceso a internet en la actualidad.

Tabla 1.8: Comparativo de las tecnologías en Internet

	PLC Residencial	PLC Acceso a Internet	Wi-Fi Residencial	DSL	MODEM
Velocidad	Hasta 10 Mbps.	Limitada por los proveedores según la modalidad	Hasta 54 Mbps.	Hasta 2Mbps.	56Kbps.
Ubicuidad	Conexión en los enchufes de la vivienda.	Conexión en los enchufes de la vivienda.	Conexión en cualquier lugar con cobertura	Limitada a la toma de teléfono.	Limitada a la toma de teléfono.
Instalación a nivel de Infraestructura	Se necesita un dispositivo para interconectar la red eléctrica con la de datos.	Las eléctricas deben interconectar el “backbone” de Internet a la red de distribución	Se necesita instalar puntos de acceso wi-fi para ofrecer cobertura de red.	Las compañías deben conectar el backbone de Internet a las centralitas telefónicas.	Las compañías deben conectar el backbone de Internet a las centralitas telefónicas.
Instalación a nivel de Usuario	Se necesita un módem conectado a los enchufes del hogar.	Se necesita un módem conectado a los enchufes del hogar.	Se precisa el uso de una tarjeta wi-fi en los ordenadores.	Se precisa un módem o un router conectado a la toma telefónica.	Se necesita un módem conectado a la línea telefónica.
Disponibilidad	24 horas al día.	24 horas al día.	24 horas al día.	24 horas al día con tarifa plana.	Limitada, pues comparte la línea con el teléfono convencional.
Coste	Reducido al reutilizarse el cableado eléctrico.	Posiblemente similar a la del ADSL.	Depende del número de puntos de acceso necesarios.	La conexión básica ronda los 36 y 48 dólares mensuales.	Reducido, unos 18 dólares mensuales.
Complejidad Técnica	Muy reducida. Instalación en un día.	Reducida. Sólo hace falta enchufar el módem a las tomas de corriente.	Media alta, se precisa una conexión detallada.	Media baja, no siempre se acierta a configurar correctamente los parámetros.	Baja, en la mayoría de procesos de conexión es automático.
Número de Usuarios Simultáneos	Limitado por el número de tomas de corriente.	Limitado por el número de tomas de corriente	Limitado por el ancho de banda disponible.	Típicamente uno, para aumentarla se necesitan dispositivos tipo router.	Un usuario. No tiene sentido compartir la velocidad muy baja.
Usuarios Potenciales	La red eléctrica llega prácticamente a todas las dependencias de un edificio.	La red eléctrica cubre prácticamente la totalidad geográfica.	Hay que instalar puntos de acceso para llevar el acceso a los usuarios.	A pesar del alcance de la red de telefonía, está por debajo de la red eléctrica.	A pesar del alcance de la red de telefonía, está por debajo de la red eléctrica.

CAPÍTULO II

HARDWARE Y SOFTWARE PARA EL CONTROL DE ILUMINACIÓN DOMÉSTICO

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Inicialmente, la única manera de construir una instalación domótica era con el uso de sensores y actuadores que se unían, con una arquitectura centralizada, a un autómatas o controlador que tenía almacenada toda la inteligencia que se exigía a la vivienda. Casi siempre eran sistemas propietarios, muy pocos flexibles y que hacían muy difícil y costoso el aumento de las prestaciones.

Pero desde hace pocos años, gracias a la drástica bajada de los precios del hardware electrónico, es posible construir sensores y actuadores con inteligencia suficiente como para implementar "una red de área local" de control distribuido. Con una arquitectura distribuida y apoyándose en tecnologías o estándares como X10, EIB o CEBus, entre otros, la domótica ha ganado en facilidad de uso e instalación, en flexibilidad, en modularidad y en interconectividad a la vez que ha reducido su coste, y ha ampliado la gama de productos, fabricantes e instaladores que trabajan en este campo.

En las arquitecturas distribuidas, las redes de control pueden intercambiar los mensajes mediante cables de pares trenzados, con corrientes portadoras sobre la misma red de baja tensión (Power Line Communication), vía radio, por fibras ópticas, con cable coaxial, etc. Siendo las dos primeras las de uso más frecuente, el resto se usan allí donde alguna de sus prestaciones es imprescindible debido a los requisitos de la instalación.

A pesar de la aparición de estándares y tecnologías que han abaratado y reducido la complejidad de las instalaciones domóticas, hasta la fecha esta industria no ha tenido la difusión y demanda esperada por parte de los propietarios de las viviendas. Muy poca gente está dispuesta a pagar los costes adicionales que implica construir una "vivienda inteligente", la sensación entre el valor añadido y los costes en que se incurren no justifica, para la mayoría de los usuarios, la inversión.

Pero ahora, gracias a Internet, estamos viendo como están apareciendo multitud de fabricantes y proveedores de servicios que están desarrollando nuevos productos que conjugan lo mejor de Internet (bajo costo, amplia difusión, presentación Web y WAP) con tecnologías de redes de datos y control asequibles y estandarizadas que seguramente van a darle a la domótica el impulso definitivo para despegar.

Quizás a partir de ahora, aunque se sabe que el concepto de domótica lleva implícitos el telecontrol y la telemetría de la vivienda, sería más interesante empezar a usar el término "Teledomótica" para llamar la atención de las asociaciones que se están produciendo entre Internet, la telefonía móvil y la domótica en sí.

En lo que respecta al presente proyecto, y luego de analizar varias alternativas de hardware y software existentes en el mercado, se implementará un sistema que utilice para la comunicación sobre la red eléctrica el protocolo X10 y para la interfaz de usuario Labview. Las características del sistema a implementarse se detallan a continuación.

2.2 HARDWARE

Para la construcción del sistema de control de iluminación se utilizarán los siguientes equipos: una estación base utilizando una computadora personal (PC-based host station), un tranceiver PLC y varias unidades de control como se muestra en la figura 2.1.

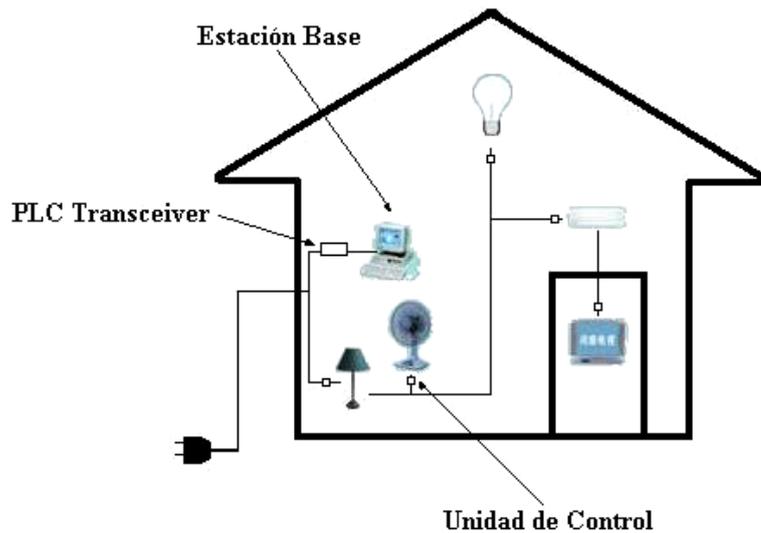


Fig 2.1: Arquitectura del sistema

Estación Base: llamada también host station, consiste en un computador personal, el mismo que se encarga de generar los códigos X10 necesarios mediante un software basado en Windows, se puede decir que es el "cerebro" del Sistema de Control. Se encuentra conectada al PLC transceiver mediante puerto USB. Puede funcionar independientemente, o puede ser configurada como una estación de trabajo de una red de área local existente. Tomando en cuenta esta última característica, también podría controlarse remotamente por Internet, de tal manera de poder encender luces de seguridad o monitorear la situación en la casa aún si no hay nadie en ella, aunque esta configuración no se aplicará en el presente trabajo.

PLC Transceiver: es un comunicador, su labor es dar soporte a la comunicación entre la estación base y las unidades de control en el sistema. Al igual que el host, tiene una conexión USB para poder conectarse al mismo (PC), y en el otro extremo una interfaz de acoplamiento PLC para conectarse a las unidades de control mediante la red eléctrica, es decir se puede conectar en cualquier tomacorriente de la vivienda. El módulo que se utiliza para esto es el CM15A de ActiveHome y se muestra en la figura 2.2



Fig 2.2: PLC Transceiver CM15A

Este módulo tiene la capacidad de direccionar hasta 256 dispositivos conectados en la misma fase de la instalación eléctrica. La circuitería interna es un diseño patentado por la empresa PICO Electronics y se basa en el microcontrolador CY7C63723. Adicionalmente posee la capacidad de recibir comandos X10 RF con lo cual se puede controlar remotamente las unidades de control.

En lo que respecta a X10 Power Line, el módulo CM15A genera las ráfagas de 120KHz necesarias que conformarán el dato que el host debe enviar ya sea a una, varias o todas las unidades de control, y las inserta en la red eléctrica, tal como se indicó en el capítulo anterior.

Unidades de Control: son dispositivos que reciben los comandos enviados por la estación base y ejecutan la orden de control (encender/apagar). Se puede conectar hasta 256 unidades de control con el mismo transceiver. En el mercado actual existe una gran variedad de estos módulos, entre los más comunes se puede citar: unidades de lámparas, unidades de electrodomésticos, interruptores, sensores de temperatura, unidades de control de potencia, las mismas que se utilizan para controlar cargas especiales como motores o electrodomésticos que tienen un consumo de energía elevado.

Para el control de iluminación que se va a implementar, se utilizarán las siguientes unidades de control:

Módulo de Lámpara RLM20 para Casquillo.



Fig. 2.3: Módulo de lámpara RLM20

El módulo domótico de lámpara se enrosca directamente en el casquillo de la bombilla, con el que se puede controlar el encendido de luz ya sea interior o exterior, ya que basta con enroscar el módulo en el lugar donde antes estaba la bombilla. El módulo es de tipo encendido y apagado (on/off) y soporta una carga máxima de 150 W. El módulo responde a las siguientes órdenes del estándar X-10:

- ALL UNITS OFF (Todas las unidades Apagadas) desde cualquier controlador X-10 que coincida con el código de casa del módulo.
- ON (Encendido).
- OFF (Apagado).

Este módulo se usa para controlar luces ubicadas en zonas de difícil acceso como en jardines, exteriores o simplemente donde resulte más cómoda su utilización. Es ideal para simular presencia en un lugar determinado operando desde la INTERFAZ PROGRAMADOR PARA PC o para controlar manualmente las luces con cualquier mando de control X-10.

Las operaciones para configurar las direcciones con las que trabajará el módulo de lámpara RLM20 (Código de Casa y Unidad) son las siguientes:

1. El módulo RLM20 debe recibir alimentación del mismo tomacorriente al cual está conectado el PLC Transceiver (CM15A).
2. Mediante software se especifican los códigos de “casa” y “unidad”, los mismos que se deben enviar tres veces en intervalos de 1 segundo, más la orden de encendido ON. Esta operación no debe tardar más de 30 segundos.

3. A la tercera vez que se ha enviado el código, la unidad de lámpara se encenderá y dicho código quedará almacenado en la memoria del módulo.

Para modificar la dirección del módulo, se debe suspender el suministro de energía al módulo y reponerlo luego de un tiempo de 30 segundos aproximadamente y repetir los pasos anteriores.

Tabla 2.1: Especificaciones Técnicas Módulo RLM20

Tensión de alimentación	120 V +-10% / 60 Hz
Potencia	150 W (Solo lámparas incandescentes)
Seguridad eléctrica	Cumple la norma EN 60950 y EN 60065
Impedancia de entrada	>180 ohm (L-N) a 120 KHz
Temperatura funcionamiento	-10°C a 50°C
Dimensiones rosca	25,6 mm
Corriente alimentación	20 mA.

Módulo Interruptor de dos vías WS467



Fig. 2.4: Módulo interruptor de dos vías WS467

Este dispositivo cumple la función de un interruptor mecánico, se lo utiliza generalmente para controlar más de un dispositivo al mismo tiempo. Por ejemplo, calefacción, televisión, luces de sobremesa del salón, etc, con tan solo activar un botón, un interruptor o un mando a distancia, todo se conecta a la vez. Además de controlar directamente luces y electrodomésticos, se puede programar macros para ser activadas desde este módulo.

Tabla 2.2: Especificaciones Técnicas módulo WS467

Tensión alimentación	120 V/ 60 Hz
Potencia	500 W
Impedancia de entrada	> 180 ohm (L-N) a 120 Khz
Temperatura funcionamiento	-10°C a 50°C
Dimensiones	52 x 122 x 33 mm
Peso	340 gr.

Módulo para lámparas LM465

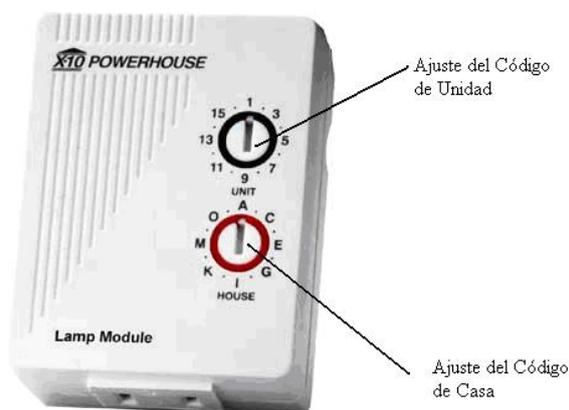


Fig. 2.5: Módulo para lámparas LM465

Estos dispositivos actúan como receptores de señal X10, es decir, reciben una orden a través de la corriente eléctrica a la que están conectados y la ejecutan. En el caso del módulo de lámpara LM465, esa orden puede ser encender, apagar, atenuar o intensificar la luz. Soporta luces de hasta 300 W de potencia.

Tabla 2.3: Especificaciones Técnicas módulo LM465

Tensión alimentación	120 V/ 60 Hz
Potencia	60 – 300 W (Solo lámparas incandescentes)
Impedancia de entrada	55 ohm (L-N) a 120 Khz
Temperatura funcionamiento	-10°C a 50°C
Dimensiones	52 x 122 x 33 mm
Peso	340 gr.

Tiene múltiples aplicaciones ya que como se ha indicado, es la pieza básica del sistema de domótica X10. Sirve para conectar todo tipo de lámparas incandescentes (lámparas normales) a excepción de los focos halógenos.

Para su instalación, simplemente se conecta la lámpara que se va a controlar al módulo de lámpara, y todo este conjunto se conecta a cualquier toma de 120V. Luego se asignan los códigos de “casa” y “unidad” con los diales situados en la parte frontal como se indica en la figura 2.6. Para encender varias lámparas a la vez con el mismo interruptor, bastará con asignarles los mismos códigos.

En la siguiente figura se indica un esquema de la conexión de los diferentes módulos en la red eléctrica al interior de una vivienda.

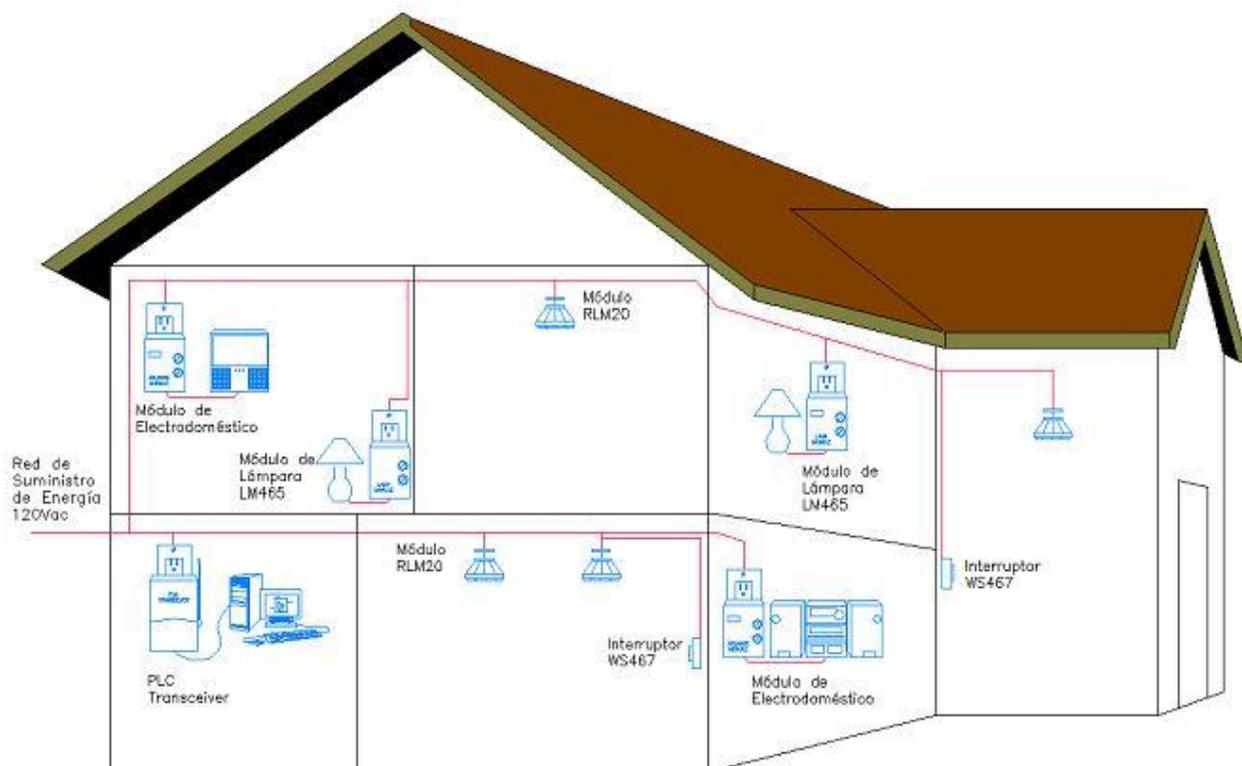


Fig. 2.6: Conexión de módulos X10.

2.3 SOFTWARE

Una vez definido el hardware que se va a utilizar para el presente proyecto, es necesario crear una aplicación de software que genere los códigos X10 correspondientes para controlar los módulos detallados en el apartado anterior. Esto implica crear una aplicación sencilla pero a la vez eficiente y acorde a la realidad actual de los programas para computadoras, es decir, con un ambiente de trabajo amigable para el usuario final.

Hoy en día existen muchas herramientas (lenguajes) de programación que permitirían cumplir con las tres características primordiales planteadas para el programa de control: sencillez, eficiencia e interfaz amigable. Con este criterio de selección, se ha decidido utilizar Labview, ya que constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos. Algunas de las ventajas que proporciona el empleo de LabVIEW son las siguientes:

- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.
- Tiene la capacidad de trabajar ya sea como cliente o servidor en aplicaciones ActiveX.

La última característica anotada presenta grandes beneficios al presente proyecto, ya que al utilizar Labview como cliente ActiveX, no es necesario programar el manejo del puerto USB, debido a que el módulo principal del sistema (transceiver CM15A) ha sido diseñado para comunicarse con un computador mediante puerto USB y por consiguiente el fabricante del equipo ya ha implementado las rutinas de manejo del puerto, por lo tanto resulta más conveniente crear una aplicación cliente – servidor entre Labview y el software del fabricante.

2.3.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE ActiveX

ActiveX es el nombre general para un grupo de tecnologías de Microsoft que permiten a los usuarios reutilizar códigos y enlazar programas independientes para satisfacer sus necesidades computacionales.

Basada en tecnología COM (Component Object Model), ActiveX es una extensión de una tecnología previa llamada OLE (Object Link and Embedding). El principio es que los componentes no necesitan ser regenerados por cada programa, sino más bien, reutilizados para darle al usuario la capacidad de combinar aplicaciones conjuntamente. Labview ofrece soporte para ActiveX como cliente o servidor así como para eventos ActiveX.

AUTOMATIZACIÓN ActiveX

También conocida como ActiveX/COM, se refiere al proceso de controlar un programa desde otro vía ActiveX. Al igual que en redes, un programa actúa como cliente y el otro como servidor.

Ambos programas (cliente y servidor) existen independientemente uno de otro, pero pueden intercambiar información entre sí. Este intercambio de información se consigue a través de la comunicación del cliente con el objeto ActiveX que el servidor muestra.

Los objetos tienen propiedades y métodos a los cuales puede acceder el cliente. Las propiedades son simples atributos de un objeto cuyos valores pueden ser modificados desde otros programas. De manera similar, los métodos son funciones que están desarrolladas en los objetos y pueden ser invocadas desde otro programa.

CONTROLES Y CONTENEDORES ActiveX

La forma más común de utilizar ActiveX es mediante controles ActiveX, los mismos que son componentes que existen dentro de los contenedores ActiveX de tal manera que, cualquier programa que pueda funcionar como contenedor, permitirá al usuario importar controles ActiveX. Labview es un contenedor ActiveX por lo tanto puede tener controles ActiveX y cualesquiera que sean estos controles, serán manipulados mediante propiedades y métodos.

AUTOMATIZACIÓN ActiveX CON LABVIEW

Como se mencionó anteriormente Labview soporta ActiveX como cliente o servidor. Esto significa que se puede utilizar Labview para interactuar con otros pro-

gramas desde su propio entorno de programación, en este caso Labview estaría actuando como cliente y solicitaría información del servidor ActiveX (el otro programa). De igual manera otros clientes ActiveX pueden interactuar con el servidor ActiveX de Labview.

Las funciones que le permiten actuar como cliente con cualquier servidor se muestran en la figura 2.7, además se muestra también el flujo de programación usado y la función asociada a cada bloque en Labview.

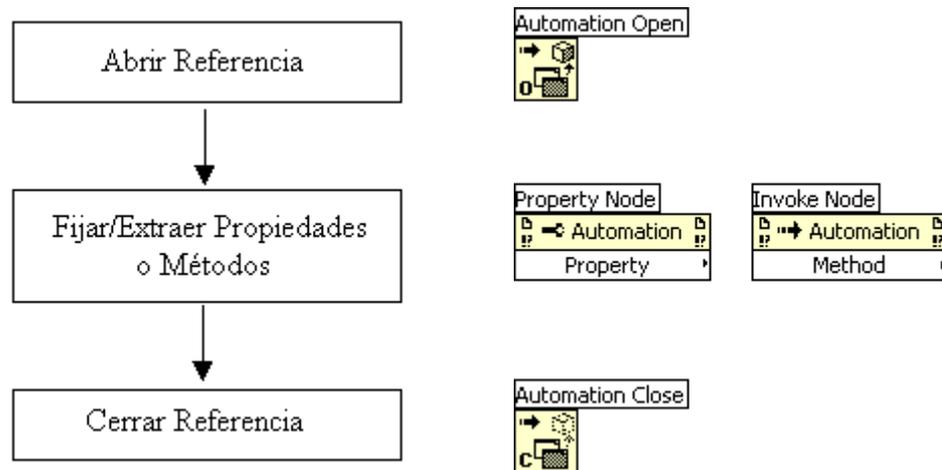


Fig. 2.7: Flujo de Programación en Labview

Con la función “Automation Open”, se abre una referencia de la aplicación solicitada por un control “Automation Refnum” que debe estar ubicado en el panel de frontal.

Una referencia (Refnum) es un tipo de datos de Labview, que sirve para identificar a los archivos abiertos. Cuando se abre uno o más archivos, Labview retorna una referencia asociada con cada uno de dichos archivos, de tal manera que cualquier operación que se ejecute en ellos, utilice esa referencia para identificar a cada uno. Estas referencias son válidas únicamente durante el período de tiempo que el archivo esté abierto. Al cerrarlo, se desasocia la referencia y si posteriormente se lo vuelve a abrir, la nueva referencia seguramente será distinta de la utilizada anteriormente.

Una vez creada la referencia, con las funciones “Invoke Node” y “Property Node” se ejecuta el método o se realiza la modificación de las propiedades, respectivamente, del objeto abierto y finalmente se cierra la referencia con la función “Automation Close”.

2.3.2 DISEÑO Y DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

Para el diseño del programa, primero se deben definir cuáles serán los escenarios de control y asignar una etiqueta de identificación a cada módulo (TAG) para su manipulación como variable de programa.

En la tabla 2.4 se muestra la lista de módulos utilizados con su respectiva asignación de variable y ubicación dentro de la vivienda.

Tabla 2.4: Lista de módulos

TAG	DESCRIPCIÓN	MODULO	UBICACIÓN	DIRECCIÓN X10
A-MR-1	Módulo para electrodoméstico	AM-486	Habitación Principal	B1
L-MR-1	Módulo para lámpara	LM-465	Habitación Principal	B2
A-LR-1	Módulo para electrodoméstico	AM-486	Sala	C1
L-LR-1	Módulo para lámpara	LM-465	Sala	C3
S-LR-1	Interruptor de dos vías	WS-467	Sala	C2
L-EX-1	Módulo para boquilla	RLM-20	Exterior	A3
S-EX-1	Interruptor de dos vías	WS467	Exterior (Garaje)	A2
L-R2-1	Módulo para boquilla	RLM-20	Habitación 2	A1

La asignación de variables se ha hecho de acuerdo al siguiente esquema:

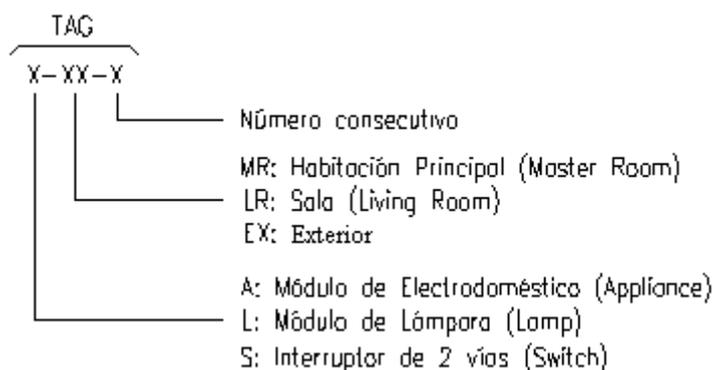


Fig. 2.8: Nomenclatura de Asignación de Variables

Como se indica en la tabla 2.4, existen cuatro escenarios de control: dos habitaciones, una sala y la iluminación exterior, los mismos que han sido definidos de acuerdo a la cantidad, tipo y funcionalidad de módulos disponibles. La funcionalidad de los módulos se refiere a que, si se va a automatizar una vivienda con tecnología X10, en ciertos casos, como son los módulos para lámparas RLM20, se pierde la capacidad de tener un control manual de los focos, mientras que con los interruptores WS467, a más de poder ser activados desde la estación base, también se lo puede hacer manualmente desde el mismo dispositivo.

Las direcciones X10 mostradas en la misma tabla, son las direcciones que inicialmente utilizará el programa cuando se ejecute por primera vez. Estas direcciones estarán almacenadas en los archivos de configuración y podrán ser modificadas por el usuario en cualquier momento de acuerdo a sus necesidades como se indicará más adelante.

Con las definiciones hechas hasta el momento y sin ser estrictamente un diagrama de flujo, la figura 2.9 describe la estructura funcional que tiene el programa que controlará el sistema de iluminación.

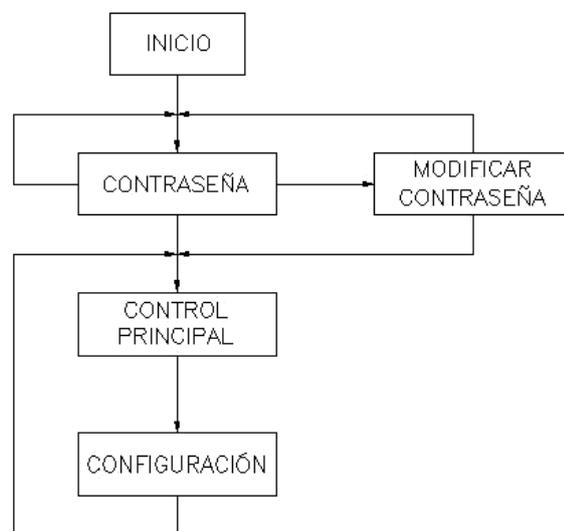


Fig. 2.9: Estructura Funcional de Programa

Al mismo tiempo los bloques mostrados en la figura 2.8 constituyen las pantallas que conforman la interfaz de usuario, y para esto, en Labview, se han creado los archivos indicados en la tabla 2.5.

Tabla 2.5: Archivos de Interfaz de Usuario

Nombre de Archivo	Icono	Función
Inicio.vi		Pantalla de bienvenida
Password.vi		Permite el ingreso o modificación de la contraseña de usuario.
Control Room.vi		Muestra una sala de control con acceso a todos los módulos de control agrupados por habitaciones.
Living Room.vi		Permite modificar las direcciones de los módulos y activar o desactivar temporizadores de la sala.
Master Room.vi		Permite modificar las direcciones de los módulos y activar o desactivar temporizadores de la habitación principal.
Exterior.vi		Permite modificar las direcciones de los módulos y activar o desactivar temporizadores de la iluminación exterior.
Room 2.vi		Permite modificar las direcciones de los módulos y activar o desactivar temporizadores de la habitación secundaria.

A más de estos VI's, también se han implementado varios subVI's para controlar el flujo de programa, validar datos, enviar datos al puerto, activar temporizadores, cargar y modificar archivos de configuración, los mismos que se listan en la tabla 2.6.

Tabla 2.6: Archivos de Control de Programa

Nombre de Archivo	Icono	Función
Open.vi		Abre una referencia (Refnum), que apunta a un objeto ActiveX.
Close.vi		Cierra la referencia abierta cuando no está siendo utilizada.
Send Action.vi		Envía un comando de ejecución al módulo transceiver CM15A. Ej: A1 ON
Timer.vi		Compara los valores de temporizadores con el reloj de la máquina y entrega una señal de control.
ReadConfig.vi		Lee desde un archivo de configuración las direcciones de cada módulo y los valores de temporizadores.
WriteConfig.vi		Almacena en un archivo de configuración las direcciones de cada módulo y los valores de temporizadores.
Parametros.vi		Lee una dirección X10 y la separa en sus partes numérica y literal.
EvalHora.vi		Verifica si el formato de hora ingresado en un temporizador es correcto o no.

A continuación se hará una descripción detallada de todos y cada uno de los archivos listados en las tablas 2.5 y 2.6.

2.3.2.1 INTERFAZ DE USUARIO

Inicio.vi

Es la pantalla inicial que aparece cuando se ejecuta el programa. En el panel frontal se han colocado dos controles: “Continuar” y “Finalizar Sesión”, los mismos que permiten avanzar a la siguiente etapa de ejecución del programa, que es el ingreso de contraseña, o terminar la ejecución del mismo respectivamente.

El funcionamiento es muy sencillo, como se muestra en la figura 2.10, se ha utilizado un lazo “While” para mantener la ejecución del programa y dentro de este lazo existen dos estructuras “Case”. La primera comprueba el estado del botón “Continuar”, si este botón ha sido presionado, se ejecuta el archivo “Password.vi”, el mismo que permite el ingreso de la contraseña de usuario, evalúa dicha contraseña y entrega un dato tipo True/False (Booleano) luego de comparar la contraseña ingresada con la contraseña almacenada en la memoria. En caso de ser exitoso el in-

greso de la contraseña, el programa ejecuta entonces el archivo “Control Room” que es el cuarto de control general de la vivienda. Se puede terminar la ejecución del programa en cualquier momento presionando el botón “Finalizar”.

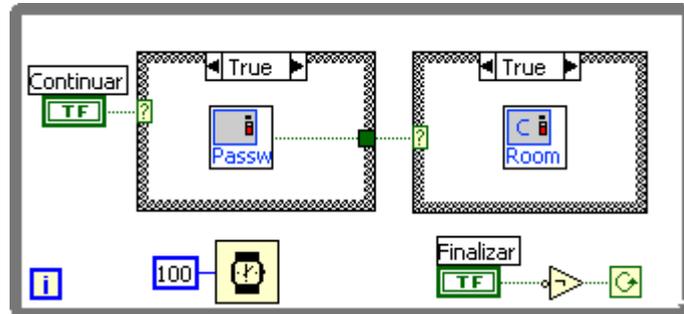
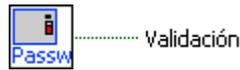


Fig. 2.10: Diagrama de Bloques “Inicio.vi”

Password.vi

Presenta el cuadro de diálogo para el ingreso de una contraseña de usuario. En la figura 2.11 se muestra el panel frontal de este VI. Posee tres controles booleanos: “Aceptar”, “Cancelar” y “Cambiar”, dos controles y dos indicadores de cadena de caracteres (String). Inicialmente el control “C New Pass” y el indicador “I New Pass” no están visibles (tabla 2.7), como se muestra en la figura 2.10b, ya que estos elementos se utilizan en el caso que el usuario desee cambiar de contraseña y para esto es necesario presionar el botón “Cambiar” (figura 2.11c). En ambos casos, ingreso o cambio de contraseña, es necesario escribir la contraseña almacenada correctamente, ya que de lo contrario el programa presentará un mensaje de error indicándole al usuario que la contraseña ingresada es incorrecta y no se podrá acceder a la siguiente etapa, que es el cuarto de control.

Password.vi es el único archivo de interfaz de usuario que entrega una señal de control, debido a que es necesario retornar esta señal al programa inicial para que éste continúe con la siguiente etapa de ejecución. Por esta razón, el conector de este VI tiene una salida con el nombre “Validación” como se indica en la figura 2.11a, la misma que entregará un dato True (verdadero) o False (falso) en función de, si el ingreso de contraseña fue correcto o no.



(a)



(b)



(c)

Fig. 2.11: Panel Frontal “Password.vi “

- a) Conector.
- b) Ingreso de contraseña.
- c) Cambio de contraseña.

Tabla 2.7: Controles e Indicadores “Password.vi”

Ítem	Terminal	Nombre	Tipo	Datos
1		Ingreso	Control	String
2		C New Pass	Control	String
3		Aceptar	Control	Boolean
4		Cancelar	Control	Boolean
5		Cambiar	Control	Boolean
6		I Password	Indicador	String
7		I New Pass	Indicador	String
8		Validación	Indicador	Boolean

En la figura 2.12 se muestra el diagrama de bloques correspondiente, en donde se han utilizado las siguientes funciones:



Open/Create/Replace File: esta función abre, crea o reemplaza un archivo existente. En este caso se la utiliza para abrir el archivo en donde se almacena la contraseña. Como salida, entrega una referencia del archivo que abrió y el tamaño del mismo en bytes



Read File: lee datos de un archivo abierto especificado por su referencia (Refnum). Luego que el archivo de contraseña ha sido abierto, con esta función se obtienen los datos almacenados en dicho archivo para posteriormente compararlos con el contenido del control “Ingreso” que es el dato ingresado por el usuario. El resultado de la comparación se envía al indicador “Validación”



Close File: cierra la referencia (Refnum) y retorna la dirección del archivo asociado.



Write File: escribe datos en un archivo especificado por su referencia. El archivo debe ser previamente abierto para poder escribir datos en él. En la aplicación se utiliza esta función para modificar el archivo de contraseña si el usuario quisiera hacerlo. Luego de presionar el botón “Cambiar”, aparecerán los controles inicialmente ocultos (figura 2.10c) indicándole al usuario que ingrese la contraseña actual y la nueva contraseña debiendo presionar después el botón “Aceptar”; el programa entonces realiza dos acciones consecutivas: primero comprueba que la contraseña ingresada sea igual a la contraseña almacenada y que la nueva contraseña sea un dato válido, en este caso que no sea una cadena de caracteres vacía. De cumplirse estas dos condiciones se actualiza el archivo de contraseña, en caso contrario se mostrará el mensaje: “La contraseña no fue modificada. No se ingresó una contraseña válida”.

Adicionalmente las funciones que se encuentran fuera del lazo principal en la parte izquierda (figura 2.12), han sido utilizadas para cambiar la apariencia del panel frontal dependiendo de las acciones realizadas por el usuario, esto se hace modificando las propiedades Visible, KeyFocus y Value de los controles e indicadores tipo String que indican las acciones que deben ser realizadas por el usuario ya sea para ingresar o modificar su contraseña.

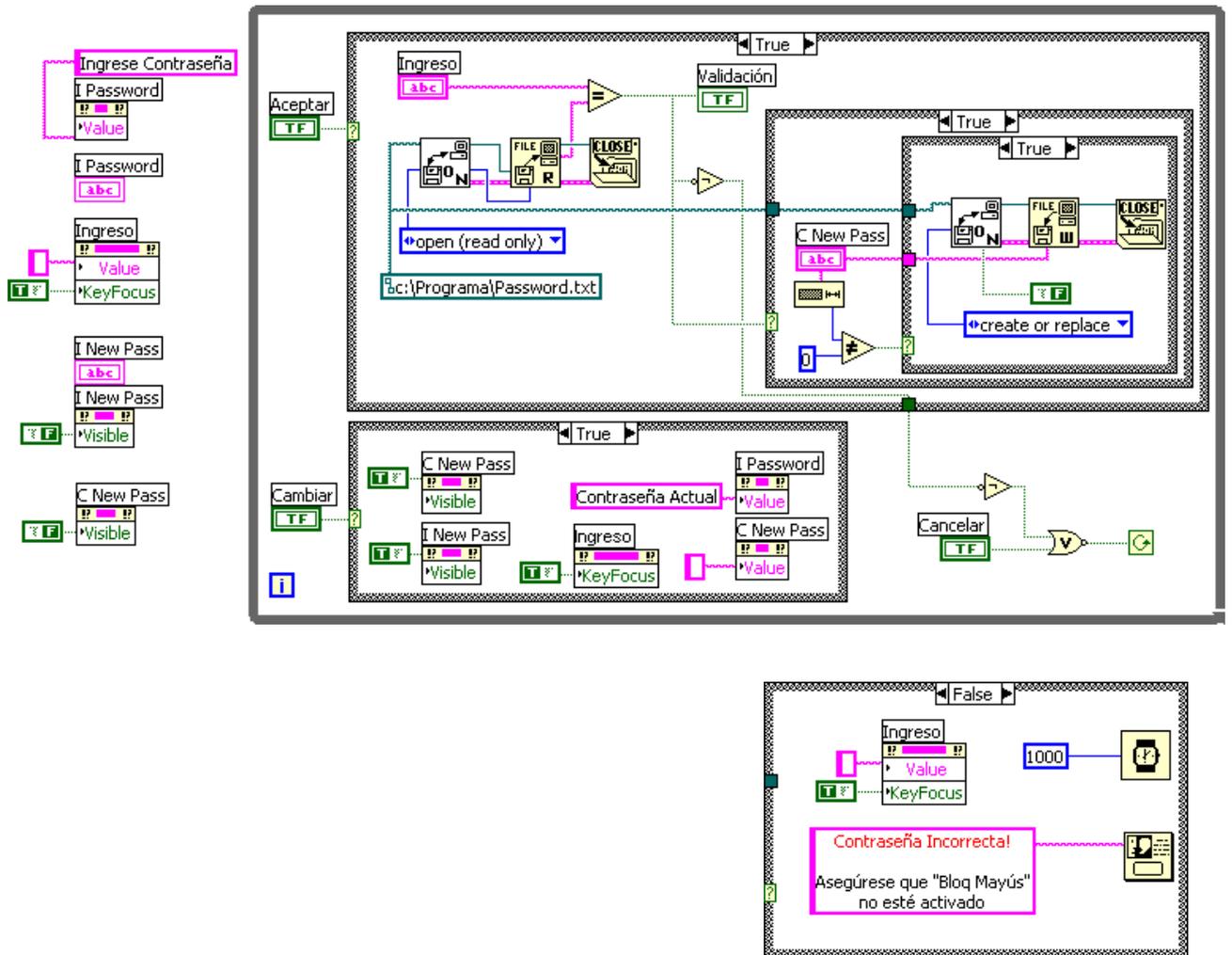


Fig. 2.12: Diagrama de Bloques “Password.vi “

Control Room.vi

El panel frontal de este VI mostrado en la figura 2.13, presenta un cuarto de control general de todo el sistema, el mismo que ha sido dividido de acuerdo a las áreas de control especificadas en la tabla 2.4. En cada sección se indica el nombre de la misma, la cantidad de módulos de control asignados y las direcciones de cada módulo y un indicador de temporización que se encenderá cuando se haya configurado un tiempo de encendido, apagado o ambos para cualesquiera de los módulos de cada sección. Estas dos últimas informaciones (dirección y temporizador) no pueden ser modificadas por el usuario desde este panel. Existe también una sección adicional llamada “General” con la que se pueden enviar comandos propios del protocolo X10, tales como: “All Units Off” y “All Lights On” para tener un control general de todos los módulos al mismo tiempo.

Las operaciones que el usuario puede ejecutar desde este panel son: prender o apagar luces o electrodomésticos, variar la intensidad de iluminación de las luces y terminar la ejecución de este VI. Para modificar las direcciones de los módulos de control o activar y desactivar los temporizadores, se utiliza el botón “Configurar”, el mismo que está disponible en todas y cada una de las secciones. Luego de presionar este botón, aparecerá una nueva ventana correspondiente a la sección de donde fue llamada, que permite modificar los parámetros indicados.

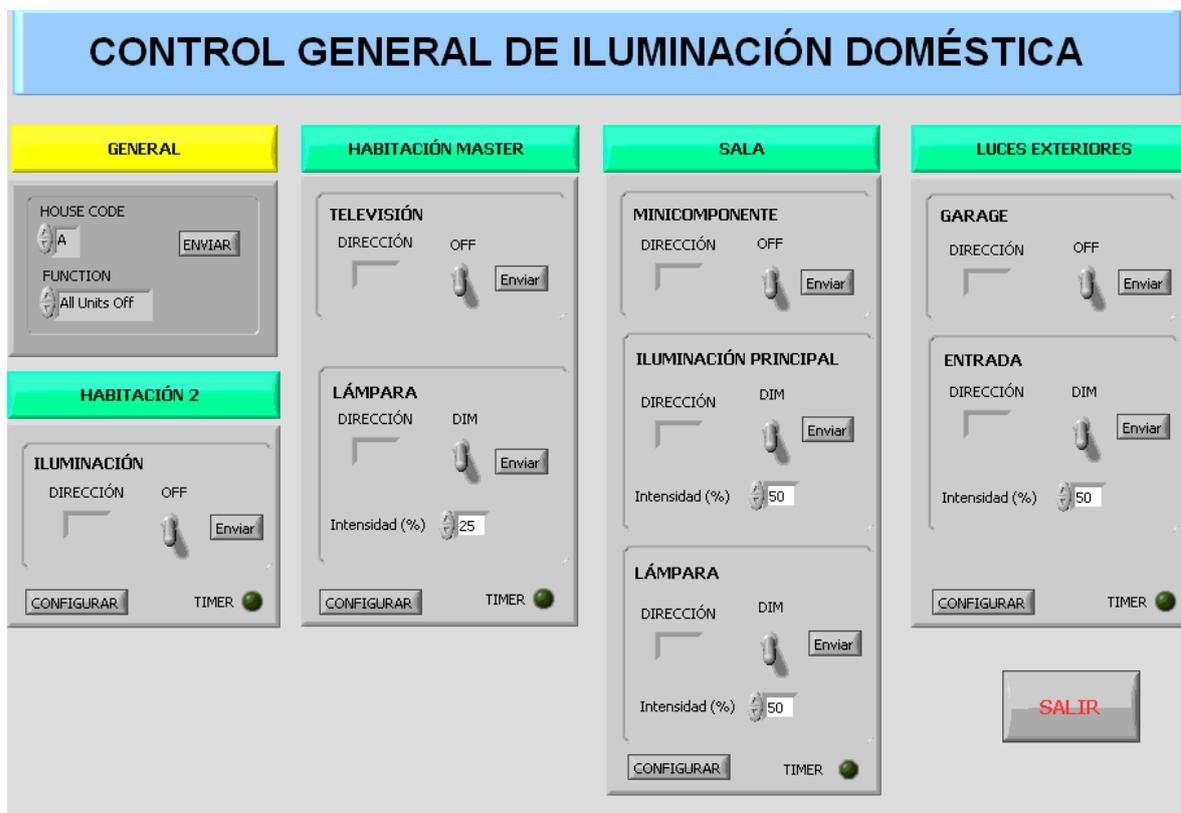


Fig. 2.13: Panel Frontal “Control Room.vi”

El diagrama de bloques de este VI contiene 56 objetos entre controles e indicadores, a más de las funciones y subVI’s asociados para la realización de las tareas que cumple, por lo tanto, para explicar su funcionamiento en forma detallada, se ha dividido en tres secciones bien diferenciadas que son: envío de datos al puerto, configuración de direcciones y temporizadores, y lectura de datos, puesto que éstas, son las tres principales acciones, desde el punto de vista del programador, que se llevan a cabo cuando “Control Room.vi” está en ejecución.

2.3.2.1.1 ENVÍO DE DATOS AL PUERTO

Considerando que se tiene un botón etiquetado como “Enviar” asociado a cada módulo (ocho en total) y otro botón igual en la sección general, para el envío de datos al puerto basta con saber cuál de los nueve botones fue presionado y obtener la dirección y la acción respectivas para generar el comando que se enviará al transceiver CM15A mediante la conexión ActiveX previamente iniciada. Para esto se utiliza el diagrama de bloques mostrado en la figura 2.14

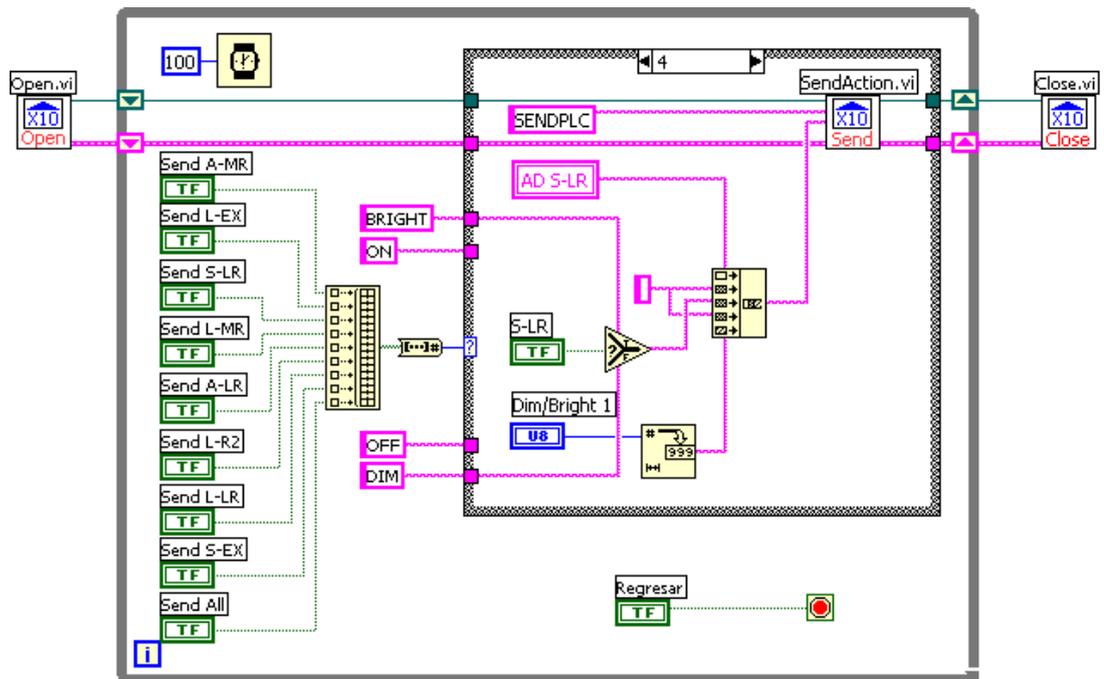


Fig. 2.14: Envío de Datos al Puerto (Control Room.vi)

Como se observa en la figura 2.13, nuevamente se tiene un lazo “While” para mantener el programa en ejecución hasta que el botón “Regresar” sea presionado y una estructura “Case” con diez casos para seleccionar los datos (dirección y acción) correspondientes al módulo que se desee operar. Las funciones utilizadas son las siguientes:

Build Array: crea un arreglo de elementos de dimensión n. Esta función concatena los elementos de entrada en el orden en que han sido conectados a la función, desde la parte superior hasta la inferior. En este caso crea un arreglo tipo Boolean con la información de los nueve controles para envío de datos, correspondientes a cada sección del panel frontal.

 Boolean Array to Number: convierte un arreglo tipo Boolean a un dato de tipo entero sin signo (unsigned integer) interpretándolo como la representación binaria de un entero en donde el primer elemento del arreglo es el bit menos significativo. Con esta función se obtiene un dato numérico único que identifica qué botón de envío de datos fue presionado como se indica en la tabla 2.8.

Tabla 2.8: Números asignados a Controles de Envío de Datos

Botón Presionado	Dato de Salida
Ninguno	0
Send A-MR	1
Send L-EX	2
Send S-LR	4
Send L-MR	8
Send A-LR	16
Send L-R2	32
Send L-LR	64
Send S-EX	128
Send All	256

El dato de salida de la tabla anterior está conectado al selector de la estructura “Case” por lo tanto se tienen diez posibles casos de ejecución. En la figura 2.13 se muestra el caso número 4 correspondiente al botón “Send S-LR” (Switch-Living Room) que controla el módulo de iluminación principal de la sala de la vivienda, por consiguiente el comando enviado al transceiver, mediante la el subVI “Send Action”, será “Dirección Bright/Dim Porcentaje”. Por ejemplo: “C2 BRIGTH 50”, ya que, dentro de la estructura “Case”, se han utilizado las siguientes funciones.

 Select: esta función tiene dos entradas de datos (t y f), una entrada de selección (s) y una salida en donde entrega el valor de la entrada “t” si “s” es verdadero (True) o el valor de “f” si “s” es falso (False). Con esta función se comprueba el estado del botón “S-LR” (para el caso 4) que está conectado a la entrada “s” y si es “True” en la salida se tiene “BRIGHT” y en caso contrario se obtiene “DIM”, ya que estas constantes están conectadas a las entradas “t” y “f” respectivamente.



Number to Decimal String: convierte un número en una cadena de caracte-

res de dígitos decimales. Con esta función únicamente se cambia el tipo de dato del control “Dim/Bright 1” de numérico a una expresión tipo de caracteres debido a que el comando que se enviará al transceiver debe ser de este tipo.



Concatenate Strings: crea una sola cadena de caracteres de salida a partir de varias cadenas de caracteres de entrada. Esta función se utiliza para acoplar los datos de dirección y acción obtenidos de los controles e indicadores asociados al módulo que se desea operar (caso 4) y formar el comando que se enviará al transceiver. En la figura 2.14 se muestra también una constante de cadena, cuyo valor es un espacio en blanco, conectada a dos de las entradas de esta función debido a que es necesario dejar un espacio entre cada palabra del comando como se indicó en el ejemplo de la página anterior (C2 BRIGHT 50).

El caso 4, referido a la tabla 2.8 y cuyo diagrama de bloques fue mostrado en la figura 2.14, es exactamente igual, en cuanto a las funciones que utiliza, a los casos 8, 64 y 128 debido a que los módulos controlados con ellos poseen la característica de poder efectuar un control de fase sobre la señal de ac que se aplicará a la carga que estén manejando.

Para los casos 1, 2, 16 y 32, el diagrama de bloques respectivo es más sencillo puesto que estos casos controlan módulos On/Off con lo que el comando de control que se debe generar se reduce a dos palabras, por ejemplo “A1 ON”, “A1 OFF”, etc. Es decir desaparece el control numérico de porcentaje y por ende la función “Number to Decimal String”. Además las entradas “t” y “f” de la función “Select” están conectadas a las constantes ON y OFF respectivamente.

Para el caso 0, la estructura “Case” correspondiente está vacía, es decir no se ejecuta ninguna operación ya que éste caso tendrá lugar cuando no se haya presionado ninguno de los botones de envío de datos al puerto y por lo tanto el programa no debe efectuar ninguna operación.

Finalmente, el diagrama de bloque para el caso 256 correspondiente a la sección general del panel frontal varía con respecto a los demás, como se muestra en la fi-

gura 2.15.

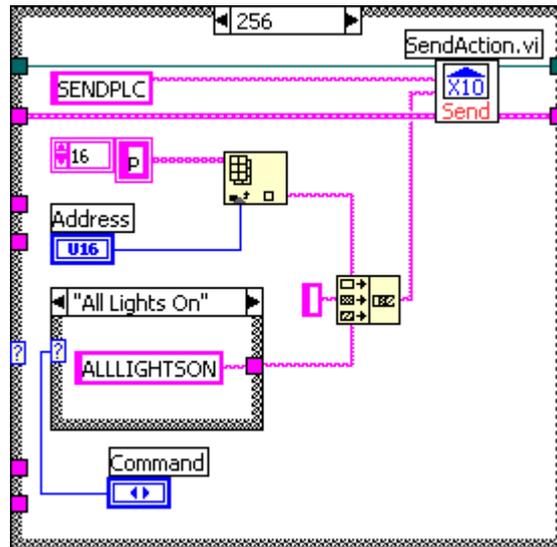


Fig. 2.15: Sección General (Caso 256)



Constante de Arreglo: es un arreglo unidimensional de 17 elementos y de tipo “String”, en donde el elemento 0 está vacío y los restantes, del 1 al 16, contienen una letra, de la A a la P, respectivamente, las mismas que corresponden a los 16 códigos de casa (House Code) que el protocolo X10 maneja.



Index Array: devuelve el dato contenido en el elemento n de un arreglo. Como entradas acepta un arreglo de cualquier tipo y un dato numérico que será el índice del arreglo. Se utiliza esta función conjuntamente con la constante de arreglo previamente descrita debido a que, el control “Address”, a pesar que en el panel frontal muestra las letras del código de casa, en el diagrama de bloques entrega un número (del 1 al 16) correspondiente a cada letra de código. De esta manera se obtiene la letra de código de casa para componer el dato que se enviará al transceiver (A, B, C,..., P).

La estructura “Case” se utiliza en conjunto con el control “Command” para obtener la acción que se enviará al transceiver (“All Units Off”, o “All Lights On”), ya que el control “Command” también entrega un dato numérico en el diagrama de bloques. La razón por la que se ha utilizado una constante de arreglo para obtener el código de casa y una estructura “Case” para obtener la acción, tomando en cuenta

que los controles que manejan estas variables entregan datos numéricos, radica en que para el primer caso se tienen 16 posibles datos, mientras que para el segundo se tienen solamente 2.

Una vez obtenidos los datos de código de casa y acción en formato “String”, se concatenan éstos, de la misma forma que se hizo en los casos antes descritos, para formar el comando a ser enviado, por ejemplo: “A ALLUNITSOFF”.

2.3.2.1.2 CONFIGURACIÓN DE DIRECCIONES Y TEMPORIZADORES

Para la configuración de direcciones y temporizadores, se han creado cuatro VI’s, como se indicó en la tabla 2.5, cada uno maneja la configuración de una sección del panel frontal mostrado anteriormente en la figura 2.13.

Al igual que para el envío de datos al puerto se necesitaba saber cuál de los nueve botones “Enviar” fue presionado, en este caso se necesita saber cuál de los cuatro botones “Configurar” (uno por cada sección) fue presionado y para esto se utilizan las mismas funciones “Build Array” y “Boolean Array to Number” asociadas a una estructura “Case”, como se explicó anteriormente, para obtener el dato numérico que identifique cual botón fue presionado. Adicionalmente dentro de la estructura “Case” se ha utilizado una estructura “Sequence” de dos instancias, como se muestra en la figura 2.16, cuya función se detallará más adelante

En la tabla 2.8 se muestran los posibles datos numéricos obtenidos, a partir del arreglo creado, que serán conectados al selector de la estructura “Case”.

Tabla 2.8: Números asignados a Controles de Configuración

Botón Presionado	Dato de Salida
Ninguno	0
Master Room	1
Room 2	2
Exterior	4
Living Room	8

De acuerdo a la tabla anterior, existen cinco casos posibles de selección. En la figura 2.16 se muestra el diagrama de bloques utilizado para el caso 1, correspondiente a la configuración de la habitación master. El funcionamiento del VI de con-

figuración de la habitación master (Master Room.vi) se explicará más adelante, por el momento se describirá el funcionamiento de las estructuras pertenecientes a “Control Room.vi”.

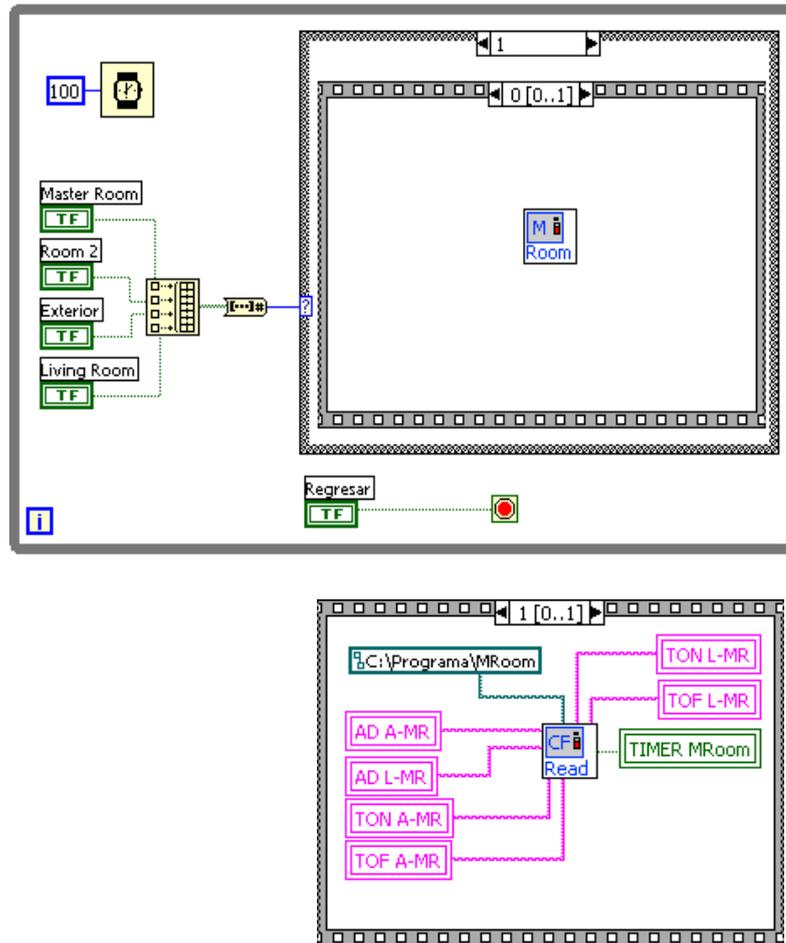


Fig. 2.16: Configuración de Direcciones y Temporizadores

Una vez seleccionado el caso de acuerdo a qué botón “Configurar” fue presionado (tabla 2.8), dentro de la estructura “Case” se lleva a cabo la siguiente secuencia:

- En la primera instancia, se ejecuta el VI de configuración correspondiente, en donde se podrá modificar, ya sea la dirección o un temporizador de cada módulo existente en esa sección. Todos los cambios realizados, se almacenarán en un archivo de configuración como se explicará más adelante. Existe un archivo de configuración para cada sección del panel frontal de “Control Room.vi”
- Luego de haber realizado todos los cambios necesarios, se ejecuta la segunda instancia de la estructura “Sequence”, en donde se lee el archivo de configura-

ción, modificado en la primera instancia, para actualizar los indicadores en el panel frontal de “Control Room.vi”.

De esta manera se modifican y actualizan los parámetros de todas y cada una de las secciones de control.

2.3.2.1.3 LECTURA DE DATOS

Adicionalmente a las operaciones que se llevan a cabo en “Control Room.vi”, descritas hasta el momento, también se efectúa una lectura de datos en dos etapas de la ejecución del programa. En la figura 2.17 se muestra el diagrama de bloques utilizado para realizar esta tarea.

Como se observa en dicha figura, las funciones ubicadas fuera del lazo “While” son utilizadas para cargar los datos desde los archivos de configuración de cada sección de control, y presentarlos en pantalla mediante los indicadores de dirección y temporizador del panel frontal de “Control Room.vi”. Esta sería la primera etapa de lectura de datos, la misma que se efectúa una sola vez y tiene lugar cuando “Control Room.vi” inicia su ejecución. Si luego de iniciada la ejecución de este archivo, se modifica algún parámetro de configuración, la actualización o carga de datos desde el archivo respectivo se hará mediante la estructura “Sequence”, como se indicó en el apartado anterior.

La siguiente etapa de lectura de datos se lleva a cabo durante todo el tiempo que “Control Room.vi” esté en ejecución, esto se hace mediante el “Timer.vi” y las estructuras “Case” ubicadas dentro del lazo “While” de la figura 2.17.

El subVI “Timer.vi” acepta como entradas los datos de temporización (Time ON y Time Off), recuperados desde los archivos de configuración en la etapa anterior, y entrega tres salidas de tipo Boolean, las mismas que están conectadas mediante variables locales a los controles “Enviar” y “On/Off” de cada módulo de control. Se han utilizado ocho subVI’s “Timer.vi”, debido a que se tienen ocho módulos de control en el sistema, y las estructuras “Case” asociadas a cada dato de temporización, han sido utilizadas por el tipo de salida que entrega “Timer.vi”. Más adelante se detallará el funcionamiento de “Timer.vi”

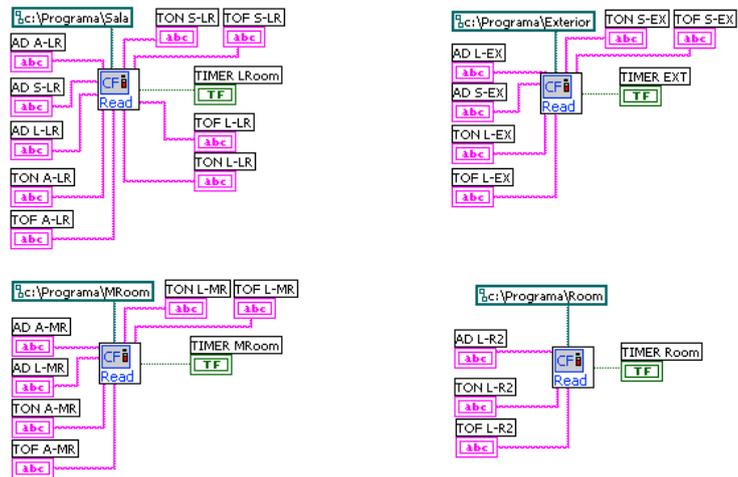
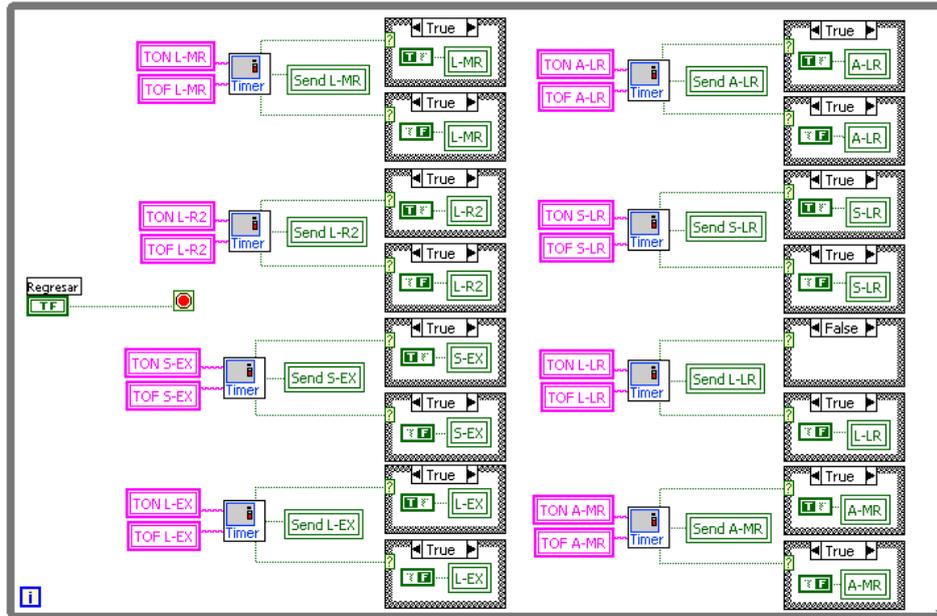


Fig. 2.17: Lectura de Datos (Control Room.vi)

En la figura 2.18 se muestra la integración de los diagramas de bloques, descritos hasta el momento, los mismos que en conjunto conforman el diagrama de bloques de “Control Room.vi”.

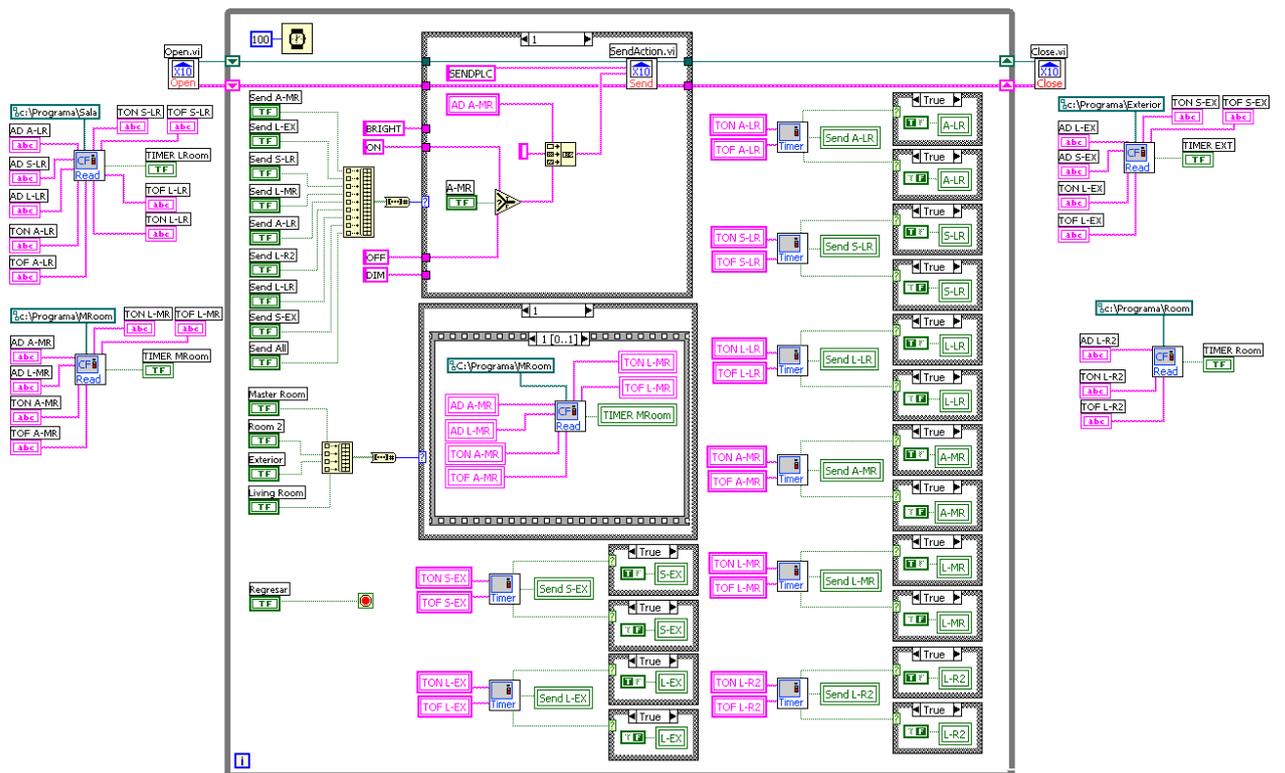


Fig. 2.18: Diagrama de Bloques “Control Room.vi”

Continuando con la descripción de archivos de interfaz de usuario, resta por explicar el funcionamiento de los VI’s utilizados para configurar las direcciones y temporizadores de cada sección de control, para lo cual se analizará el archivo “Master Room.vi”, ya que el funcionamiento de los tres archivos restantes (tabla 2.5) es muy similar.

Master Room.vi

Como se ha dicho hasta el momento, este VI permite modificar la dirección y activar o desactivar el temporizador asociados a cada módulo de control, para este caso de la habitación master. Su panel frontal se muestra en la figura 2.19, el mismo que, por cada módulo, contiene un control numérico y uno tipo “Enum” para configurar la dirección X10 y dos controles tipo “String” para la configuración del temporizador. Adicionalmente se han colocado dos controles booleanos: “Grabar” y “Regresar” para actualizar los cambios en el archivo de configuración respectivo y terminar la ejecución de este VI, respectivamente.



Fig. 2.19: Panel Frontal “Master Room.vi”

Las funciones utilizadas en el diagrama de bloques de este VI, mostrado en la figura 2.20, ya fueron descritas anteriormente, de tal manera que su funcionamiento en términos generales es el siguiente:

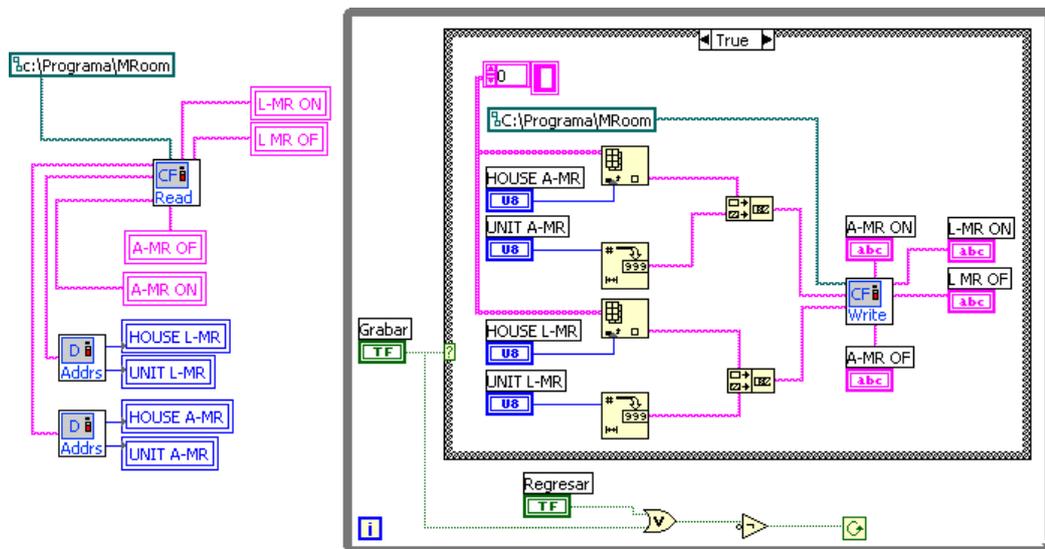


Fig. 2.20: Diagrama de Bloques “Master Room.vi”

La parte externa del lazo “While” se utiliza para actualizar los datos de dirección y temporizador de cada módulo, que serán presentados en el panel frontal. Estos datos son leídos desde el archivo de configuración.

Dentro del lazo “While” existe una estructura “Case” que comprueba el estado del botón “Grabar”, si es “True”, se obtiene la dirección de cada módulo con las siguientes acciones: mediante la función “Index Array” y a partir de una constante de arreglo, como se explicó anteriormente, se obtiene la parte literal de la dirección X10 y con la función “Number to Decimal String” se obtiene la parte numérica,

luego se concatenan estos datos con el fin de construir la dirección X10 completa (Ej: A1, B2, etc). Esto se hace para cada módulo, en este caso dos.

Las direcciones obtenidas son enviadas al subVI “WriteConfig” al igual que los datos contenidos en los controles tipo “String” para el ingreso de datos de temporización. “WriteConfig.vi” graba todos los datos recibidos (direcciones y temporizadores) en el archivo de configuración especificado por la constante de dirección. Luego de esto la ejecución de “Master Room.vi” termina y el programa regresa al cuarto de control general (Control Room.vi).

El funcionamiento de los archivos de configuración restantes es el mismo que se acaba de describir, la diferencia radica en la apariencia del panel frontal y la cantidad de módulos asociados a cada uno.

2.3.2.2 CONTROL DE PROGRAMA

A más de los archivos de interfaz de usuario se han creado ocho subVI’s, listados en la tabla 2.6, para efectuar ciertas acciones repetitivas y controlar de mejor manera el flujo de programa del archivo de control principal. Estos archivos son los siguientes:

Open.vi

Abre una referencia que apunta a un objeto ActiveX, la misma que será utilizada más adelante para enviar los datos al transceiver CM15A. El conector y diagrama de bloques de este subVI se muestran en la figura 2.21.

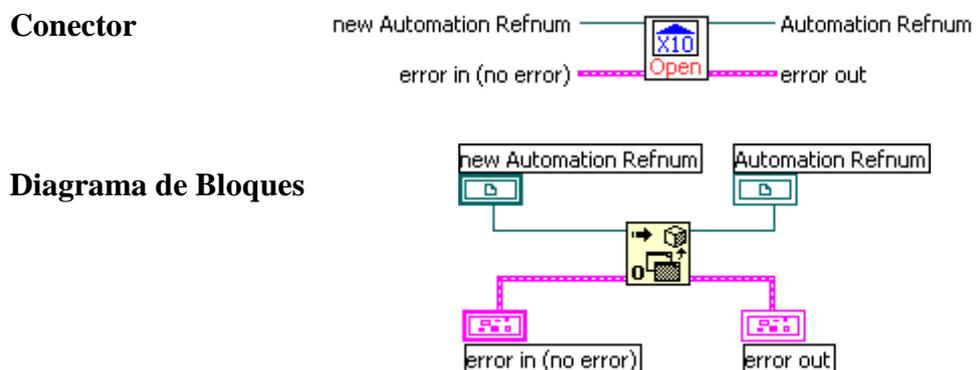


Fig. 2.21: Diagrama de Bloques “Open.vi”

La única función que se ha utilizado es “Automation Open”, con la que es posible crear la referencia (Refnum) necesaria para establecer la comunicación ActiveX con otro programa, como se indicó en el apartado 2.3.1 (Conceptos Básicos de ActiveX).

Close.vi

Cierra la referencia abierta previamente por “Open.vi” cuando ésta, no está siendo utilizada. De la misma manera que se indicó en el apartado 2.3.1, en este caso se ha utilizado una sola función en el diagrama de bloques, que es “Automation Close” como se muestra en la figura 2.22.

Conector

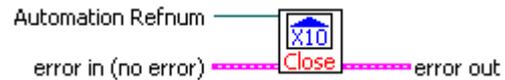


Diagrama de Bloques

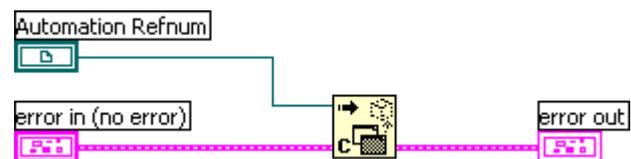


Fig. 2.22: Diagrama de Bloques “Close.vi”

SendAction.vi

Este subVI se comunicará con el objeto ActiveHome (software del fabricante del equipo) mediante una conexión ActiveX, cada vez que programa así lo solicite y enviará un comando de control al transceiver CM15A. Trabaja en conjunto con “Open.vi”, ya que requiere que una referencia ActiveX esté abierta.

Los parámetros de entrada y salida de este subVI, como se muestra en la figura 2.23, son los siguientes:

- Automation Refnum: es la referencia de conexión ActiveX creada previamente con “Open.vi”.
- bzsAction: es la acción que se desea que ejecute el transceiver CM15A, para este caso el dato que debe ser puesto en esta entrada es “SENDPLC”. Esto es debido a que el módulo CM15A, a más de poder enviar comandos X10 a

través de la red eléctrica, también puede hacerlo mediante radiofrecuencia, en ese caso el dato de entrada sería “SENDRF”.

- bzsParam: en esta entrada se debe especificar la dirección del módulo a controlar y la acción correspondiente. Ej: A1 ON.
- Error in: esta entrada acepta el código de error generado por “Open.vi” en el caso que se haya producido un error al momento de abrir la referencia ActiveX.
- dup Automation Refnum: es el mismo dato de entrada, que será enviado a “Close.vi” para cerrar la referencia de conexión cuando ésta no se esté utilizando.
- Return Value: es el dato de salida resultante luego de haberse enviado el comando al transceiver.
- Error out: si se produjo un error al ejecutarse este subVI, el código de error respectivo estará presente en esta salida.

Las funciones utilizadas en el diagrama de bloques de este subVI, indicado también en la figura 2.23, son las siguientes:



Invoke Node: invoca un método o una acción en un objeto ActiveX.

Luego de ubicar esta función en el diagrama de bloques, es necesario seleccionar la clase y el método del objeto ActiveX, para lo cual se hace clic derecho sobre la función y se escogen estos parámetros del menú que aparece. Luego de esto los parámetros asociados aparecen en la parte inferior de la función como indica la figura 2.23.



To Variant: convierte un tipo de datos específico de Labview en un dato tipo Variant. Una variable tipo Variant es un dato que no tiene un tipo específico, pero contiene atributos, lo cual es útil para manejar datos independientemente del tipo que éstos tengan.



Variant to Data: esta función realiza la operación inversa a la anterior, es decir convierte un dato tipo Variant en un dato cuyo tipo debe ser especificado por el programador.

Las funciones de conversión de datos a tipo Variant son útiles en aplicaciones en las que se desea enviar datos hacia o desde una aplicación a otra diferente, como es el caso de la conexión ActiveX creada en el presente proyecto para enviar los comandos de control desde Labview hacia el servidor ActiveX del software del fabricante de los equipos.

Conector

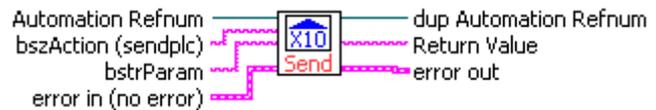


Diagrama de Bloques

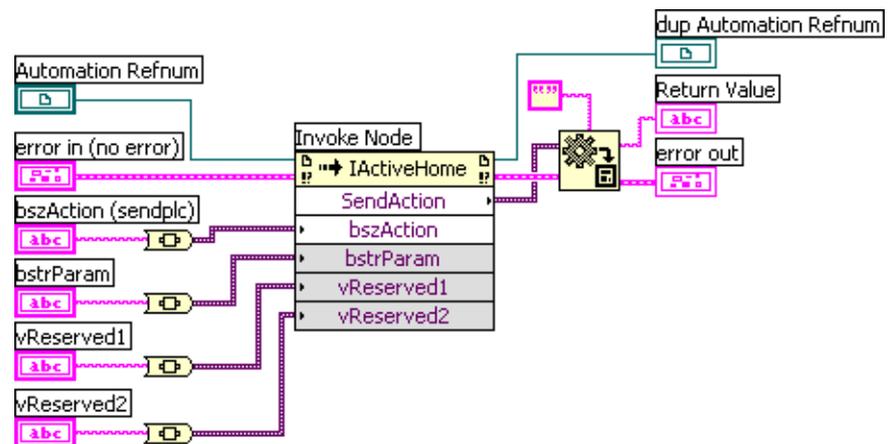


Fig. 2.23: Diagrama de Bloques “SendAction.vi”

Timer.vi

Como se observa en la figura 2.24, el conector de este SubVI tiene dos entradas de datos para el ingreso de la hora de encendido y de apagado, y en su salida entrega 3 señales de tipo Boolean cuyo valor será True (verdadero) cuando el reloj de la computadora sea igual a los datos de entrada, de acuerdo a la tabla 2.9.

Tabla 2.9: Datos de Temporización

Reloj	Salidas		
	On	Send	Off
Time ON	True	True	False
Time OFF	False	True	True
Otro valor	False	False	False

La función principal de este subVI es enviar las señales de control a “Control Room.vi” cuando se deba encender o apagar uno o varios de los módulos de acuerdo a

los temporizadores configurados por el usuario. Las funciones utilizadas en el diagrama de bloques son:



Get Date/Time String: devuelve una cadena de caracteres con la fecha y otra con la hora actuales. En este caso solo se ha utilizado la cadena que contiene la hora, para compararla con los datos de los controles “Time On” y “Time Off” correspondientes a la hora de encendido y apagado respectivamente, ingresadas por el usuario.

A los datos de los controles antes mencionados, se les han añadido los caracteres “:00” mediante la función “Concatenate Strings” y a la función “Get Date/Time String” se le ha habilitado la opción de entregar la hora en un formato “hh:mm:ss”. Esto se hace para que la duración de las señales de control entregadas por este sub-VI tengan una duración de 1seg, que es un tiempo suficiente para activar cualquiera de los módulos cuyo temporizador haya sido configurado.

Si se realiza la comparación directamente con el dato de los controles “Time On” o “Time Off”, la duración de las señales de control sería de 1min, lo que representa demasiado tiempo durante el cual se estaría enviando el mismo comando al transceiver y conllevaría a errores en la ejecución del programa.

Conector

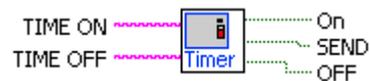


Diagrama de Bloques

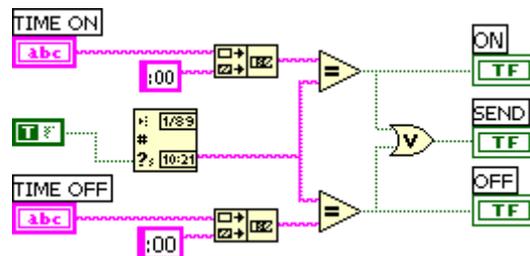


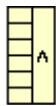
Fig. 2.24: Diagrama de Bloques “Timer.vi”

WriteConfig.vi

Este subVI permite grabar un archivo de configuración asociado a cada sección de control de “Control Room.vi”. Este archivo contiene la dirección y los datos de temporización de cada módulo de control que aparece en el panel frontal de “Control Room.vi”.

En total existen cuatro archivos de configuración (uno por cada sección de control) y debido a que no todas las secciones de control contienen la misma cantidad de módulos, “WriteConfig.vi” ha sido diseñado para almacenar los datos de configuración de la sección que posee mayor cantidad de módulos, que en este caso es la sección “Sala” con tres módulos, por lo tanto este subVI tiene diez parámetros de entrada que son: una ruta de acceso al archivo de configuración, tres entradas de dirección, tres de tiempo de encendido y tres de tiempo de apagado.

Las tareas realizadas y las funciones utilizadas en el diagrama de bloques de este subVI, mostrado en la figura 2.25, son las siguientes:



Compound Arithmetic: ejecuta una operación aritmética o lógica en dos o más entradas, las mismas que pueden ser de tipo Numérico o Boolean. En este caso se han utilizado dos funciones de este tipo, una que ejecuta una función lógica “And” y otra que ejecuta una función lógica “Or”.

Como se muestra en la figura 2.25, se realiza una operación lógica “And” cuyas entradas son los datos entregados por el subVI “EvalHora.vi” (su funcionamiento se explicará más adelante) y la salida se conecta al selector de la estructura “Case”. Obviamente, si el formato de la hora ingresada no es correcto, no se podrá grabar ninguna modificación en el archivo de configuración.

La operación lógica “Or” que se realiza con otro dato de “EvalHora” sirve para comprobar si se ha configurado al menos uno de los temporizadores de toda la sección, aunque no se puede determinar cuál fue.

Conector

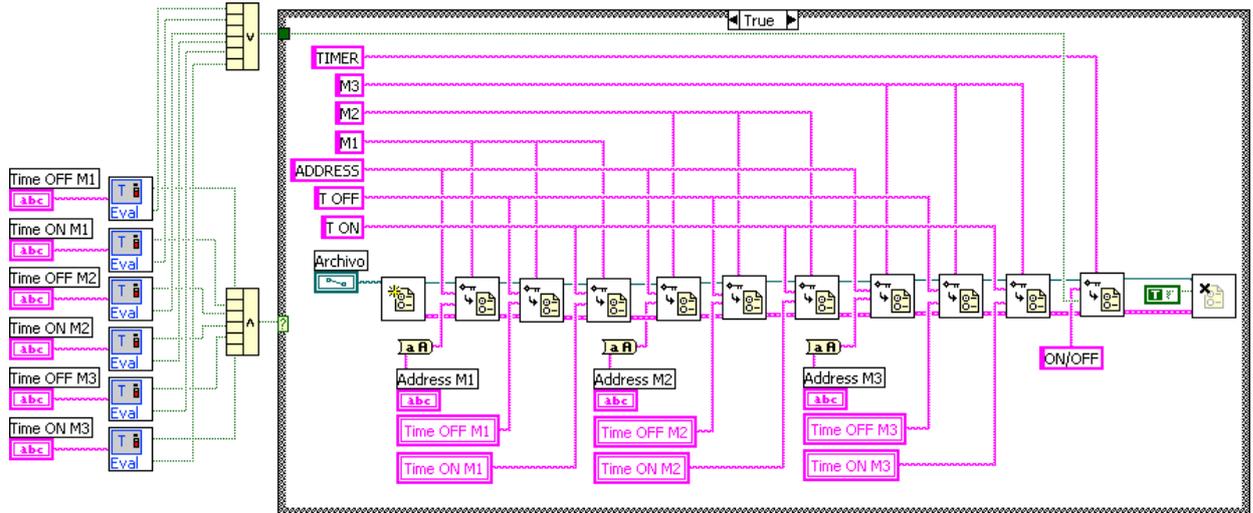
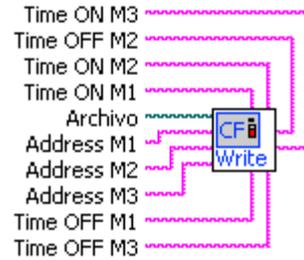


Fig. 2.25: Diagrama de Bloques “WriteConfig.vi”



Open Config Data: es un subVI propio de Labview que abre una referencia hacia los datos de configuración encontrados dentro de un archivo de configuración sin importar qué plataforma se utilice.

Clo-



se Config Data: cierra la referencia creada por “Open Config Data”



Write Key: escribe un dato en una sección específica del archivo de configuración especificado por su referencia (Refnum). Se utiliza una función “Write Config Key” por cada dato que se desee almacenar en el archivo de configuración (en este caso 10). A más del dato que se va a almacenar, se debe especificar en cada función la sección (Section) y el campo (Key) en donde se almacenarán los datos.

“WriteConfig.vi” almacena la información ingresada por el usuario en un archivo que tiene cuatro secciones (M1, M2, M3 y Timer), una por cada módulo, en las tres primeras se tienen tres campos (ADDRESS, T ON y T OFF) y la cuarta sección tiene un solo campo (On/Off), como se muestra en la tabla 2.10.

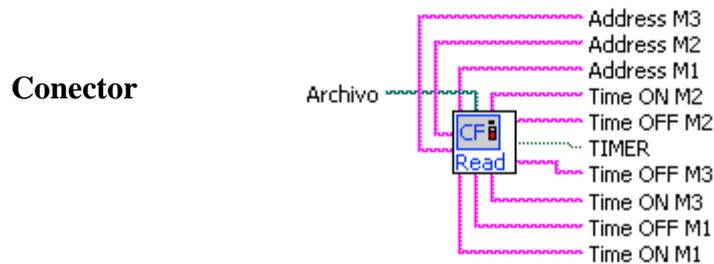
Tabla 2.10: Archivo de Configuración (Ejemplo)

Sección	Campo	Dato
M1	Address	A1
	T On	21:00
	T Off	22:00
M2	Address	A2
	T On	
	T Off	
M3	Address	A3
	T On	
	T Off	
TIMER	On/Off	True

Como se indicó anteriormente, basta que uno de los seis campos de temporización existentes en cada archivo de configuración tenga un dato válido para que el dato de la sección “Timer” sea True.

ReadConfig.vi

Este subVI efectúa una operación de lectura de datos desde un archivo de configuración. Su estructura funcional es muy similar a la del subVI anterior, como se muestra en la figura 2.26. En este caso el conector posee una sola entrada en donde se especificará la ruta de acceso al archivo que se va a leer y diez salidas correspondientes a cada dato mostrado en la tabla 2.10.



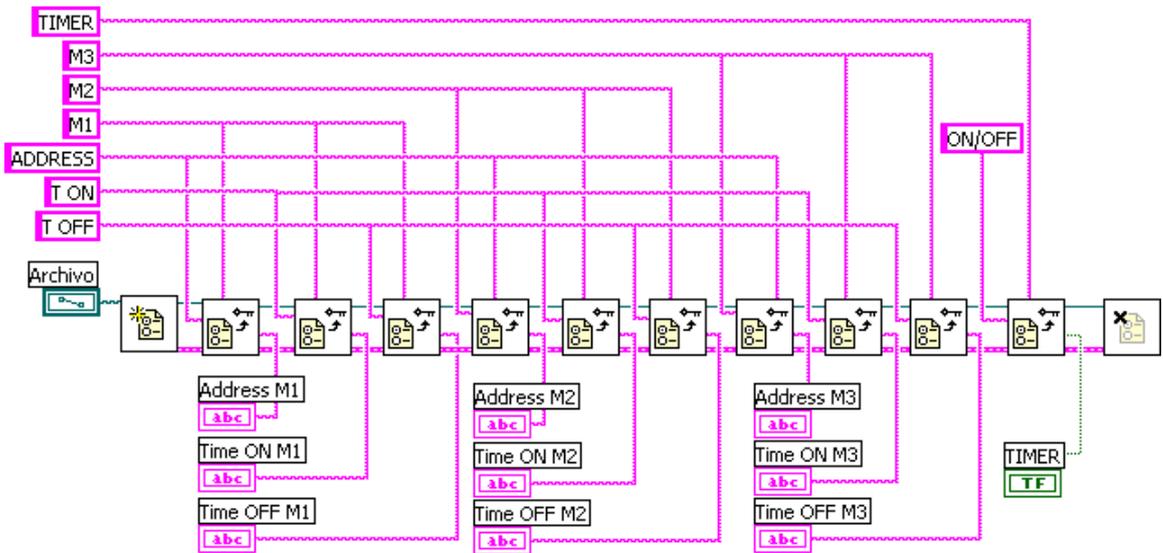


Fig. 2.26: Diagrama de Bloques “ReadConfig.vi”

De igual manera que el caso anterior, se han utilizado las funciones “Open Config Data” y “Close Config Data” para abrir el archivo que se va a leer y posteriormente cerrarlo, como se explicó anteriormente, y para obtener los datos se ha utilizado la función “Read key” que lee el dato asociado a un campo y sección específicos y los envía a los indicadores tipo “String” como se indica en la figura 2.26.

EvalHora.vi

Evalúa el dato ingresado en un control de temporización, comprobando que el formato de hora sea correcto. La validación de datos que se efectúa con este subVI tiene que ver con el valor de hora y minutos del dato ingresado y para esto se utiliza el diagrama de bloques de la figura 2.27, cuyo funcionamiento es el siguiente:



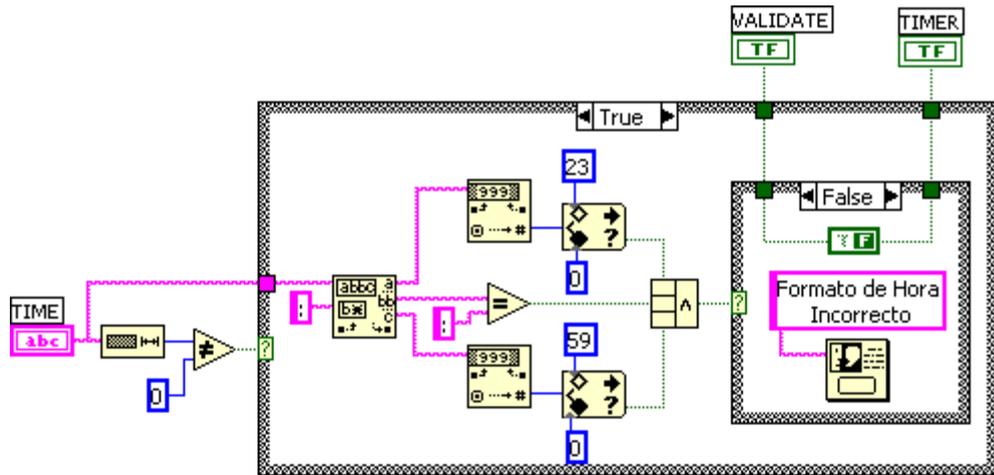


Fig. 2.27: Diagrama de Bloques “EvalHora.vi”

 **String Length:** devuelve el número de caracteres que posee un dato de entrada tipo “String”. Mediante esta función, se verifica el número de caracteres presentes en el control “Time”. Si este número es diferente de cero (el control no está vacío) se continúa con la ejecución de las funciones que se encuentran dentro de la estructura “Case”.

 **Match Pattern:** busca uno o varios caracteres (patrón de búsqueda) dentro de una cadena más grande y entrega tres salidas: la primera contiene todos los caracteres encontrados antes del patrón de búsqueda, la segunda es el patrón de búsqueda y la tercera contiene todos los caracteres encontrados después del patrón. El patrón de búsqueda utilizado en “EvalHora.vi” es “:.”, con lo que se puede separar el dato de tiempo ingresado por el usuario (Ej: 21:15) en dos partes (horas y minutos) para posteriormente comprobar que estos datos sean válidos.

 **In Range and Coerce:** esta función acepta como entradas tres datos numéricos “Upper limit”, “X” y “Lower limit” y devuelve un dato “True” si el valor de “X” está dentro del rango especificado por los límites superior e inferior. Con la ayuda de esta función se comprueba que el valor de hora esté dentro de un rango entre 00 y 23 y el valor de minutos dentro de 00 y 59.

Luego de realizar estas acciones, el programa efectúa una operación lógica “And” entre las tres validaciones efectuadas hasta el momento (horas, minutos y carácter

separador) y si su resultado es “True”, las salidas “Validate” y “Timer” también serán “True”, en caso contrario se mostrará el mensaje: “Formato de Hora Incorrecto” y las salidas tendrán un valor “False”.

En el caso que no se haya ingresado ningún dato en el control “Time” de este subVI, no se realizará ninguna validación y por lo tanto las salidas “Validate” y “Timer” tendrán un valor “True” y “False” respectivamente.

Parámetros.vi

Con este subVI se obtiene una dirección X10 de entrada, separada en sus partes literal y numérica como indica el conector mostrado en la figura 2.28. Las salidas “House” y “Unit” corresponden a los códigos de casa y unidad respectivamente y ambas son tipo numérico. Las funciones utilizadas para realizar esta tarea son las siguientes:



String Subset: devuelve una sub-cadena a partir de una cadena de caracteres. Posee tres entradas: “String”, “Offset” y “Length”. En la entrada “String” se debe colocar la cadena original de la cual se va a extraer la sub-cadena, “Offset” es un dato numérico que indica desde dónde se comienza a extraer la sub-cadena y “Length” es la longitud que tendrá la sub-cadena resultante. En este caso se han extraído dos sub-cadenas, la primera contiene el dato correspondiente al código de casa (House), para lo cual se extrae una sub-cadena de longitud 1 a partir del elemento 0 y la segunda corresponde al código de unidad (Unit) cuya longitud es 2 a partir del elemento 1, como se indica en la figura 2.28.



Search 1D Array: busca un elemento en un arreglo unidimensional y como salida entrega el índice correspondiente a dicho elemento. Esta función ha sido utilizada conjuntamente con una constante de arreglo de 17 elementos, en donde cada elemento contiene como dato una letra (A, B, ..., P) correspondiente a cualquier código de casa válido (el elemento cero está vacío) y como resultado se obtiene el índice del dato, es decir la posición dentro del arreglo que tiene una letra determinada. De esta manera se consigue el dato numérico que representa el código de casa.



Decimal String to Number: convierte un caracter numérico tipo “String” en un entero decimal de tipo numérico. Como resultado de utilizar esta función se tiene el mismo número extraído de la dirección X10 pero en formato numérico.

Conector

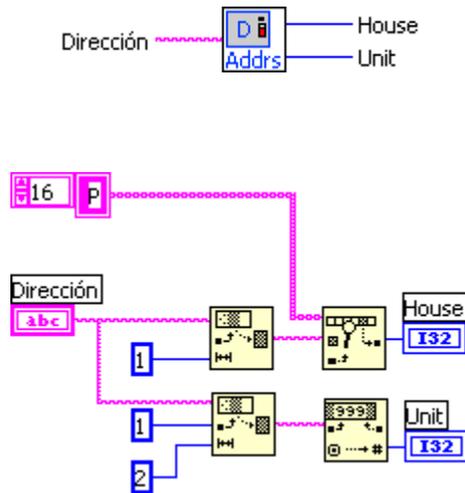


Fig. 2.28: Diagrama de Bloques “Parámetros.vi”

CAPÍTULO III

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

PRUEBAS

En el capítulo anterior se definió tanto el hardware como el software del sistema de control de iluminación residencial que se utilizará para el presente proyecto. A continuación se detallarán las pruebas efectuadas antes de realizar la integración del sistema.

PRUEBAS DE HARDWARE

Como ya se ha indicado, el hardware que conforma el sistema se compone de los siguientes elementos:

- Una estación base (computador personal)
- Un módulo PLC transceiver (CM 15A)
- Dos módulos de lámpara (LM 465)
- Dos módulos para electrodomésticos (AM 486)
- Dos módulos de lámpara tipo boquilla (RLM 20)
- Dos módulos tipo interruptor de dos vías (WS 467)

El PLC transceiver utiliza cuatro pilas “AAA” como fuente de alimentación para su circuito interno. Este módulo se conecta al puerto USB de la estación base mediante el cable respectivo y también se conecta a un tomacorriente cercano mediante un enchufe provisto en la parte posterior del mismo como se muestra en la figura 3.1.



Fig. 3.1: Conexión del transceiver a la estación base

Los módulos de lámpara y de electrodomésticos son muy similares físicamente y en ambos casos la forma de conectarlos y ponerlos en servicio es como se indica en la figura 3.2.



Fig. 3.2: Conexión de módulos de lámparas y electrodomésticos

Utilizando un destornillador pequeño se puede ajustar la dirección X10 a la que responderá cada módulo cuando el sistema esté en funcionamiento, esto se hace girando los diales ubicados en la parte frontal del módulo (un dial para el código de casa y otro para el código de unidad). Adicionalmente, en la parte inferior poseen un conector tipo tomacorriente que es en dónde se debe conectar la lámpara o el electrodoméstico a controlar y en su parte posterior, al igual que el CM15A (transceiver) tiene un enchufe para ser conectado al tomacorriente más cercano al dispositivo que controlará.

Para los interruptores de dos vías (WS 467) se debe tomar en cuenta que para su instalación se debe reemplazar un interruptor común por uno de éstos módulos, de tal manera que es aconsejable quitar el suministro de energía de la instalación para evitar una eventual descarga eléctrica sobre la persona que realice esta acción. De igual manera, estos módulos poseen dos diales para ajustar su dirección X10.

Finalmente los módulos tipo boquilla para lámparas (RLM 20) se instalan directamente en una boquilla para foco incandescente común, de la misma manera que se pone un foco en una boquilla. La forma de cambiar la dirección X10 de estos módulos se explicó en el capítulo anterior.

Luego de ajustar las direcciones X10 de todos y cada uno de los ocho módulos de control que posee el sistema y antes de iniciar la integración con el software, se han hecho varias pruebas de funcionamiento independientes con cada módulo, cuyos resultados se indican a continuación:

Tabla 3.1: Pruebas de módulo de electrodoméstico

Módulo	Descripción	Distancia (m)	Función	Resultado
AM-486	Módulo de Electrodoméstico	50	On/Off	Óptimo
		100		Óptimo
		150		Óptimo
		200		Óptimo
		> 200		Se pierde comunicación

Tabla 3.2: Pruebas de módulo de lámpara (boquilla)

Módulo	Descripción	Distancia (m)	Función	Resultado
RLM-20	Módulo para Boquilla	50	On/Off	Óptimo
		100		Óptimo
		150		Óptimo
		200		Óptimo
		> 200		Se pierde comunicación

Tabla 3.3: Pruebas de módulo de lámpara

Módulo	Tipo	Distancia (m)	Función	Resultado
LM-465	Módulo de Lámpara	50	On/Off Dim/Bright	Óptimo
		100		Óptimo
		150		Óptimo
		200		Óptimo
		> 200		Se pierde comunicación

Tabla 3.4: Pruebas de módulo interruptor

Módulo	Descripción	Distancia (m)	Función	Resultado
WS-467	Interruptor de dos Vías	50	On/Off Dim/Bright	Óptimo
		100		Óptimo
		150		Óptimo
		200		Óptimo
		> 200		Se pierde comunicación

El objetivo de estas pruebas ha sido determinar la distancia máxima a la que se pueden enviar códigos X10 desde el transceiver hasta uno de los módulos utilizados. Para la realización de la prueba se utilizó una instalación eléctrica libre de ruido, es decir, en la línea de fase sólo se conectaron el transceiver y el módulo de control correspondientes a los datos de las tablas mostradas en la página anterior, como se indica en la figura 3.3.

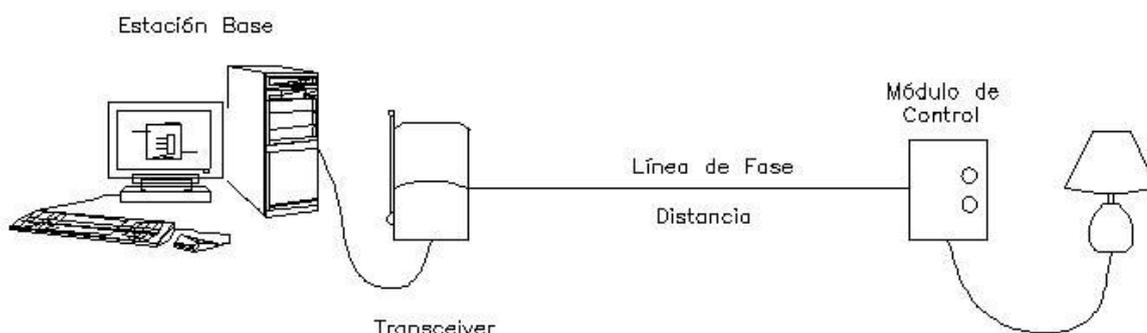


Fig. 3.3: Esquema de prueba sin interferencias

Debido a que en la actualidad los ambientes libres de ruido eléctrico prácticamente han desaparecido, y por ello, los resultados obtenidos en el experimento anterior se convertirían en datos estadísticos, mas no en datos reales de prestaciones del sistema, ha sido necesario repetir las pruebas, pero esta vez la línea de fase estará alimentando a otros dispositivos a más del transceiver y el módulo de control. Concretamente para estas pruebas se han insertado en la fase tres dispositivos que normalmente están presentes en la mayoría de viviendas y son fuentes de ruido eléctrico, como se indica en la figura 3.4.

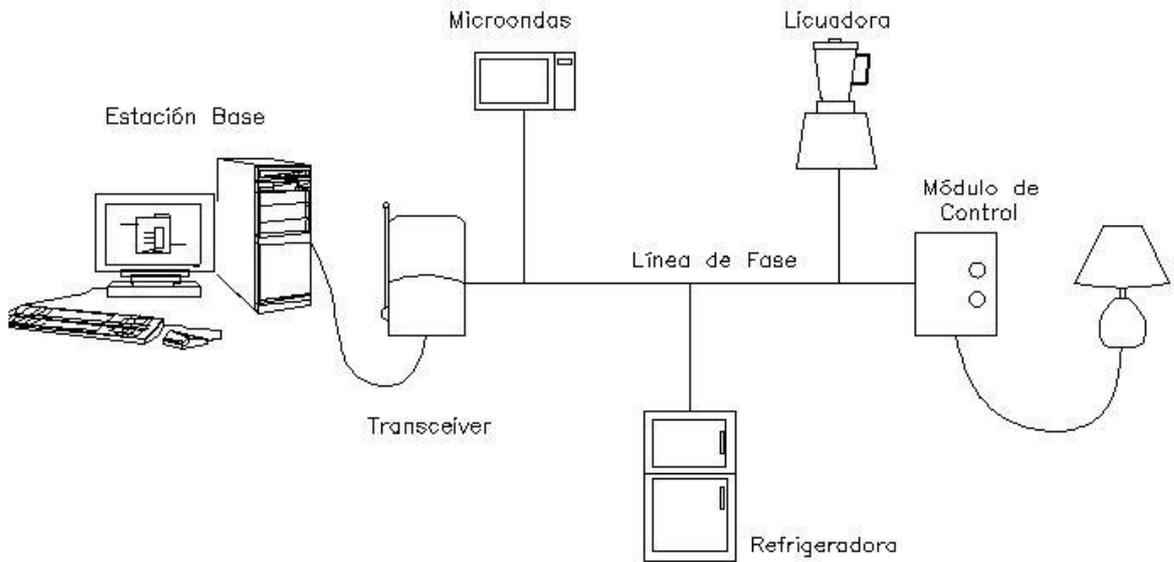


Fig. 3.4: Esquema de prueba sin en ambiente real

Los resultados se anotan a continuación:

Tabla 3.5: Pruebas de módulo de electrodoméstico

Módulo	Descripción	Distancia (m)	Función	Resultado
AM-486	Módulo de Electrodoméstico	50	On/Off	Óptimo
		100		Óptimo
		150		Óptimo
		200		Óptimo
		> 200		Se pierde comunicación

Tabla 3.6: Pruebas de módulo de lámpara (boquilla)

Módulo	Descripción	Distancia (m)	Función	Resultado
RLM-20	Módulo para Boquilla	50	On/Off	Óptimo
		100		Óptimo
		150		Óptimo
		200		Óptimo
		> 200		Se pierde comunicación

Tabla 3.7: Pruebas de módulo de lámpara

Módulo	Tipo	Distancia (m)	Función	Resultado
LM-465	Módulo de Lámpara	50	On/Off Dim/Bright	Óptimo
		100		Óptimo
		150		Óptimo
		200		Óptimo
		> 200		Se pierde comunicación

Tabla 3.8: Pruebas de módulo interruptor

Módulo	Descripción	Distancia (m)	Función	Resultado
WS-467	Interruptor de dos Vías	50	On/Off Dim/Bright	Óptimo
		100		Óptimo
		150		Óptimo
		200		Óptimo
		> 200		Se pierde comunicación

De acuerdo a los datos obtenidos, se puede observar que en un ambiente con ruido eléctrico moderado, la interferencia provocada por las señales de comunicación X10 es imperceptible y a su vez, éstas no sufren degradación como para que se interrumpa la comunicación del sistema.

PRUEBAS DE SOFTWARE

De lo desarrollado en el Capítulo II, se encuentra que el funcionamiento de cada una de las pantallas de interfaz de usuario es el siguiente:

- El programa requiere que el usuario ingrese un password para tener acceso al control general.
- El usuario tiene la opción de modificar el password.
- El programa presenta una vista general de todos los escenarios que se están controlando y la cantidad de módulos de control asignados a cada uno de éstos.
- El usuario puede ingresar a cada escenario de control en particular para: modificar la dirección X10 de uno o todos los módulos disponibles, configurar temporizadores tanto al encendido como al apagado de cada módulo. Al hacer esta configuración se debe tener en cuenta que la hora de encendido o apagado no se repita en

ningún temporizador, ya que si esto sucede, se crea un conflicto en la ejecución del programa debido a que éste reconoce solamente la activación de un temporizador a la vez.

- Para encender y apagar dos o más dispositivos al mismo tiempo utilizando un solo temporizador, se debe configurar la misma dirección X10 a los módulos de control.
- Hay que tener en cuenta que mientras se está ejecutando cualquiera de las pantallas de configuración, el sistema no reconocerá la activación de temporizadores
- El usuario puede apagar todos los módulos cuyo código de casa sea el mismo en cualquier momento desde la pantalla de control general mediante la opción “All Units Off”. También se pueden encender todos los módulos de lámpara que tengan el mismo código de casa con la función “All Lights On”.
- Se operó con cada una de estas opciones y se comprobó su funcionamiento en forma correcta.

INTEGRACIÓN DE HARDWARE Y SOFTWARE

Para poder clasificar técnicamente un sistema de automatización de viviendas, es necesario tener claros una serie de conceptos técnicos, como son: tipo de arquitectura, medio de transmisión, velocidad de transmisión y protocolo de comunicaciones.

ARQUITECTURA

La arquitectura de un sistema domótico, como la de cualquier sistema de control, especifica el modo en que los diferentes elementos de control del sistema se van a ubicar y a interconectar entre sí. Existen dos arquitecturas básicas: la arquitectura centralizada y la distribuida.

El sistema implementado en el desarrollo de este proyecto utiliza una arquitectura centralizada, ya que el control permanece siempre en la estación base y los dispositivos de control están “cableados” desde su punto de ubicación a ésta.

MEDIO DE TRANSMISIÓN

Como ya se ha indicado el medio de transmisión utilizado es el cable de cobre presente en las instalaciones eléctricas residenciales. A diferencia de otros sistemas domóticos, en este caso no ha sido necesario tender ningún cable adicional para crear la red de control.

VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN

La velocidad de transmisión de datos en este caso depende del protocolo de comunicación que se ha utilizado y su análisis se detallará más adelante.

PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

El protocolo de comunicación utilizado es X10, el mismo que es un estándar en los sistemas de control domóticos. Las características de éste protocolo, así como sus ventajas y desventajas se anotaron en el Capítulo I.

Una vez definidos los parámetros de: arquitectura, velocidad, medio de transmisión y protocolo de comunicación, únicamente resta por hacer una prueba general del sistema completamente instalado en una vivienda. Los resultados de esta prueba se anotan en la tabla 3.9

Tabla 3.9: Prueba general del sistema de control de iluminación residencial

Tag Módulo	Tipo	Ubicación	Dirección X10	Distancia	Resultado
A-MR-1	AM-486	Habitación Principal	B1	23m	Óptimo
L-MR-1	LM-465	Habitación Principal	B2	20m	Óptimo
A-LR-1	AM-486	Sala	C1	18m	Óptimo
L-LR-1	LM-465	Sala	C3	15m	Óptimo
S-LR-1	WS-467	Sala	C2	21m	Óptimo
L-EX-1	RLM-20	Exterior	A2	70m	Óptimo
S-EX-1	WS467	Exterior (Garaje)	A3	50m	Óptimo
L-R2-1	RLM-20	Habitación 2	A1	35m	Óptimo

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de haber realizado las pruebas independientes de cada módulo y en conjunto todo el sistema, los resultados obtenidos son los siguientes:

ALCANCE

Existen escenarios que se debe tener en cuenta para la correcta transmisión de las órdenes programadas por el usuario, ya que muchas veces cuando se conectan los diferentes módulos en cada una de las tomas de la vivienda, algunos de estos no funcionan en esa posición, pero cuando se los cambia a una posición diferente si funcionan. Esto es porque se tiene un sistema polifásico, en este caso no existe una transmisión debido a que las señales X10 no se juntan en las fases. Para solucionar este inconveniente se utiliza un acoplador de fases, además de filtros para evitar que las señales X10 entren o salgan de la casa.

En lo que tiene que ver al alcance de la transmisión, existen casos en que los módulos que se encuentran más alejados de la estación de control (transceiver), no responden a las órdenes programadas por el usuario, mientras que los que se encuentran ubicados cerca de la estación de control no tienen ningún problema de transmisión, esto se debe a que las señales X10 se transmiten con una amplitud de la señal de 5V y los módulos de control responden a los comandos cuando las señales X10 tienen una amplitud mínima de 50 milivoltios. Aunque la tolerancia es significativa, la señal se puede debilitar a veces por la presencia de cargas inductivas o capacitivas considerables.

Varias soluciones son posibles para prevenir la influencia de éstas cargas en la señal X10, una de ellas es que el transceiver se instale en un lugar central entre los módulos y la más importante es instalar un filtro entre la carga, que ocasiona problemas, y la línea de energía, con lo que se lograría que las señales X10 no sean atenuadas por este tipo de cargas.

VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN

Como se mencionó anteriormente, en este caso, la velocidad de transmisión depende del protocolo de comunicación X10 por las siguientes razones:

- Se necesitan once ciclos de la señal de suministro eléctrico para enviar una trama (frame) completa.
- Para enviar una orden a un módulo de control se necesitan dos tramas. La primera trama contiene la dirección del módulo (A1, A2, etc) y la segunda contiene el comando (On, Off, etc).

- Cada trama se envía dos veces para efectos de redundancia y fiabilidad.
- Luego de enviar las dos primeras tramas, se deja un espacio de tres ciclos de corriente y se envían las dos siguientes.
- Por lo tanto, cada vez que se envía una orden a un módulo de control, el transceiver genera cuatro tramas, las mismas que utilizan 44 ciclos de corriente y más los 3 ciclos que se dejan vacíos luego de las dos primeras, en total se utilizan 47 ciclos por orden.

Esto quiere decir que para enviar por ejemplo la orden “A1 ON”, que encendería el dispositivo controlado por el módulo A1, en realidad el arreglo de tramas que se envía es: A1, A1, tres ciclos de corriente en blanco, A-ON, A-ON y se tendría un retardo de 0.7833 segundos. Por supuesto que éste sería el mayor retardo posible, ya que se debe enviar una dirección y un comando para completar la orden de control.

Con otros comandos, como por ejemplo “All Units Off”, en el que no se necesita enviar una dirección, solo se utilizaría 22 ciclos de corriente y el retardo sería de 0.3667 segundos.

SEGURIDAD DE LOS EQUIPOS

En un sentido más amplio de domótica, el sistema se integra con Seguridad Técnica: Seguridad contra intrusión, Teleasistencia. Control de calefacción. Sistemas de Ocio como la televisión, el vídeo, los canales parabólicos e incluso el control del PC con su DVD y sus fotos, vídeos y música digitales.

De esta forma el sistema domótico puede crecer indefinidamente integrando sistemas especialmente diseñados para su función específica pero que tras un correcto análisis, se pueden integrar en el conjunto formando un sistema amigable y no sofisticado que facilita el día a día y evita la dispersión tecnológica, en continuo aumento, que sufren nuestros hogares.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al término del desarrollo del presente trabajo de implementación de un prototipo de control de iluminación residencial, se pone a consideración las conclusiones y recomendaciones obtenidas durante la realización del proyecto.

4.1. CONCLUSIONES

- La transmisión de datos utilizando como infraestructura la red eléctrica doméstica es posible mediante el acople de un PLC transceiver a la estación base de control que en nuestro caso es un computador con las unidades de control del sistema. Este proyecto fue enfocado a una aplicación de la domótica utilizando principalmente PLIC (Power Line Indoors Communication) o comunicaciones intrahogareñas, esto es utilizando la red eléctrica interior de la casa, para establecer comunicaciones internas.
- Los sistemas electrónicos deben ser desarrollados buscando la menor interferencia entre las señales que se involucran. La posibilidad de que exista interferencias entre la señal utilizada para la transmisión de datos con la frecuencia de la red eléctrica convencional es prácticamente nula, puesto que los datos que se transmiten se encuentran en un rango de frecuencias de 1.6 a 30 Mhz constituyendo esto como una de las principales ventajas de la tecnología Power Line.
- El protocolo X10 permitió controlar aparatos eléctricos a través de la instalación de una red eléctrica doméstica mediante ráfagas de 120KHz superpuestas en los cruces por cero de la señal de la red eléctrica.

- El PLC transceiver permite la comunicación de datos a través de cualquier tomacorriente de la vivienda. Por medio del puerto USB se conecta a una estación base (PC), y mediante una interfaz de acoplamiento PLC se comunica con las unidades de control a través de la red eléctrica.
- El PLC transceiver CM15A de Active Home puede controlar remotamente las unidades de control debido a que posee la capacidad de recibir comandos X10 RF.
- El software Labview permite realizar aplicaciones que involucran, control, análisis y presentación de datos que se encuentran en los módulos debido a que constituye un revolucionario sistema de programación gráfica además de ser amigable al usuario.
- El presente trabajo permite a los usuarios controlar de manera adecuada el funcionamiento inteligente de una vivienda debido a la facilidad de conexión y programación de las unidades de control que poseen los módulos de Active Home y el panel gráfico que nos brinda Labview.
- La tecnología Power Line ayuda a la investigación de nuevas formas de comunicación esto implica a corto tiempo la capacidad de ofrecer, mediante este medio, cualquier servicio basado en IP, como podría ser: telefonía IP, Internet, videoconferencia, datos a alta velocidad, etc.
- Un sistema domótico basado en tecnología X10, no provoca interferencia en el funcionamiento de otros dispositivos conectados a la misma red eléctrica de la vivienda. De igual manera el sistema X10 implementado es inmune al ruido generado por los distintos electrodomésticos de la vivienda.
- Automatizar una vivienda utilizando tecnología PLC resulta muy conveniente, comparado con otros sistemas convencionales, debido a que se elimina el costo de cableado desde el controlador a los diferentes dispositivos de control y se reduce el tiempo de instalación del sistema.

4.2. RECOMENDACIONES

- Se debe tener presente la correcta ubicación de cada uno de los módulos situados a lo largo de la red eléctrica doméstica debido a que si se encuentra un transformador incluido en la red se perderá completamente la comunicación entre la estación base (PLC transceiver) y sus respectivas unidades de control.

- Para la transmisión de datos en Power Line se recomienda trabajar en redes que no sobrepasen distancias superiores a 300 metros desde el domicilio, si es el caso se deben poner repetidores.
- Se recomienda la utilización del protocolo X10 ya que como inversión tecnológica entre los varios sistemas domóticos que tratan de imponerse en la actualidad, el sistema X10 es el único que sigue vigente después de más de 25 años y más de cien millones de aparatos funcionando por todo el mundo. (Antiguamente sólo en EEUU) actualmente ya se ha adaptado el sistema a 220V y se usa en toda Europa y América Latina.
- Para la utilización de proyectos domóticos en los cuales se tenga un monitoreo y control a través de un computador recomendamos utilizar el PLC transceiver CM15A el cual brinda la capacidad de una conexión mediante puerto USB, además de funcionar independientemente ya que puede ser configurado como una estación de trabajo de una red de área local existente, de tal manera de poder encender luces de seguridad o monitorear la situación en la casa aún si no hay nadie en ella.
- Recomendamos la utilización de un Software como Labview ya que presenta además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación, librerías específicas para la adquisición de datos, control de instrumentación VXI, GPIB y comunicación serie, análisis presentación y almacenamiento de datos. Además de presentar un ambiente de trabajo amigable para el usuario final, tiene la capacidad de trabajar ya sea como servidor o cliente para ActiveX.
- Recomendamos principalmente a la Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga una mayor apertura en cuanto a bibliografía debido a que la tecnología de Power Line Communication da una pauta enorme para el estudio de varias aplicaciones a nivel mundial como es el caso del acceso al servicio de Internet, sobre todo en las zonas rurales o en zonas en donde no se cuente con una infraestructura telefónica.
- Se recomienda a todos los compañeros de la Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga continuar con el estudio de la tecnología de Power Line Communication debido al crecimiento mundial de las comunicaciones en el ámbito de la automatización industrial y domótica, teniendo como principal ventaja una infraestructura ya establecida a nivel mundial en cada uno de nuestros hogares.

BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES

- Roger L. Freeman, “Ingeniería de Sistemas de Telecomunicaciones”, Editorial LIMUSA 1991.
- Alberto Sendín Escalona, “Fundamentos de los sistemas de comunicaciones”, McGraw-Hill 2004.
- José Miguel Alonso, “Protocolos de Comunicaciones para Sistema Abiertos” Editorial Iberoamericana, 1995.
- <http://www2.udec.cl/~racuna/domotica/x10.htm>
- http://pdf.rincondelvago.com/plc_1.html
- http://www.albertomurillo.com/MOD_Digital.htm
- <http://www.plccr.com/avance%20en%20la%20modulacion.htm>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/X10>
- <http://www2.udec.cl/~racuna/domotica/x10.htm>
- http://www.geocities.com/ido_bartana/rf_protocol.htm
- <http://www.encyclopedia.com/es/x/x1/x10.php>

ANEXO A

MANUAL DEL USUARIO

Lo primero que se debe entender es que existen dos diferentes tipos de dispositivos que se necesitan para controlar una vivienda, estos son: Controladores y Módulos. Cualquier foco, luminaria o electrodoméstico que se vaya a controlar debe ser conectado a un módulo y éste debe ser conectado a un tomacorriente estándar de la vivienda.

Los módulos, entre ellos los módulos de lámparas, electrodomésticos o interruptores de dos vías, reciben comandos desde un controlador que en este caso es el PLC transceiver CM 15A en conjunto con la aplicación desarrollada en Labview. El transceiver también debe ser conectado a un tomacorriente estándar y mediante el cable con el cual viene provisto, se conecta al puerto USB de una computadora. Este equipo es el encargado de enviar los comandos a los módulos mediante el cableado eléctrico existente en la vivienda.

Adicionalmente el CM 15A tiene la capacidad de recibir señales de radiofrecuencia que pueden ser enviadas desde un control remoto para X10. Cuando éste recibe un comando desde un control remoto inalámbrico, envía las señales digitales correspondientes a través de la red eléctrica hacia los módulos, los mismos que las reciben y ejecutan los comandos.

INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA

- 1.** Poseer el PLC transceiver CM15A con su respectivo cable de conexión con interfaz USB.
- 2.** Descargar el software X10 Active Home Pro y el software Labview 6i en su PC.
- 3.** Conectar mediante un cable de interfase USB al PLC transceiver con el computador.



Fig. A.1: Conexión del cable USB al PLC transceiver

4. Observar que el PLC transceiver se encuentre con sus respectivas baterías para su funcionamiento.



Fig. A.2: Colocación de Baterías al PLC transceiver

5. Conectar al PLC transceiver a un tomacorriente (110Vac), preferentemente lo más cercano posible al computador.
6. Asignar las direcciones X10 a cada módulo y conectarlos a los respectivos dispositivos que se desee controlar de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla A.1: Módulos de Control

Módulo	Descripción	Dispositivo a Controlar
LM 465	Módulo de Lámpara	Lámparas incandescentes.
WS 467	Interruptor de dos vías	Reemplaza a un interruptor mecánico Debe ser utilizado con luminarias incandescentes.
RLM 20	Módulo de Lámpara tipo boquilla	Focos incandescentes.
AM 486	Módulo para electrodomésticos	Electrodomésticos de baja potencia.

Las direcciones X10 se asignarán según las necesidades de usuario.

7. Ejecutar el archivo “Inicio.vi”.
8. En la pantalla que aparece, hacer clic en el botón continuar. Luego de esto el programa solicitará ingresar la clave de acceso, la misma que es “tesis”. Esta contraseña podrá ser modificada por el usuario en cualquier momento.
9. En el panel general de control que aparece, configurar las direcciones X10 en concordancia con las asignadas a los módulos en el paso 6.
10. Luego de realizar las acciones indicadas en los pasos anteriores, el sistema está listo para funcionar, por lo tanto el usuario ya puede controlar el encendido o apagado de los diferentes dispositivos bajo control desde el panel de control general.
11. En caso de requerir la activación simultánea de varios módulos de control, el usuario puede utilizar los controles ubicados bajo la etiqueta “General” dentro de la pantalla principal. Estos controles permiten encender todos los módulos de lámpara que tengan el mismo código de casa mediante la función “All Lights On”. también es posible apagar todos los módulos que conforman el sistema con la función “All Units Off”.

UTILIZACIÓN DE TEMPORIZADORES

En todo sistema domótico, la activación automática de ciertos dispositivos es esencial. Una forma de hacer esto es mediante la utilización de temporizadores con los que se puede establecer horarios para encender y/o apagar luces de acuerdo a las necesidades del usuario. Los pasos a seguir para la configuración de temporizadores son los siguientes:

1. Desde el panel de control general pulsar el botón “Configurar” correspondiente al escenario de control deseado.

2. En la pantalla que aparece, junto a la palabra “Temporizador” se muestran dos casilleros (ON y OFF), en donde se ingresará la hora de encendido y apagado respectivamente. El formato de hora es “hh:mm”
3. Para regresar a la pantalla principal, se debe pulsar el botón “Grabar”. De esta manera se actualizan los archivos de configuración propios del sistema para que se activen los temporizadores. Luego de esta acción se observará en el panel de control principal que el LED verde del escenario configurado se ha encendido, lo que indica que hay un temporizador activado.
4. Para deshabilitar un temporizador, se debe ingresar en la pantalla de configuración de escenario y borrar los datos de los casilleros de “Temporizador” y posteriormente pulsar el botón grabar para regresar a la pantalla principal.
5. Cabe indicar que si se configuran dos o más temporizadores con la misma hora de encendido o apagado, así éstos estén asociados a módulos en distintos escenarios, la temporización no tendrá ningún efecto en la operación del sistema, es decir no se ejecutará ningún comando cuando se cumpla el tiempo de temporización.

Aún cuando se haya configurado un temporizador para un determinado módulo, es posible activar o desactivar dicho módulo manualmente desde el panel de control general, ya sea antes, durante o después del tiempo configurado en el temporizador, sin que esto afecte su funcionamiento

ANEXO B

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ACG. Control automático de ganancia.

ActiveX. Es el nombre general para un grupo de tecnologías de Microsoft que permiten a los usuarios reutilizar códigos y enlazar programas independientes para satisfacer sus necesidades computacionales.

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line. Tecnología para transmitir información digital a elevados anchos de banda. A diferencia del servicio dial up, ADSL provee una conexión permanente y de gran velocidad. Esta tecnología utiliza la mayor parte del canal para enviar información al usuario, y sólo una pequeña parte para recibir información del usuario.

ASK. Amplitud de una señal portadora de acuerdo con las variaciones de una señal moduladora con valores discretos.

ATM. (**Asynchronous Transfer Mode**). ATM es una tecnología de conmutación y multiplexado de alta velocidad, usada para transmitir diferentes tipos de tráfico simultáneamente, incluyendo voz, video y datos.

BPL. Broadband over Power Lines.

BPSK. Modulación psk binaria

Bridges. Dispositivo usado para conectar dos redes y hacer que las mismas funcionen como si fueran una. Típicamente se utilizan para dividir una red en redes más pequeñas, para incrementar el rendimiento.

Broadcast. Un solo canal de comunicación compartido por todas las máquinas

CAL. Commun Appliance Language.

CEBus. Consumer Electronic Bus.

Checksum. Control de autosuma.

Cluster. Grupo; racimo; agrupamiento. En la tecnología de las computadoras, un cluster es la unidad de almacenamiento en el disco rígido. Un archivo está compuesto por varios clusters, que pueden estar almacenados en diversos lugares del disco.

COM. Component Object Model.

CPE .Customer Premise Equipment.

CPFSK. Continuous Phase FSK

CRC. Comprobación de redundancia cíclica

DCE. Circuitos (módem) de conexión con la red.

Domótica. El término Domótica viene del latín “domus” que significa casa y de la palabra “automática”, por lo tanto la domótica se refiere a una casa automática o como se le ha llamado más comúnmente una casa inteligente. En inglés a la domótica se le conoce más como “home networking” o “smart home”. Una casa inteligente es aquella cuyos elementos o dispositivos están integrados y automatizados a través de una red (principalmente Internet) y que a través de otro dispositivo remoto o inclusive interno se pueden modificar sus estados o los mismos dispositivos están diseñados para realizar ciertas acciones cuando han detectado cambios en su propio estado.

DS2. Diseño de Sistemas en Silicio.

DTE. A los terminales y computadores se les llama DTE

EIA. Electronics Industry Association.

Encriptar. Proteger archivos expresando su contenido en un lenguaje cifrado. Los lenguajes cifrados simples consisten, por ejemplo, en la sustitución de letras por números.

ETSI. European Telecommunication Standards Institute.

DAB. Digital Audio Broadcasting. Designa un sistema terrestre de emisiones digitales de radio, en el que se pueden recibir las señales gracias a un receptor específico.

ETSI DVB-T DVB Digital Video Broadcasting. Es una norma europea de emisión digital para televisión, asociada al formato de compresión MPEG-2. El DVB, como el DAB para radio, utiliza una transmisión por paquetes de datos informáticos comprimidos.

FEC. Corrección progresiva de errores.

FFT. Transformada rápida de Fourier.

Flags. Banderas

HBS. Home Bus System

HES. Home Electronic System

IDFT. Transformada Discreta Inversa de Fourier simple

IEC. International Electrotechnical Commission

IEEE. Institute of Electrical and Electronics Engineers: importante asociación de técnicos y profesionales, con sede en los Estados Unidos. Fue fundada en 1884 y en 1998 tenía aproximadamente 320.000 miembros en 147 países. Favorece la investigación en campos diversos, como la tecnología aeroespacial, la computación, las comunicaciones y la tecnología biomédica. Promueve la estandarización de normas.

IFFT Transformada Inversa Rápida de Fourier.

IP. Protocolo de Internet.

IPX protocolos.

ISO. International Organization for Standardization. Fundada en 1946, es una federación internacional que unifica normas en unos cien países. Una de ellas es la norma OSI, modelo de referencia universal para protocolos de comunicación.

ISP. Proveedor de Acceso a Internet

LAN. Redes de Area Local

MSK. Minimum Shift Keying

NEC IR. Protocolo original

OEM. Original Equipment Manufacturer.

OFDM. Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OLE. Object Link and Embedding.

OQPSK. Modulación QPSK desplazada

OSI. Open Systems Interconnection.

Packet. la parte de un mensaje que se transmite por una red. Antes de ser enviada a través de Internet, la información se divide en paquetes.

PL Power Line.

PLC. Power Line Communication. También denominada BPL (Broadband over Power Lines) es una tecnología basada en la transmisión de datos utilizando como infraestructura (medio de transmisión) la red eléctrica. Esto implica la capacidad de ofrecer, mediante este medio, cualquier servicio basado en IP, como podría ser: telefonía IP, Internet, videoconferencia, datos a alta velocidad, etc.

PLIC. Power Line Indoors Communication

PLOC. Power Line Outdoors Communication

QAM. Modulación de amplitud en cuadratura

QPSK. Transmisión por desplazamiento de fase cuaternaria

Ruteadores. Dispositivo que dirige el tráfico entre redes y que es capaz de determinar los caminos más eficientes, asegurando un alto rendimiento.

SNAP. Scalable node address protocol

SSDN. Smart Systems Digital Network.

Switch. Un dispositivo de red capaz de realizar una serie de tareas de administración, incluyendo el redireccionamiento de los datos.

TCP/ IP Transfer Control Protocol / Internet Protocol. Es el protocolo que se utiliza en Internet.

UART. Universal Asynchronous Receiver Transmitter.

USB Universal Serial Bus, es una interfase de tipo plug & play entre una computadora y ciertos dispositivos, por ejemplo, teclados, teléfonos, escáners e impresoras.

VCO. Voltage Controlled Oscillator

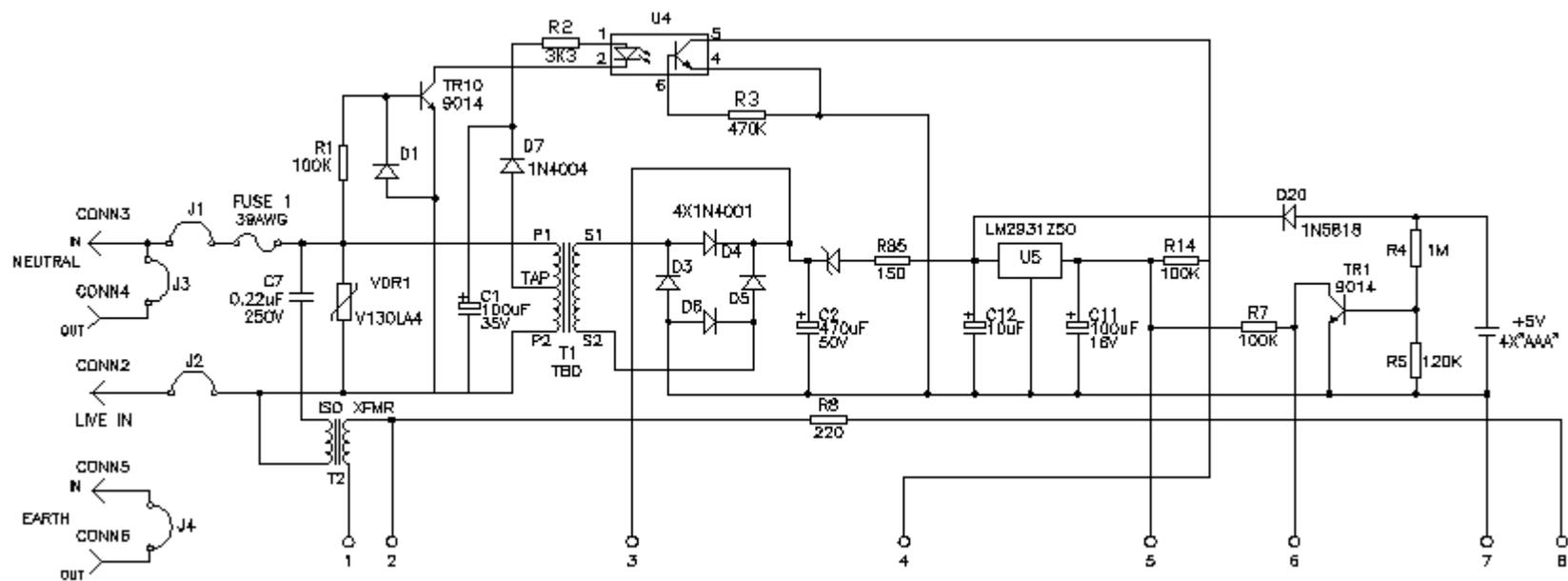
WAN. Wide Area Network (Red de área amplia): Una red generalmente construida con líneas en serie que se extiende a distancias mayores a un kilómetro.

$\pi/4$ DQPSK. Modulación QPSK diferencial $\pi/4$.

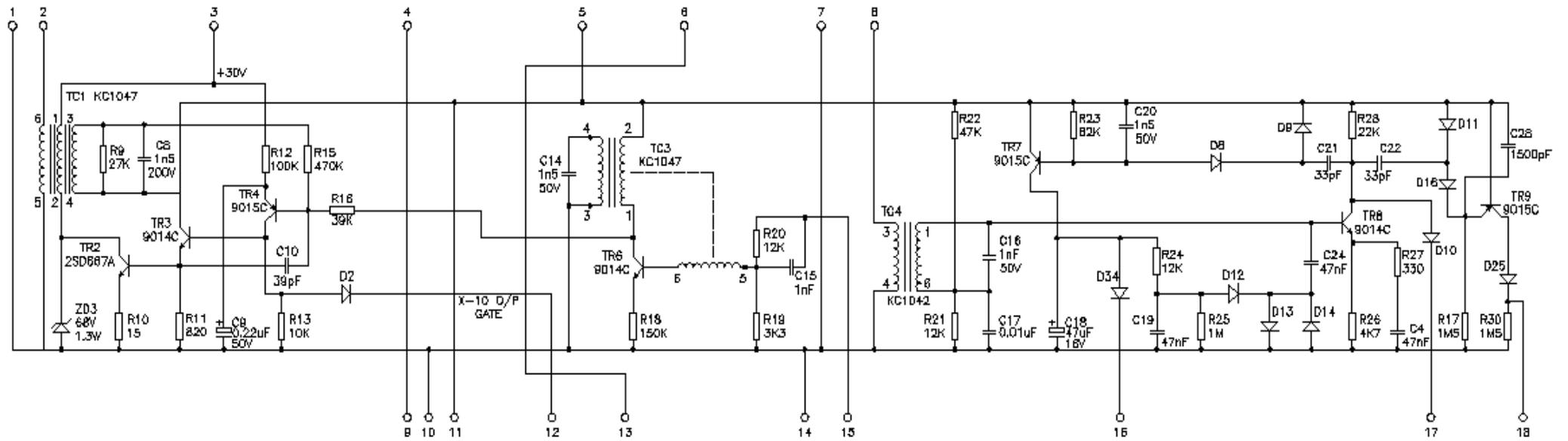
ANEXO C

DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS X10

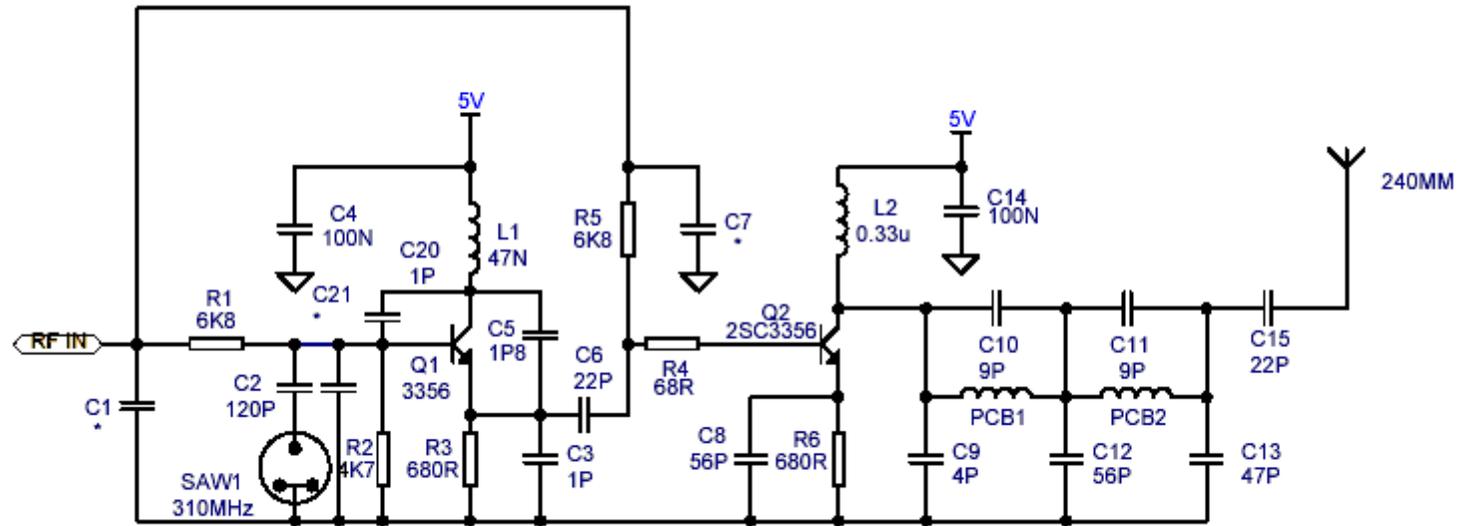
- Interfaz USB.
- Transmisor X10 RF.
- Receptor X10 RF.



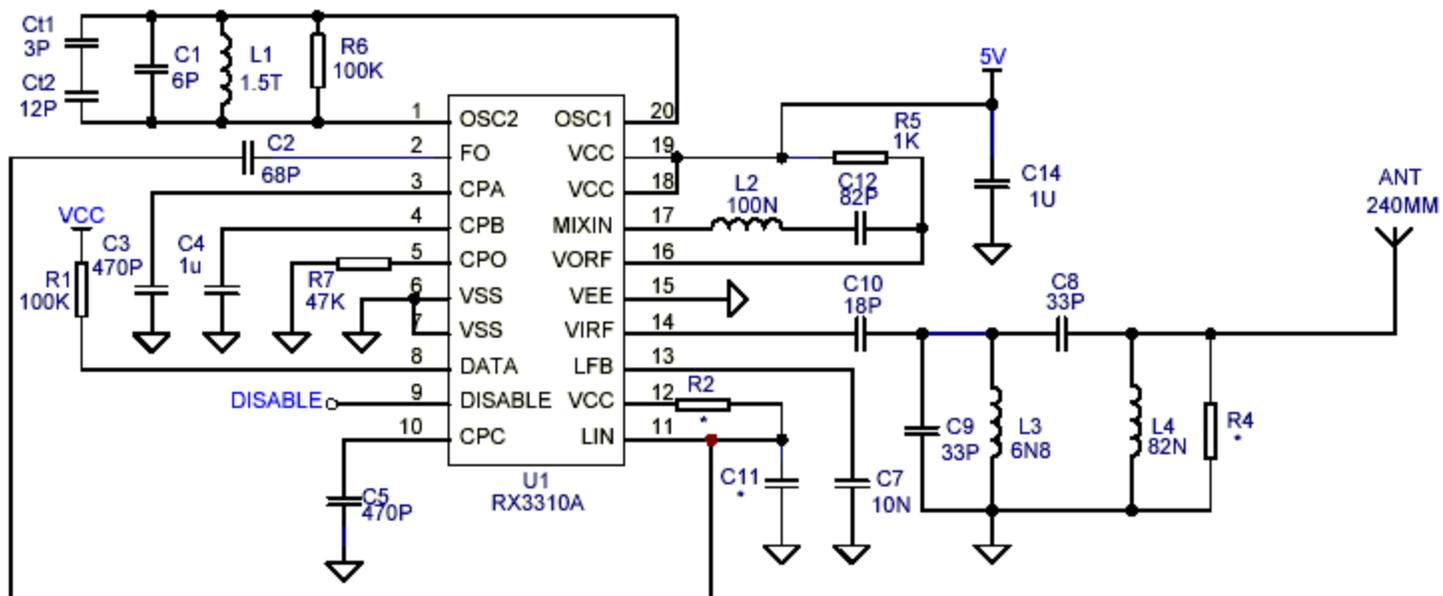
Interfaz USB (1/3)



Интерфаз USB (2/3)



Transmisor X10 RF (310MHz)



Receptor X10 RF (310MHz)

LATACUNGA, OCTUBRE DEL 2006

ELABORADO POR:

JAVIER FERNÁNDEZ

JAIME VARELA

ING. ARMANDO ÁLVAREZ
COORDINADOR DE CARRERA

DR. EDUARDO VÁSQUEZ ALCÁZAR
SECRETARIO ACADÉMICO