UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

ARTICULO CIENTÍFICO

TEMA

INTERCONEXIÓN Y SINCRONIZACIÓN INALÁMBRICA DE SEMÁFOROS MEDIANTE REDES WSN BASADOS EN MÓDULOS ZIGBEE

AUTOR: PABLO ALEJANDRO SALAZAR AMUY

DIRECTOR: ING. DAVID NARVÁEZ

IBARRA – ECUADOR

2014

Interconexión Y Sincronización Inalámbrica De Semáforos Mediante Redes WSN Basados En Módulos ZigBee

Pablo SALAZAR [1], *David NARVÁEZ* [2]

[1] Universidad Técnica del Norte, Av. 17 de Julio 5-21, Ibarra, Imbabura
[2] Universidad Técnica del Norte, Av. 17 de Julio 5-21, Ibarra, Imbabura

pablo_a.s@hotmail.es[1], davnarvaez@hotmail.com[2]

Resumen. *Actualmente existen diversos sistemas que permiten gestionar el tráfico vehicular mediante el uso de sensores y cámaras de vigilancia, creando redes que cubre gran parte de las ciudades y ayudan a mejorar el flujo de tráfico en sectores críticos. El problema de congestionamiento no solo afecta a las grandes ciudades, sino también a las pequeñas ciudades en crecimiento, como es el caso de la cuidad de Ibarra. El incremento del número de automóviles en los últimos años, ha incentivado la idea de implementar un sistema económico y eficiente para el control del tráfico vehicular. Por tal motivo, el presente trabajo describe el desarrollo de un dispositivo basado en módulos inalámbricos ZigBee, que permiten intercambiar información de temporización y sincronización para una mejor gestión del tráfico vehicular.*

Palabras Claves

Microcontroladores, Comunicación Inalámbrica, ZigBee, Sistemas interconectados.

Abstract. *Currently there are systems that handle the vehicular traffic through the use of sensors and surveillance cameras, creating networks that covers much of the city and help to improve traffic flow in critical areas. The congestion problem affects not only large cities but also small towns growing, as is the case of the city of Ibarra. The increase in the number of cars in recent years, has encouraged the idea of implementing an economic and efficient system for traffic control. Therefore, this paper describes the development of a system based on ZigBee wireless modules device, allowing exchange and synchronization timing information for better management of traffic.*

Keywords

Microcontrollers, Wireless Communication, ZigBee, interconnected systems.

1. Estado situacional de la sincronización

El incremento del número de automóviles conjuntamente con una estructura vial limitada dentro del centro de la ciudad de Ibarra, ha acrecentado el problema de congestión vehicular. A pesar de implementar mecanismos de control de circulación, como restringir el paso de transporte pesado dentro de la cuidad y el desvió del transporte público hacia otras vías de circulación no ha resuelto el problema de congestión. El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra, cuenta desde mediados del año 2013, con un sistema de semaforización que cubre gran parte de la ciudad y que estaba basado en tecnología española enlazado hacia un centro de gestión mediante fibra óptica. Todos los controladores se sincronizan con el centro de operaciones y su información es actualizada por el operador que monitorea el tráfico mediante un conjunto de cámaras ubicadas estratégicamente en sectores conflictivos.

De tal manera se ha desarrollado un sistema de semaforización básico pero eficiente, para controlar el tráfico vehicular mediante el uso de redes inalámbricas basado en tecnología ZigBee que permitan intercambiar datos relevantes a la sincronización y temporización de los semáforos. Con la finalidad de ajustar el sistema a los requémenos del tráfico se realizó un estudios en la zona ubicada en las calles Guaranda e intersecciones, al ingreso del barrio Azaya en la cuidad de Ibarra.

1.1 Zona de estudio

La zona de estudio considera tres intersecciones entre la calle Guaranda, Santa Isabel, San Salvador y Santa Cruz.

Los datos obtenidos se han recopilado y resumidos en un gráfico que permite observar el comportamiento del tráfico a lo largo del día normal. Esta información es utilizada dentro del sistema para regular su comportamiento

a las diferentes horas del día como una configuración base de funcionamiento.

Figura 1. Zona de estudio calle Guaranda e intersecciones.

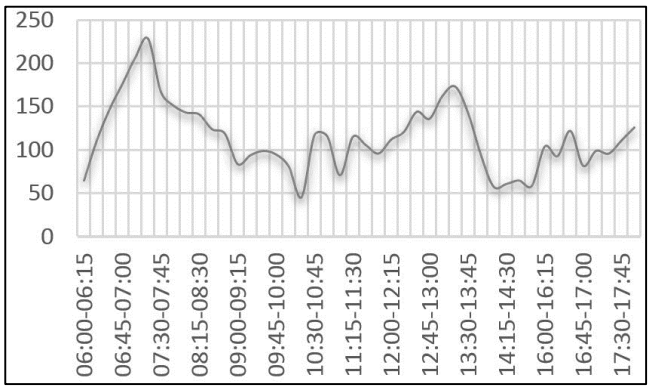

Figura 2. Relación horas-cantidad de vehículos.

1.2 Cálculos para los tiempos de temporiza-ción

Los datos obtenidos resultan útiles para el cálculo de los tiempos de encendido y apagado de las luces de señalización de los semáforos. A través de estos, se puede determinar los tiempos ideales para controlar el tráfico en las intersecciones mencionadas. Los cálculos aplicados son básicos, debido a que el objetivo del proyecto es la interconexión de semáforos mediante redes inalámbricas.

Se debe definir ciertos términos que faciliten la comprensión de los cálculos a realizar, esto son:

- Ciclo: es el tiempo que se requiere para mostrar una revolución completa de las luces del semáforo. Dicho de otra forma es el tiempo para que las luces cambien de verde-ámbar-rojo-verde.
- Movimiento: Maniobra o conjunto de maniobras de un mismo acceso que tienen el derecho de paso paralelamente y forman una misma fila.
- Intervalo. División del ciclo en la que la indicación de la señal del semáforo no varía. Ejemplo: intervalo en rojo, intervalo en ámbar o intervalo en verde.
- Fase: Parte del ciclo concedido a cualquier combinación de uno o más movimientos que reciben simultáneamente el derecho de paso, durante uno o más intervalos.

De cada una de las intersecciones, se obtuvo valores útiles para la aplicación de los cálculos respectivos, las tablas de valores pueden revisarse en el documento de tesis que lleva el mismo nombre de este trabajo.

1.2.1 Asignación de tiempos para cambio de fase.

Para la asignación de tiempos se analiza los siguientes factores:

La hora pico, que es intervalo de tiempo donde el tráfico vehicular aumenta más que en el resto del día, se lo representa con las siglas HP de Hora Pico.

Sumatoria de Hora Pico, debido a que las mediaciones del nivel de tráfico se lo realiza en intervalos de 15 minutos durante la hora, se tiene cuatro valores distintos los cuales se deben sumar para obtener el total de autos que circulan durante la hora pico. A este valor lo se lo representa como $\sum$HP.

Para obtener el valor de hora pico promedio, se debe aplicar una ecuación muy simple. Esta consiste en dividir la sumatoria de hora pico para el número de muestras tomadas durante una hora. La ecuación 1 representa lo mencionado.

$$VHPprom = \frac{(\sum HP)}{NoH} \quad (1)$$

Así mismo, se calcula el factor de la hora de máxima demanda, este valor se obtiene del aplicar la ecuación 2.

$$FHMD = \frac{VHP}{4 \times (max15)} \quad (2)$$

donde VHP_{prom} es el valor obtenido de la ecuación 1 y max15 es el valor más alto de vehículos contados durante uno de los cuatro intervalos de 15 minutos de la hora pico.

Para el cálculo del intervalo de cambio entre la señal visual ámbar más el tiempo en rojo se aplica la ecuación 3.

$$Y = \left(t + \frac{v}{2a}\right) + \left(\frac{W + L}{v}\right) \quad (3)$$

dónde, Y = intervalo de cambio de fase, ámbar más todo rojo (s), t = tiempo de percepción-reacción del conductor (usualmente 1.00 s), v = velocidad de aproximación de los vehículos (m/ s), a = tasa de aceleración (valor usual 3.05 m/s^2), W= ancho de la intersección (m), L = longitud del vehículo (dado que en su mayoría son autos, se tomará el valor de 3.5 m como promedio).

Otro valor necesario es el Ciclo Optimo, el cual se obtiene de aplicar la ecuación 4.

$$C_o = \frac{1.5L+5}{1- \sum_{i=1}^{\phi} Y_i} \quad (4)$$

Dónde:

Co = tiempo óptimo de ciclo (s), L = Tiempo total periodo por ciclo (s), Yi = Máximo valor de saturación y Φ = número de fases.

El valor Verde Total, representa el valor en tiempo del total de la señal verde de cada una de las fases que existen en la intersección. Este valor está dado por la ecuación 5.

$$g_T = C - L \quad (5)$$

El tiempo en verde para cada fase se obtiene de aplicar la ecuación 6.

$$g_i = \frac{Y_i}{\sum_{i=1}^{\phi} Y_i}(g_T) = \frac{Y_i}{Y_1 + Y_2 + \ldots + Y_\phi}(g_T) \quad (6)$$

Donde $\sum_{i=1}^{\phi} Y_i$, es igual a la unidad (1).

El tiempo para la fase en rojo se calcula mediante una simple suma entre el verde por fase y el tiempo en ámbar.

2. Módulos Inalámbricos y su Aplicación en el Proyecto

El uso de la tecnología inalámbrica para diversas actividades ha permitido el desarrollo de aplicaciones y productos que se han convertido en parte importante en la vida diaria. Mediante el uso de la tecnología ZigBee se puede crear redes con la capacidad de gestión y monitoreo a un bajo coste de consumo y transferencia de información. Sin embargo existen varias tecnologías que permiten condiciones a mayor velocidad y más robustas, de tal manera se ha realizado una comparación entre tres tecnologías más comunes y fáciles de implementar para justificar el uso de ZigBee.

2.1 Bluetooth

Bluetooth es una tecnología inalámbrica que opera en banda libre en la frecuencia 2.4 GHz, conocida como banda ISM por las siglas en ingles Industrial, Scientific and Medical. Tiene la capacidad de crear redes jerárquicas maestro-esclavo y enlazarse hasta un máximo de ocho dispositivos donde uno toma el papel de maestro. La asociación de estos ocho dispositivos toma el nombre piconet y la asociación de varias piconet se denomina scatternet o rede dispersa.

La cobertura que alcanza depende de la clase a la que pertenece el dispositivo y se diferencias tres tipos de clases. La clase 1 puede alcanzar aproximadamente 100 metros de cobertura, la clase 2 cercano a los 10 metros y por último los más comunes, los dispositivos de clase tres cubren cerca de 1 metro, evidentemente cada clase maneja diferente potencia para transmisión.

La Tabla 1 muestra las características generales de bluetooth.

Banda de Frecuencia	2,4 GHz
Potencia de Tx	1mW (0 dBm)
Tecnología	Spread Spectrum
Canales de voz	3 por piconet máximo
Canales de datos	7 por piconet máximo
Velocidad de datos	721Kbps por piconet
Cobertura	10 m.
Número de dispositivos	8 por piconet
Alimentación	3,7 voltios
Interferencia	Bluetooth minimiza la interferencia potencial al emplear saltos rápidos en frecuencia.

Tabla 1. Características básicas de Bluetooth.

Así mismo la tecnología bluetooth ha ido mejorando a través de los años, esta evolución se muestra en la Tabla 2.

Bluetooth v.1.1 1994, Ericsson	Nueva interfaz de bajo costo y consumo para interconectar inalámbricamente dispositivos móviles y otros accesorios, basado en un chip de radio.
Bluetooth v.1.2	Convive con Wi-Fi en la banda 2.4 GHz, es más segura, calidad de voz, configuración más rápida de comunicación con otros dispositivos de largo rango. Velocidades hasta de 1Mbps.
Bluetooth v.2.0 + EDR	Especificación separada, velocidades hasta de 3Mbps y soluciona errores de la especificación 1.2.
Bluetooth v.2.1	Pasos simplificados para conexión y 5 veces menor consumo de potencia.
Bluetooth v3.0 y v4.0	Velocidades hasta de 24 Mbps, Compatibilidad con Wi-Fi.

Tabla 2. Evolución de Bluetooth.

2.2 ZigBee

ZigBee es un estándar de comunicación inalámbrica de bajo consumo, baja tasa de transmisión y coste reducido el cual está basado en el estándar IEEE 802.15.4 y dentro de las redes WPAN. ZigBee es promovido y desarrollado por ZigBee Alliance, conformado por más de 300 empresas y por el IEEE Task Group 4.

Existen tres tipos de dispositivos dentro estas redes. Estos son:

- El Coordinador (ZigBee Coordinator, ZC): Descrito en la recomendación del estándar del 2003 para

dispositivos IEEE 802.15.4, es el dispositivo encargado de la asociación y des-asociación de los dispositivos dentro de la red. Debe existir uno por red.

- El Router (ZigBee Router, ZR): Encargado de extender el alcance de la red, gestionar los caminos de conexión y crear nuevos caminos en el caso de congestión en algún nodo y/o la caída del mismo. Puede conectarse directamente con el coordinador u otros routers.
- Dispositivo Final (ZigBee End Device, ZED): Solo pueden comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router) para enviar y recibir datos. No tiene la capacidad de enrutamiento.

La Tabla 3 muestra las principales caracterizas de la tecnología ZigBee.

Velocidad de Datos	Entre 20 Kb/s y 250 Kb/s
Cobertura	De 10 m a 75 m
Bandas de Frecuencia	Bandas libres ISM (6) de 2,4 GHz (Mundial), 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EEUU).
Numero de Dispositivos	En teoría 16.000 redes diferentes en un mismo canal y cada red puede estar constituida por hasta 65.000 nodos, en condiciones reales estos valores son afectados por límites físicos (memoria disponible, ancho de banda, etc.)
Alimentación	Dependiendo de la función que cumple en la red un sensor equipado con un transceiver ZigBee consume muy poca energía (dos pilas AA durante al menos 6 meses y hasta 2 años)
Topología	Estrella, punto a punto, malla, árbol
Control de acceso al medio	CSMA/CA (acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones).
Escalabilidad de red	Un mejor soporte para las redes más grandes, ofreciendo más opciones de gestión, flexibilidad y desempeño.
Fragmentación	Nueva capacidad para dividir mensajes más largos y permitir la interacción con otros protocolos y sistemas.

Tabla 3. Principales características de ZigBee.

ZigBee soporta las topologías estrella, árbol, malla y punto-punto.

2.3 Wi-Fi

El estándar internacional IEEE 802.11 es la especificación que define las características de una red inalámbrica WLAN; Wi-Fi (que significa “Fidelidad Inalámbrica”) es el nombre de la certificación otorgado por la Wi-Fi Alliance, está organización sin fines de lucro se formó en 1999 con el objetivo de impulsar el uso de las redes inalámbricas de área local de alta velocidad.

2.3.1 Rango y flujo de datos

Los estándares 802.11a, 802.11b y 802.11g, llamados "estándares físicos", son modificaciones del estándar 802.11 y operan de modos diferentes, lo que les permite alcanzar distintas velocidades en la transferencia de datos según sus rangos. Cada una de estas variaciones mejora y aumentan al ancho de banda permitiendo ofrecer más servicio a mejor calidad.

Estándar	Frecuencia	Velocidad	Rango
WiFi a (802.11a)	5 GHz	54 Mbit/s	10 m
WiFi B (802.11b)	2,4 GHz	11 Mbit/s	100 m
WiFi G (802.11b)	2,4 GHz	54 Mbit/s	100 m
WIFI N (802.11n)	2,4 y 5 GHz	600 Mbit/s (En teoría)	100 m

Tabla 4. Variaciones de 802.11.

2.4 Comparación Técnica y Selección de la Tecnología Inalámbrico

En los numerales anteriores se ha descrito las principales características de las tecnologías Bluetooth, ZigBee (802.15.4) y Wi-Fi (802.11), como paso previo a la comparación de estas tecnologías y la concerniente elección de una de ellas. Para ese propósito se ha realizado la Tabla 5, la cual recopila las principales características de cada tecnología analiza.

	Bluetooth	ZigBee	Wi-Fi
Velocidad de Datos	hasta de 24 Mbps	20 Kbps - 250 Kbps	80 a 100 Mbps
Cobertura	Máximo 100 m	Máximo 120 m	Máximo 100
Bandas de Frecuencia	2,4 GHz	2.4 GHz	2.4 y 5 GHz
Numero de Dispositivos	8 por picored	hasta 65.000 nodos teóricamente	Depende del equipo
Alimentación	3,7 voltios	2.8 -3.4 voltios	Depende del equipo
Topología	Maestro - Esclavo	Estrella, punto a punto, malla, árbol	Ad-Hoc e Infraestructura
Complejidad del sistema	Baja	Media-Baja	Alta
Costo de implementación	Baja	Baja	Media

Tabla 5. Comparación entre tecnologías.

Las características de mayor interés son la capacidad de transmisión, el alcance o cobertura, la complejidad del sistema, disponibilidad en el mercado, la seguridad, el consumo de energía y costo de implementación.

Las necesidades de transmisión de datos del sistema son mínimas, además se requerir que el consumo de energía y costos sean bajos, por lo que de acuerdo a la Tabla 5, la tecnología ZigBee es la que mejor se ajusta a las necesidades para desarrollar el sistema.

La aplicación más común de los dispositivos ZigBee es la monitorización de ambiente mediante sensores. Esta unión de sensores y tecnología ZigBee se denomina Red de Sensores Inalámbricos o WSN.

2.5 Red de Sensores Inalámbricos WSN

Un dispositivo sensor o nodo sensor, es un dispositivo con pocas o limitadas capacidades de cómputo, comunicación y monitorización, pero que a su favor tiene costes bajos y poco consumo energético.

La Figura 3, muestra los bloques mencionados, el procesador es quien controla las tareas de ejecución y convierte los datos provenientes del bloque de sensor o sensores que miden las variables del medio monitorizado. El bloque de memoria sirve para almacenar datos de procesamiento de programa o los datos medidos por los sensores, además cuenta con un módulo de comunicación (TX/RX) por radiofrecuencia con su respetiva antena.

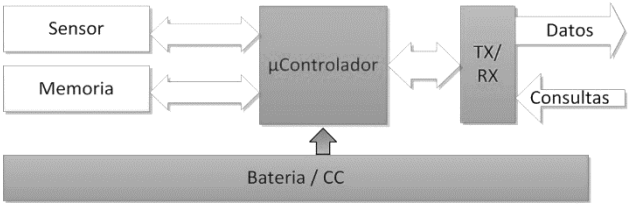

Figura 3. Arquitectura de un nodo sensor

2.5.1 Factores que Influyen en el Diseño de las WSN.

Existen varios factores que influyen dentro del diseño de una red de sensores inalámbrica, según Ramírez C. (2012) incluyen “, escalabilidad, costes de producción, ambientes de operación, topología de la red, restricciones de hardware, medios de transmisión y consumo de energía. Estos factores son importantes porque sirven de guía para diseñar un protocolo o un algoritmo para WSNs.” (p.11), los mismos que son considerados a continuación:

- Tolerancia a fallas: esta hace referencia a la fiabilidad respecto a problemas como fallas en los equipos provocadas por daños físicos o por fallas de energía, perdida de comunicación debido a ruptura de cables o interferencia del entorno, etc.
- Escalabilidad: En teoría, se estima que se puede tener 65.000 nodos en una red y en un mismo canal, por lo que no es de sorprenderse que ciertas redes estén compuesta por cientos y en forma exagerada por millones de nodos sensores dependiendo del tipo de evento que se desee registrar, este alto número de nodos implica un reto a la hora de gestionar y administrar la red.
- Limitaciones del Hardware: El hardware del nodo consta de cuatro partes esenciales, tal como se puede observar en la Figura 3, estas son: la unidad de procesamiento, la unidad de adquisición de eventos, la unidad de transmisión/recepción y una unidad de energía. Cierto tipo de nodos dependen de componentes adicionales, como sistemas de localización, movimiento y generadores de energía. Una parte fundamental del hardware del nodo es la unidad de energía, esta restringe en cierta medida la capacidad del nodo debido a que debe ser lo suficientemente capaz de brindar la energía necesaria a los componentes, un mayor número de módulos proporcionan mejores características al nodo pero demanda mayor consumo de energía.
- Costes de producción: Como es sabido, una red WSN puede estar constituida por varios sensores, por lo que resulta de vital importancia el coste individual del nodo para justificar el coste total de las redes del sistema. Si el coste de este tipo de redes es superior al coste de implementación de sensores tradicionales, desde el punto de vista económico este tipo de redes no son justificables.

2.5.2 Arquitectura de Comunicación de las WSN.

En la pila de protocolos que implementan estos dispositivos consta la capa de aplicación, capa de transporte, capa de red, capa de enlace, capa física además del plano de gestión de energía, movilidad y gestión de tareas. Esta pila de protocolos permite al nodo hacer uso de la energía de manera adecuada, encaminar e integrar los datos a la red, optimizar el medio de transmisión y coordinar los nodos.

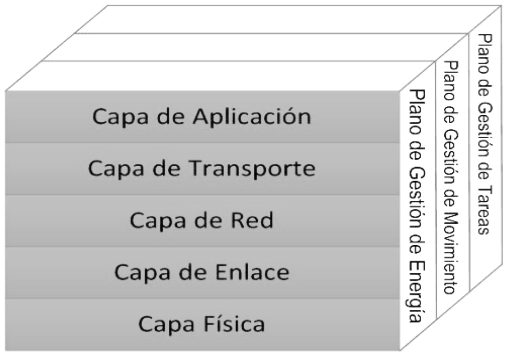

Figura 4. Pila de Protocolo de la red de sensores

La capa de Transporte permite gestionar el flujo de datos, de manera que estos lleguen a su destino, la capa de red facilita el encaminamiento de los datos a los nodos

dreno, el protocolo de Control de Acceso al Medio (MAC) debe hacer uso adecuado de la energía y regular el uso del medio físico que comparte son sus vecinos para evitar colisión de paquetes broadcast.

La capa física en este tipo de redes se encarga de la modulación de la señal, la transmisión al medio y recepción. Con respecto al plano de gestión, este se encarga de la asignación de tareas a los nodos sensores, el plano de gestión de energía controla el uso de la energía por parte del sensor, el plano de gestión de movilidad garantiza que no se pierda la ruta hacia al administrador por cambios de ubicación de los nodos, este plano permita al nodo conocer cuáles son sus vecinos. El plano de gestión de tareas coordina las actividades de los nodos para determina región.

En conjunto estos planos permiten a los nodos trabajar de formar coordinada, eficiente y aprovechar los recursos de la red.

2.6 Requerimientos del Sistema

De acuerdo al ambiente de trabajo donde opera el dispositivo, se ha considerado factores que pueden afectar el buen funcionamiento del mismo, tales como inclemencias del tiempo, interferencias electromagnéticas y pérdida de conexión por obstáculos.

Estas consideraciones han sido convertidas a requerimientos que se incorporan en el dispositivo.

2.6.1 Descripción General

El dispositivo es un sistema microprocesado capaz de sincronizar datos relacionados a los tiempos de cambio de fase en los semáforos avanzados y la capacidad de crear una red inalámbrica mediante dispositivos ZigBee. De acuerdo a la función para la que se desarrolla el dispositivo, este se constituye en un prototipo orientado a la gestión del tráfico vehicular.

Para realizar diversas funciones, el sistema utiliza elementos electrónicos y tecnología inalámbrica que le permiten:

- Detectar y comunicarse con los demás dispositivos en el área de cobertura.
- Enviar información necesaria para la sincronización.
- Crear las conexiones inalámbricas necesarias para la red WSN

2.6.2 Requisitos del Sistema

Los requisitos que cumple el sistema se basan en las condiciones del ambiente de trabajo, las especificaciones de potencia y las actividades que realiza.

- Requisitos en base al ambiente de operación
  - Inmunidad a interferencia de radiofrecuencia generada por dispositivos cercanos.
  - Línea de vista entre dispositivos inalámbricos.
  - Impacto mínimo al ambiente por emisión de radiofrecuencia.
  - Moderada sensibilidad de recepción de señales de radiofrecuencia enviadas al dispositivo maestro
- Requisitos en base a especificaciones de potencia
  - Alimentación de los módulos con corriente continua para el funcionamiento.
  - Protección contra conexión invertida y sobre-voltajes.

2.7 Requisitos en Base al Desempeño Solicitado

- Accesibilidad a los elementos empleados y costo de adquisición relativamente bajo.
- Margen de error pequeño en la lectura e interpretación de señales desde los sensores.
- Velocidad de adquisición, procesamiento y ejecución moderados.
- Vida útil larga con mantenimiento mínimo.

2.8 Aproximación en Bloques

Los subsistemas que componen el hardware se agrupan de acuerdo a las funciones de procesamiento, comunicación remota, respuesta y alimentación. La Figura 5, muestra los bloques de los subsistemas que componen el dispositivo.

2.8.1 Subsistema de Procesamiento

Orientados a moderar la comunicación de los módulos inalámbricos y digitalizar información pertinente de la misma, los microcontroladores incorporan el hardware y firmware necesario para efectuar con las siguientes funciones:

- Convertir la información enviada por el dispositivo maestro en señales que actúen sobre el subsistema de respuesta.
- Convertir los valores numéricos en caracteres ASCII para visualizado información del estado de la comunicación.

El subsistema incorpora el hardware necesario para grabar la programación en el microcontrolador sin la necesidad de retirar el integrado de la base de montado.

2.8.2 Subsistema de Comunicación Remota inalámbrica

La información que se requiere para modificar el cambio de estado de las señales visuales en los semáforos es transmitida por los módulos inalámbricos. Los datos que se envían no exigen gran capacidad de trasmisión lo que motiva al uso de dispositivos inalámbricos con características de trasmisión moderada y de bajo consumo. Las distancias entre cada dispositivo no superan los 150 metros, rango suficiente para que el dispositivo maestro establezca una conexión con los dispositivos finales y de esta manera crear una red mesh capaz de transportar información de control y datos.

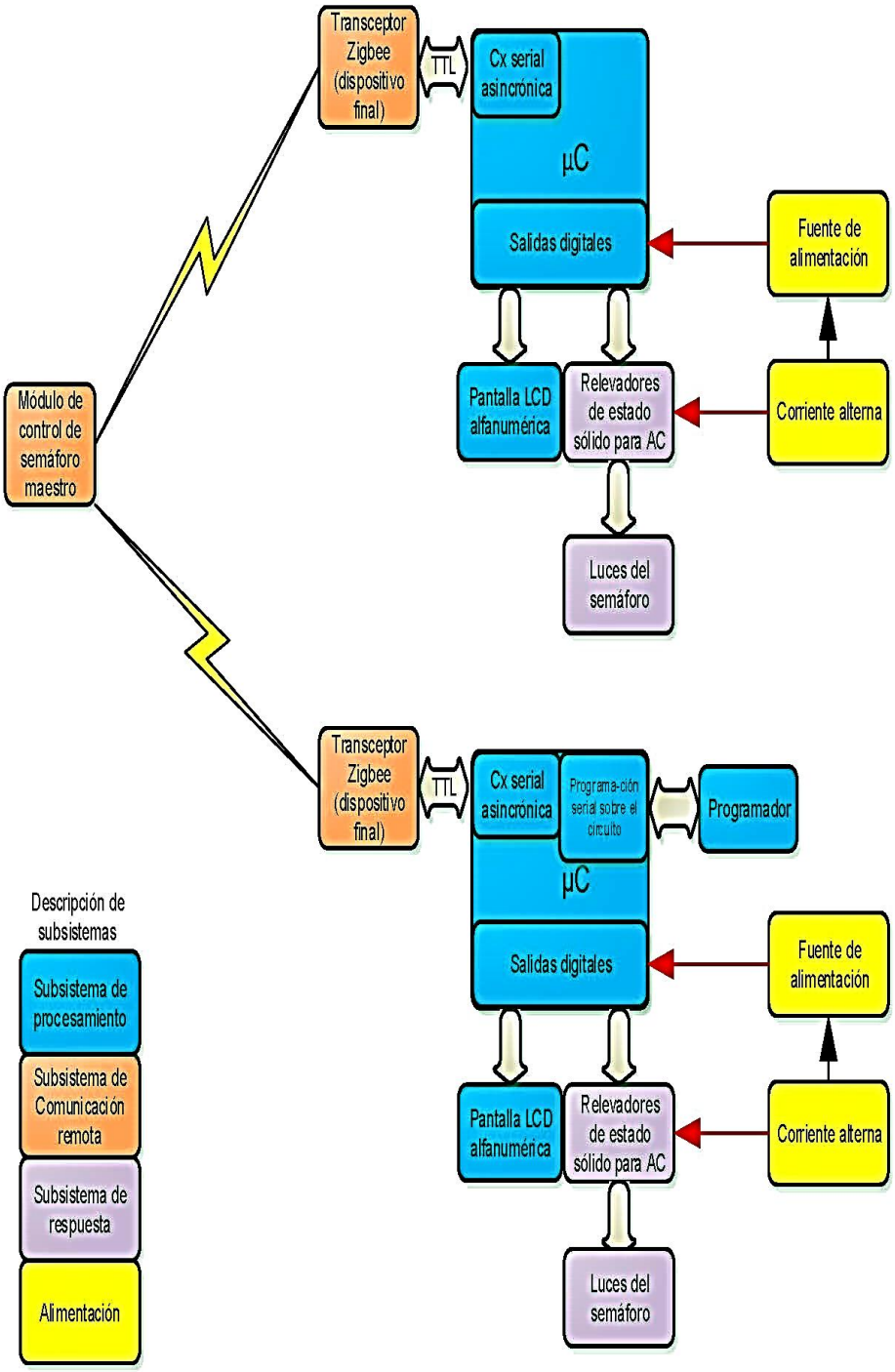

Figura 5. Diagrama de bloques del sistema.

Para diferenciarse entre dispositivos cada uno cuenta con una dirección única lo que permite establecer la función que realiza.

Los datos obtenidos por los módulos inalámbricos ZigBee provenientes de operador o por el microcontrolador del semáforo avanzado son recibidos de forma serial por puerto de comunicación del microcontrolador tanto en el dispositivo maestro como en los dispositivos finales.

2.8.3 Subsistema de Respuesta

Toda la información procesada previamente de la sincronización inalámbrica, es enviada a través de las salidas digitales del subsistema de procesamiento como señales de control hacia los relevadores de estado sólido que se encargan de activar o desactivar las luces del semáforo.

2.8.4 Subsistema de alimentación

El dispositivo requiere ser energizado mediante una fuente de corriente continua para el funcionamiento de los elementos electrónicos, posee además la circuitería ante conexión inversa y sobre voltaje.

2.8.5 Subsistema de Visualización

Este subsistema comprende al dispositivo que permite visualizar (en caracteres alfanuméricos), los valores de las variables de tiempo de la fase. Esto permite verificar la coherencia los datos de sincronización. Para tal propósito el modulo LCD es utilizado para mostrar valores recibidos del sincronismo.

3. Diseño de la red WSN

A través del diseño se evidencia los elementos necesarios para poder cumplir con los objetivos de cada subsistema, optando siempre por la selección de los mejores elementos que contribuyan al buen desempeño del sistema.

3.1 Caracterización del Hardware

El dispositivo ha sido concebido para que trabaje de manera genérica de forma que pueda ser utilizado en cualquier intersección de baja demanda de vehicular. Mediante pequeñas modificaciones en el hardware y firmware se prevé su aplicación en intersecciones más complejas.

3.1.1 Subsistema de Procesamiento

Este subsistema es la base de funcionamiento del resto del sistema ya que es el centro de procesamiento de los datos. Este compuesto por el microcontrolador ATmega324P, el cual tiene suficiente capacidad de memoria tanto para programa como para datos, cuenta con módulos de comunicación serial y suficientes entradas/salidas para conectar los diferentes periféricos necesarios.

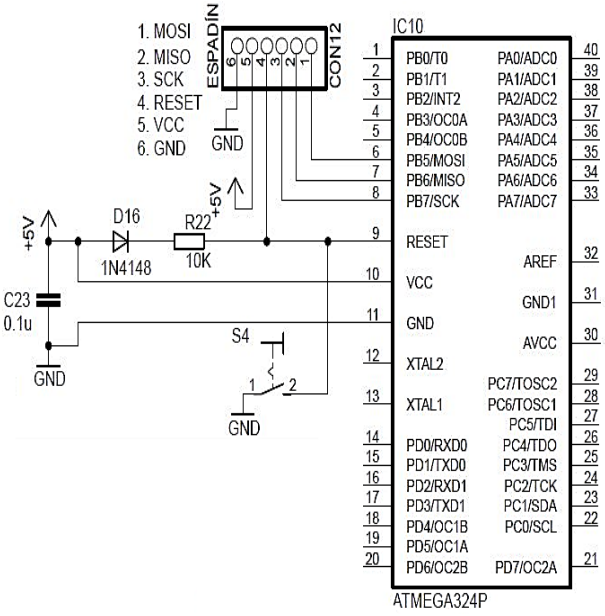

Figura 6. Diagrama del microncontrolador ATmega324P

3.1.2 Subsistema de Comunicación Remota Inalámbrica.

Este subsistema se basa en el uso de tecnología ZigBee mediante módulos que incorporan las carteristas de esta tecnología, la información obtenida del medio inalámbrico es enviada al microprocesador a través de comunicación serial incorporada en el módulo inalámbrico.

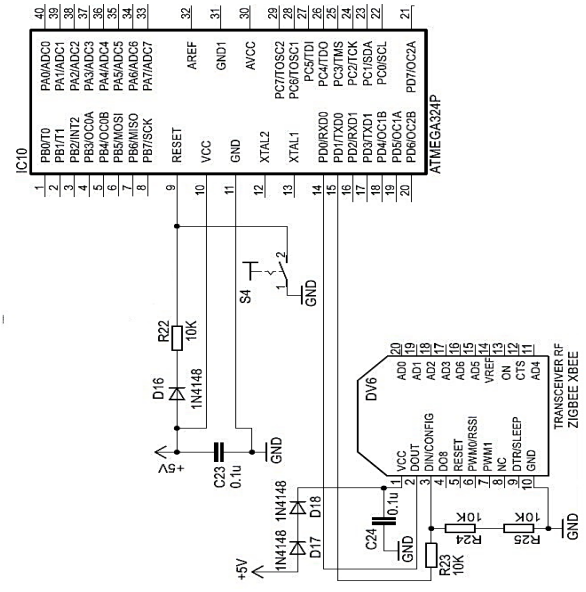

Figura 7. Conexión del módulo Xbee

El módulo ZigBee que es la base de este subsistema es el Xbee-Pro S2B. La conexión con el microprocesador se observa en la Figura 7.

3.1.3 Subsistema de Respuesta

Las salidas del puerto del microcontrolador tienen suficiente intensidad de corriente como para encender un led, sin embargo no para mover un motor o excitar la bobina de un relé. Debido a esta razón se aumenta la cargabilidad del sistema mediante un driver de potencia, el ULN2803, que permite obtener hasta 500mA por pin de salida del integrado, aplicando tensiones a la carga, en este caso los SSR D4840 que enciende y apagan las luces del semáforo.

Como se puede apreciar en la Figura 8, este subsistema es la conexión entre la parte lógica del proyecto con la parte de potencia, aislando y previniendo daños mayores en la parte lógica que gobierna el proyecto.

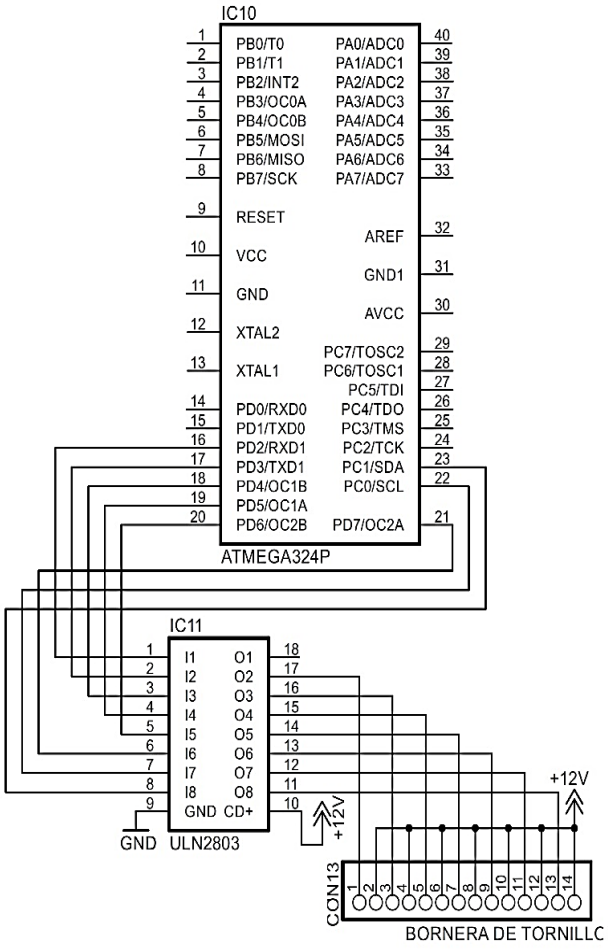

Figura 8. Conexión del driver de potencia ULN2803

3.1.4 Subsistema de Alimentación

El voltaje de alimentación del circuito es regulado en dos etapas, la primera etapa está compuesta por un regulador que transforma la corriente alterna tomada desde la línea de baja tensión de 110v a 12v de corriente continua, este proceso lo realiza el regulador. La segunda etapa es donde se convierten los 12v de la etapa anterior en 5v para alimenta a todo el circuito.

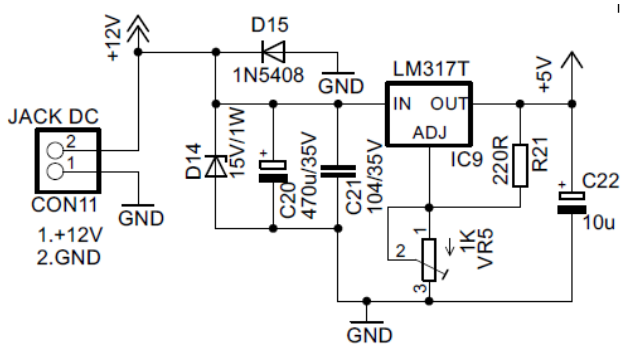

Figura 9. Circuito regulador de voltaje de alimentación

3.1.5 Subsistema de Visualización

La interacción entre los dispositivos electrónicos y los operadores, requiere interfaces que faciliten la comprensión del sistema, por lo que se hace necesario algún tipo de pantalla que muestre información del funcionamiento, a fin de actuar de acuerdo a situación presentada. Como las variables a visualizar ocupan poco espacio no se requiere una pantalla demasiado grande, por tal motivo la LCD de 8 líneas por 2 filas cumple satisfactoriamente con las necesidades de visualización.

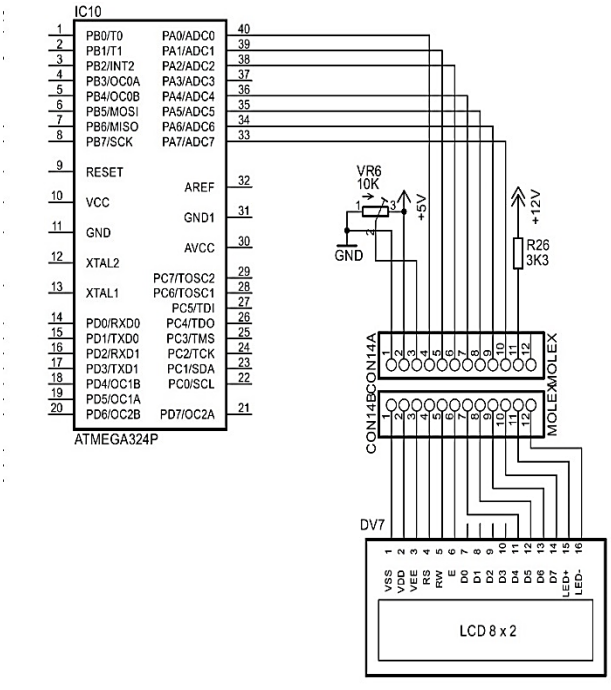

Figura 9. Diagrama de conexión pantalla LCD 8x2 y microcontrolador

3.2 Diagrama Esquemático General

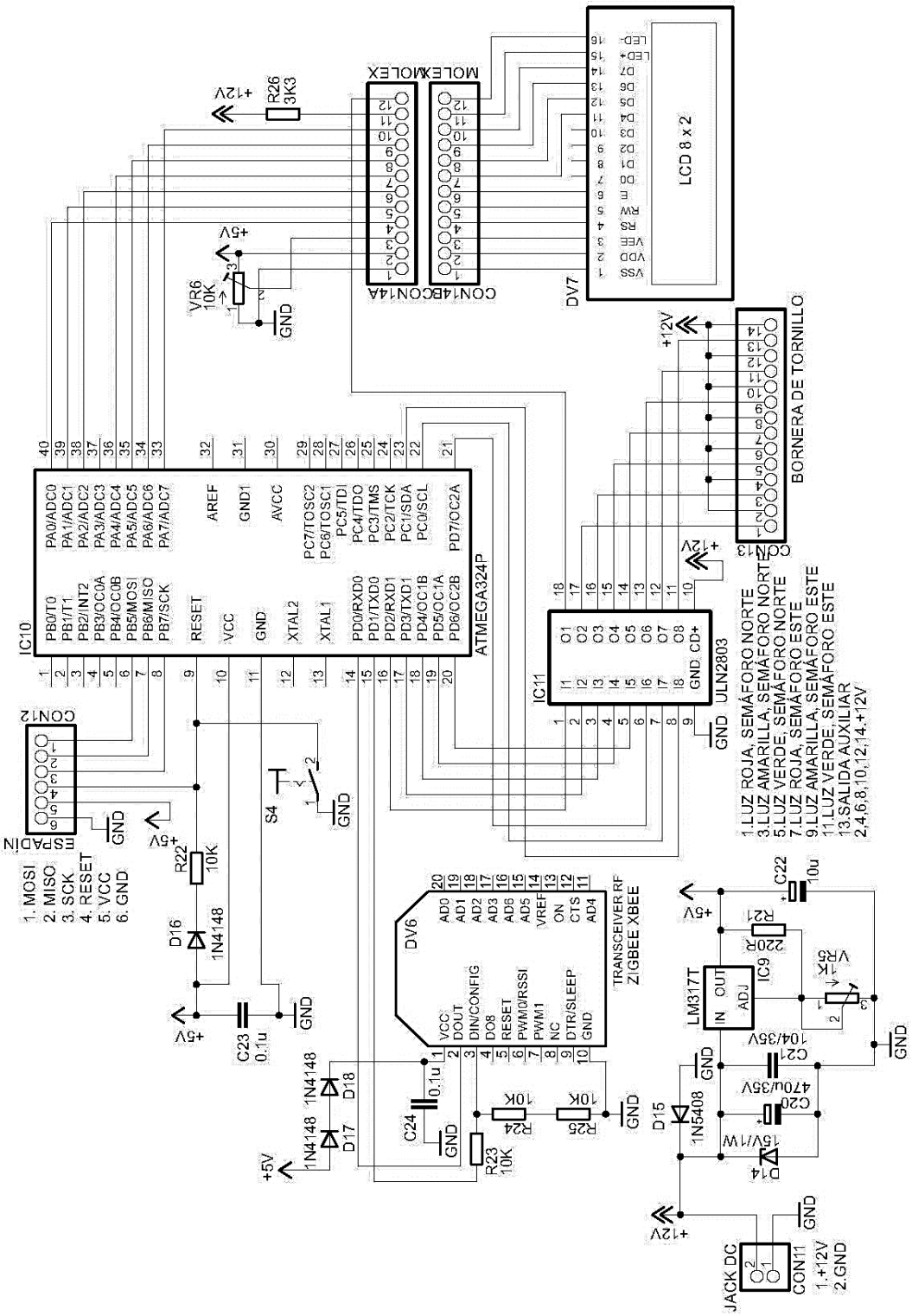

Figura 10. Diagrama general del circuito.

3.3 Diseño de la Placa del Circuito Impreso.

El diseño de la placa está realizado mediante el programa Eagle, procurando optimizar el espacio de la placa, de manera que sea fácil de instalar y manipular.

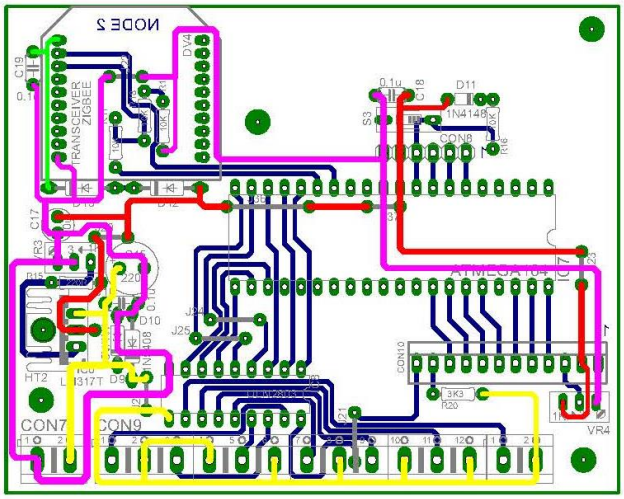

Figura 11. PCB de la placa principal de uno de los nodos.

3.4 Descripción General del Firmware

El siguiente diagrama de flujo representado por la Figura 13, describe el funcionamiento del programa principal, como se puede observar el esquema es sencillo, debido a que las operaciones más complejas se las realiza en las subrutinas e interrupciones. El firmware que gobierna el microcontrolador, ejecuta acciones que dependen del cambio de determinada acción o evento, a lo que se denomina máquina de estados. El programa principal después de inicializar variables y registros, permanece en un bucle infinito en espera de comandos que indiquen que se debe realizar cambios en el comportamiento del semáforo, permitiendo utilizar eficientemente el procesamiento del microcontrolador.

3.5 Recepción de datos

Esta interrupción se encarga de la recepción y verificación de datos provenientes del módulo Zigbee. La información proveniente de los módulos Xbee-PRO ZB Serie2, es recibida bit a bit. Cada mensaje o comando termina con el símbolo "$" de fin de trama. La trama de datos está compuesta por seis campos como máximo cuando se está enviando la información de sincronización, en la que se encuentran los valores de temporización y el tiempo de ciclo. El modelo de la trama y sus partes puede verse en la Figura 12.

Campos de la Trama de sincronismo		
A	L	Comando de lectura de configuración
	E	Comando de escritura
	K	Comando de sincronización de contadores
	S	Comando de sincronización de semáforos
B	De 000 a 120	Temporizador de ROJO P
C	De 0 a 5	Temporizador de Ámbar
D	De 000 a 120	Temporizador de Verde P
E	Letra "O"	Delimitador de campo de trama
F	–>> 0	Modo Normal
	–>> 1	Modo Intermitente Rojo
	–>> 2	Modo Intermitente Amarillo
	–>> 3	Modo Intermitente Rojo-Amarillo
	–>> 4	Modo Intermitente Amarillo-Rojo
	–>> 5	Modo Constante Rojo
	–>> 6	Modo Constante Amarillo
	–>> 7	Modo Constante Rojo-Amarillo
	–>> 8	Modo Intermitente Rojo-Amarillo
	–>> 9	Modo Apagado

Tabla 6. Representación de los datos de trama

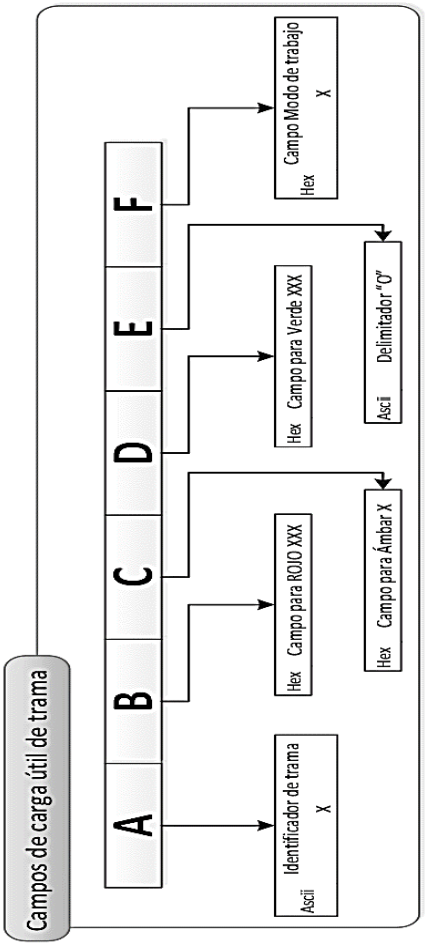

Figura 12. Trama de sincronismo de Estado de Semáforo

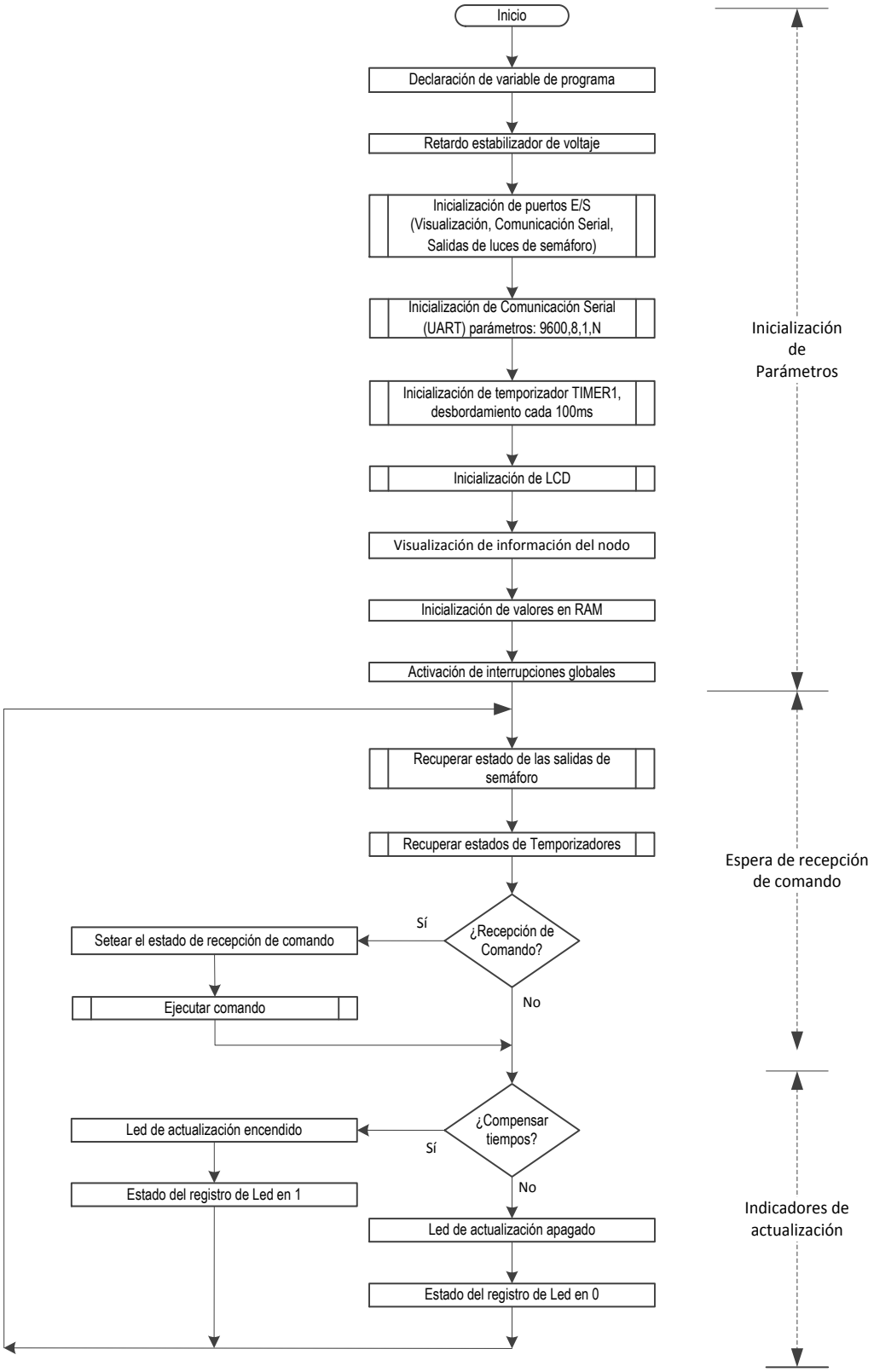

Figura 13. Diagrama de flujo del Programa Principal

4. Implementación y Pruebas de Funcionamiento.

Consiste en el montaje del dispositivo y las pruebas concernientes al funcionamiento de la parte físico y lógica del sistema. Se comprueba que existe comunicación entre dispositivos y que son capaces de intercambia información de sincronización.

Figura 14. Montaje de las placas y demás elementos en el gabinete metálico

Figura 15. Sistema operando en modo normal

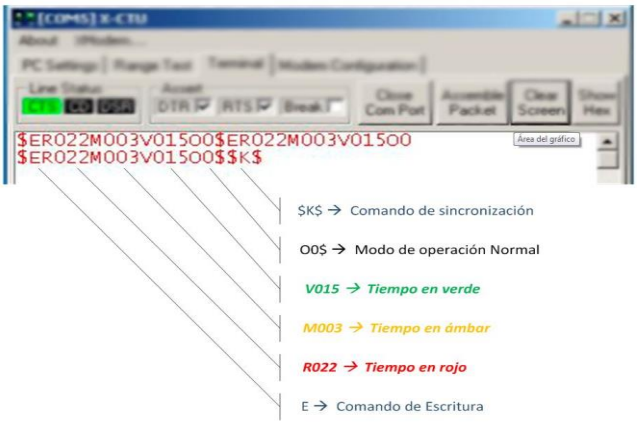

Figura 16. Trama de información con datos de temporización

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- El incremento del número de automóviles, tanto públicos como privados, ha incentivado la idea de mejorar la fluidez del tráfico vehicular mediante sofisticados y complejos sistemas de semaforización, sin embargo, cualquier esfuerzo por mejorar este problema resulta inútil sin la educación de conductores y peatones, quienes son los autores directos y la solución a este tipo de problemas.
- Del análisis de tráfico vehicular, se puede determinar que para las zonas alejadas del centro de la ciudad, no se requiere grandes planes de control de tráfico, por lo que se pueden programar los semáforos de forma que en determinada hora del día cambie el modo de operación, sin necesidad de supervisarlo continuamente durante varios meses.
- Se determinó que el uso de sensores no es aplicable para este tipo de ambientes, debido a las características de calzada de la que está constituido, en principio de pretendía hacer uso del sensores de lazo inductivo, pero este tipo de sensores solo pueden usarse en pavimento en donde su movilidad es nula, lo que alarga su vida útil, además deben estar a no más de 10 cm de profundidad lo que en calles con adoquinado no es posible; el uso de sensores infrarrojos constituye un excesivo gasto si se desea tener datos fiables del tráfico vehicular, por lo que el GAD-IBARRA no está interesado en invertir en sectores donde el tráfico puede fácilmente controlarse con semáforos de programación fija, además los sensores IR comunes usados en proyectos de electrónica, no respondieron a la necesidades requeridas por lo que implementarlos habría ocasionado mayores conflictos. Por último los sistemas de procesamiento de video requieren elementos adicionales para su funcionamiento, además que no permiten obtener datos ya que en su mayoría son sistemas propietarios.
- El uso de la tecnología ZigBee mediante los módulos XBEE PRO S2B, resulta acertada por las prestaciones que brinda a través de las redes mesh, donde fácilmente puede añadirse más dispositivos sin mayores dificultades por la organización jerárquica que presenta la tecnología ZigBee, estableciéndose claramente nodos Coordinadores, Routers y dispositivos finales. Además como se pudo apreciar en todo el documento, la cantidad de información necesaria para el funcionamiento del

sistema es mínima, teniendo en el Xbee PRO un ancho de banda más que suficiente para la transferencia de información. Así también, otra de las claras ventajas del uso de redes inalámbricas es la rápida expansión de la red de semáforos, puesto que no está limitada a la conexión por cables que dificultan y demoran su implementación.

- La aplicación de redes inalámbricas para este tipo de trabajos, muestra sus ventajas no solo en la disminución de costos por cableado, evitando así tender varios pares de cables colgados entre postes, sino también evitando añadir más ruido visual al ambiente ya saturado por cables sobre todo en el centro del cuidad.
- El mecanismo por el cual se logra la sincronización de los semáforos es práctico y eficiente, sin embargo, existen otros parámetros fuera de la lógica de programación, que afectan directamente a la conservación de este estado, como el tipo de microprocesador, la frecuencia de operación, el uso de osciladores externos y las condiciones ambientales en las que opera el sistema. Un claro ejemplo de lo mencionado, es el caso de los microprocesadores utilizados en este proyecto, los cuales siendo de la misma familia y modelo, presentan marcadas diferencias en la velocidad de procesamiento.
- El sistema a pesar de que se encuentra terminado, requiere pasar por numerosas pruebas a mayor tiempo, debido a que se encuentra aún en estado de prueba tanto de hardware como de firmware, además está restringido al uso en vías de uno solo o máximo hasta dos carriles y con niveles de tráfico vehicular relativamente constantes o bajo flujo vehicular, esto con el fin de evitar posibles accidentes causados por inconsistencias en el sistema.
- Luego de haber realizado el diseño del sistema para la interconexión y sincronización inalámbrica de semáforos, de forma tal que puedan operar interconectados y/o de forma independiente, y después de haberlo sometido a pruebas de funcionamiento, se concluye que el presente proyecto, si bien es cierto no cumple en su totalidad con el objetivo planteado de hacer uso de sensores por los motivos ya antes expuestos, funciona eficientemente y representa un modelo base que puede entrar en operación en zonas de bajo tráfico vehicular, si la Dirección de Tránsito y Transporte del GAD-IBARRA así lo decide, además no se descarta el uso de sensores y otro tipo de complementos que pueden ser añadidos por los interesados en este proyecto.

5.2 Recomendaciones

- Las autoridades encargadas de controlar la movilidad vial dentro de las ciudades, necesitan constantemente analizar el flujo vehicular cada año, con el fin de mejorar y proponer alternativas que beneficien a la movilidad en toda la cuidad, así por ejemplo el GAD-IBARRA mediante el nuevo sistema de semaforización y el incentivo de hacer uso de medios de transporte más ecológicos a través de lo que se denomina ciclo-paseos, pretende crear conciencia en los ciudadanos y conductores para hacer un uso correcto de este medio tan como es el automóvil.
- Dentro de lo referente al sistema, se recomienda trabajar con osciladores externos debido a que el tipo de oscilador RC (Resistencia-Condensador) interno con el que cuenta el ATmega324P, no es lo suficientemente estable para el caso de aplicaciones que requieren precisión del tiempo, así mismo de ser posible utilizar microcontroladores del mismo lote, debido a que existen pequeñas diferencias en la velocidad de procesamiento ente un lote y otro.
- Incorporar algún tipo de integrado que proporcione mayor precisión en los tiempos, como es el caso del IC DS1307, el cual es un reloj en tiempo real que proporciona datos muy fiables, cerca de 1 segundo de retraso al año, esto con el fin de darles mayor independencia a los nodos secundarios.
- El uso de la tecnología ZigBee para este tipo de aplicaciones, donde no se requiere manejar grandes volúmenes de datos, pero si se necesita redes inalámbricas robusta que son fácilmente de crear y gestiona, sobre todo médiate las módulos XBEE de la marca DIGI los cuales brindan grandes prestaciones.
- Utilizar dispositivos que posean la potencia necesaria para una mayor cobertura; en el caso de utilizar el mismo tipo de módulos inalámbricos que se usa dentro del presente proyecto, se ha de considerar los módulos XBEE PRO S2B que no sea de la versión internacional, debido a que estos están limitados en potencia para cumplir con las normas legales internacionales.

Agradecimientos

A mis padres por todo su apoyo y cuidado incondicional en todas las etapas de mi vida, por su lucha incansable, por su paciencia y amor, a mis hermanos por el ánimo y el cariño de todos los días.

Mi agradecimiento sincero al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra, por

brindarme la oportunidad y el apoyo de desarrollar el proyecto de titulación, especialmente al Ing. Ramiro Chacón y el personal de la Dirección de Tránsito y Transporte.

A todos mis amigos y familiares quienes con su ayuda y amistad me han impulsado a seguir adelante a través de sus consejos y palabras de ánimo.

Referencias Bibliográficas

[1] CAL, R., REYES, M. Semaforización. Cal & Mayor. (7ma Ed.), *Ingeniería De Tránsito Fundamentos Y Aplicaciones*. México (pp. 386-432).

[2] LABIOD, H., AFIFI, H., DE SANTIS S. 2010. Wi-Fi TM, Bluetooth TM, Zigbee TM and Wimax TM. The Netherlands

[3] FARAHANI, S. 2008. (1ra Ed.), Zigbee Wireless Networks and Transceivers. United States of America.

[4] TANENBAUM, A., WETHERALL, D. (2011). Computer Networks. (5ta Ed.). United States of America.

[5] BATISTE, A. (2011). *Protocolos de encaminamiento en redes Inalámbricas mesh: un estudio teórico y experimental*. (Tesis de maestría, Universitat Oberta De Catalunya). Recuperado de http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/8164/1/abatistet_TFM_0611.pdf

[6] GIL, M. (2009). *Estudio de la eficiencia de encaminamiento del protocolo AODV en redes ad hoc inalámbricas de gran escala*. (Trabajo de fin de carrera). Recuperado de http://eciencia.urjc.es/bitstream/10115/2546/1/PFC_MariaElenaGilJimenez.pdf

[7] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., IEEE Std. 802.15.4-2003, IEEE Standard for Information Technology Telecommunications and Information Exchange between Sytems-Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements-Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Phsical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Peronal Area Networks (WPANs). 2003. New York: IEEE Press.

[8] ZigBee Standards Organization. Zigbee Specification, 2008. San Ramon, CA: US. Recuperado de http://www.zbsigj.org/download/085224r00ZB_MG-ZigBee-Specification-053474r17_Japanese_08120.pdf

Sobre los Autores...

Pablo SALAZAR

Nació en Ibarra provincia de Imbabura el 21 de Octubre de 1987. Realizo sus estudios primarios en la escuela 24 de Junio. En el año 2005 obtuvo su título de bachiller en Ciencias especialidad Físico-Matemática en el colegio Nacional Teodoro Gómez de la Torre. Actualmente es egresado de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación en la Universidad Técnica del Norte de la cuidad de Ibarra.

David NARVÁEZ

Profesional en el área de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación. Oriundo de la ciudad de Ibarra, nació el 26 de Octubre de 1985. Graduado en la Universidad Técnica del Norte. Actualmente se encuentra cursando la Maestría en TICS en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador – PUCESI, con el tema de Investigación "Sistemas Domóticos con plataformas de Hardware Libre". Se desempeña como Docente a nivel superior en las materias de Redes, Comunicación Inalámbrica y Matemática Aplicada. Sus áreas de interés son la Microelectrónica y Matemática Aplicada.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

SCIENTIFIC ARTICLE

THEME

INTERCONNECTION AND WIRELESS SYNCHRONIZATION OF SEMAPHORES THROUGH NETWORKS WSN BASED ON MODULES ZIGBEE

AUTHOR: PABLO ALEJANDRO SALAZAR AMUY

DIRECTOR: ING. DAVID NARVÁEZ

IBARRA – ECUADOR

2014

Interconnection and Wireless Synchronization of Semaphores through Networks WSN Based on Modules ZigBee

Pablo SALAZAR [1], *David NARVÁEZ* [2]

[1] Universidad Técnica del Norte, Av. 17 de Julio 5-21, Ibarra, Imbabura
[2] Universidad Técnica del Norte, Av. 17 de Julio 5-21, Ibarra, Imbabura

pablo_a.s@hotmail.es[1], davnarvaez@hotmail.com[2]

Abstract. *Currently there are systems that handle the vehicular traffic through the use of sensors and surveillance cameras, creating networks that covers much of the city and help to improve traffic flow in critical areas. The congestion problem affects not only large cities but also small towns growing, as is the case of the city of Ibarra. The increase in the number of cars in recent years, has encouraged the idea of implementing an economic and efficient system for traffic control. Therefore, this paper describes the development of a system based on ZigBee wireless modules device, allowing exchange and synchronization timing information for better management of traffic.*

Keywords

Microcontrollers, Wireless communication, ZigBee, Interconnected systems.

Abstract. *Currently there are systems that handle the vehicular traffic through the use of sensors and surveillance cameras, creating networks that covers much of the city and help to improve traffic flow in critical areas. The congestion problem affects not only large cities but also small towns growing, as is the case of the city of Ibarra. The increase in the number of cars in recent years, has encouraged the idea of implementing an economic and efficient system for traffic control. Therefore, this paper describes the development of a system based on ZigBee wireless modules device, allowing exchange and synchronization timing information for better management of traffic.*

Keywords

Microcontrollers, Wireless Communication, ZigBee, interconnected systems.

1. Situational State of the synchronization

The increase of the number of cars together with a road structure limited inside Ibarra's downtown, has increased the problem of traffic congestion. In spite of implementing mechanisms of control of traffic, since to restrict the step of transport weighed inside her take care and turned aside of the public transport towards other routes of traffic it has not solved the problem of congestion. The Autonomous Decentralized Municipal Government of Ibarra's San Miguel, account from middle of the year 2013, with a system of semaphores that covers great part of the city and that was based on Spanish technology connected towards a center of management by means of optical fiber. All the controllers synchronize with the center of operations and his information is updated by the operator who monitors the traffic by means of a set of chambers located strategically in troubled sectors

Of such a way there has developed a basic but efficient system of semaphores, to control the traffic by means of the use of wireless networks based on technology ZigBee that allow to exchange relevant information to the synchronization and timer of the semaphores. For the purpose of adjust the system to the requirements of the traffic, a study was conducted in the area on the streets and intersections Guaranda at Azaya income neighborhood in the city of Ibarra.

1.1 Location traffic analysis

The zone of study considers three intersections between the street Guaranda, Santa Isabel, San Salvador and Santa Cruz. The obtained information has compiled and summarized in a graph that allows to observe the behavior of the traffic throughout the normal day.

This information is used inside the system to regulate his behavior at the different hours of the day as a configuration base of functioning.

Figure 3. Zone study Guaranda streets and intersections.

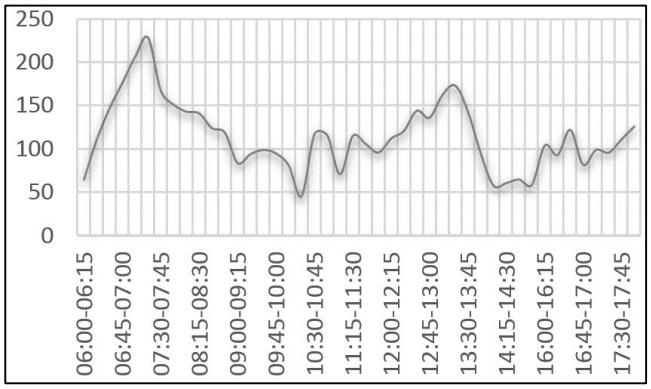

Figure 4. Relation hours / number of cars

1.2 Calculations for the time timing

The data obtained are useful for the calculation of time on and off the lights signaling semaphore. Through these can be determined the ideal times to control traffic at intersections mentioned. The calculations applied are basic, due to that purpose of the project is the interconnection of traffic signals by wireless networks.

It should be defined some terms to facilitate understanding of the calculations to be made, these are:

- Cycle: the time required to display a complete revolution of the traffic lights. In other words it's time for the lights to change green-amber-red-green.
- Movement: Maneuver or set of maneuvers of the same access that have the right of step parallel and form a same row.
- Interval. Division of the cycle in which the indication of the sign of the semaphore does not change. Example: interval in red, interval in amber or interval in green.
- Phase: Part of the cycle granted to any combination of one or more movements that receive simultaneously the right of step, during one or more intervals.

Of each of the intersections, were obtained useful values for the application of the respective calculations, the tables of values can be checked in the document of thesis that takes the same name of this work.

1.2.1 Assignment of times for phase change

For the assignment of times the following factors are analyzed: The rush hour, which is an interval of time where the traffic increases more that in the rest of the day, it is represented by the initials HP of Rush hour.

Sum of Rush hour, due to the fact that the mediations of the level of traffic it is realized in intervals of 15 minutes during the hour, was has four different values which must add to obtain the total of cars that circulate during the rush hour. To this value is it represented like $\sum$HP.

. To obtain the value of average rush hour, it is necessary to apply a very simple equation. This one consists of dividing the sum of rush hour for the number of samples taken during an hour. The equation 1 represents the mentioned.

$$VHPprom = \frac{(\sum HP)}{NoH} \quad (1)$$

Likewise, is calculated the factor of the hour of maximum demands, this value obtains of apply the equation 2.

$$FHMD = \frac{VHP}{4 \times (max15)} \quad (2)$$

where VHP_{prom} is the value obtained of the equation 1 and max15 it is the highest value of vehicles counted during one of four intervals of 15 minutes of the rush hour.

For the calculation of the interval of change between the visual sign amber more the time in red applies the equation 3.

$$Y = \left(t + \frac{v}{2a}\right) + \left(\frac{W + L}{v}\right) \quad (3)$$

where, And = interval of phase change, amber more all red (s), t = time of perception - reaction of the driver (usually 1.00 s), v = speed of approximation of the vehicles (m/s), to = rate of acceleration (usual value 3.05 m/s^2), W = width of the intersection (m), L = length of the vehicle (it's will take the value of 3.5 m as average).

Another necessary value is the Ideal Cycle, which is obtained of apply the equation 4.

$$C_o = \frac{1.5L+5}{1 - \sum_{i=1}^{\phi} Y_i} \quad (4)$$

Where:

Co = optimal time of cycle (s), L = total Time period for cycle (s), Yi = Maximum value of saturation and Φ = number of phases.

The Green Total value, it is the sum of green of each of the phases that exist in the intersection. This value is given by the equation 5.

$$g_T = C - L \tag{5}$$

Green time for each phase is obtained applying equation 6.

$$g_i = \frac{Y_i}{\sum_{i=1}^{\phi} Y_i}(g_T) = \frac{Y_i}{Y_1 + Y_2 + \ldots + Y_\phi}(g_T) \tag{6}$$

Where $\sum_{i=1}^{\phi} Y_i$, it is equal to the unit (1).

The time for the red phase, is calculated using a simple sum between the green phase and time in amber.

2. Wireless modules and their application in the project

The use of wireless technology for various activities has allowed the development of applications and products that have become an important part in everyday life. Through the use of technology ZigBee can create networks with management capacity and monitoring at a low cost of use and transfer of information. However there are several technologies that allow conditions faster and more robust, so has done a comparison between three technologies most common and easy to implement that justify the use of ZigBee.

2.1 Bluetooth

Bluetooth is a wireless technology that operates in the frequency 2.4-free band GHz, known as ISM band Industrial, Scientific and Medical acronym.

Frequency band	2.4 GHz
Tx power	1 mW (0 dBm)
Technology	Spread Spectrum
Voice channels	3 maximum by piconet
Data channels	7 maximum by piconet
Data rate	721 Kbps by piconet
Coverage	10 m.
Number of devices	8 by piconet
Power	3.7 Volt
Interference	Bluetooth minimizes potential interference by employing rapid jumps in frequency.

Table 1. Basic features of Bluetooth.

It has the ability to create hierarchical networks master/slave and bind to a maximum of eight devices where one takes the role of teacher. The Association of these eight devices takes the name piconet and the Association of several piconet is called scatternet. Table 1 shows the General characteristics of Bluetooth.

Coverage which reaches depends on the class to which belongs the device and three types of classes differ. Class 1 can reach approximately 100 meters of coverage, Class 2 close to 10 m and finally, the devices Class 3, cover about 1 meter.

Bluetooth technology has been improving over the years, this evolution is shown in table 2.

Bluetooth v.1.1 1994, Ericsson	New interface of low-cost and consumption to wirelessly connect mobile devices and other accessories, based on a radio chip.
Bluetooth v.1.2	Coexists with Wi-Fi in the band 2.4 GHz, it is more secure, voice quality, faster communication with other devices of long range setting. Speeds up to 1Mbps.
Bluetooth v.2.0 + EDR	Separate specification, speeds up to 3Mbps and fixes errors in the 1.2 specification.
Bluetooth v.2.1	Simplified connection steps and 5 times lower power consumption.
Bluetooth v3.0 and v4.0	Speeds of up to 24 Mbps, Wi-Fi support.

Table 2. Evolution of Bluetooth.

2.2 ZigBee

ZigBee is a low-power wireless communication standard, low rate of transmission and low cost which is based on the IEEE 802.15.4 standard and within the WPAN networks. ZigBee is promoted and developed by the ZigBee Alliance, formed by more than 300 companies and by the IEEE Task Group 4.

There are three types of devices within these networks. These are:

- The Coordinator (ZigBee Coordinator, ZC): Described in the recommendation of the IEEE 802.15.4 devices standard 2003, is the device responsible for the Association and dissociation of the devices within the network. There should be one per network.
- The Router (ZigBee Router, ZR): Responsible for extending the reach of the network, manage connection roads and create new paths in the case of congestion in some node or the fall of the same. You can connect directly with the Coordinator or other routers.

- Device end (ZigBee End Device, ZED): Can only communicate with their node parent (the Coordinator or a router) to send and receive data. It has no routing capability.

Table 3 shows the main characterized of ZigBee technology.

Data speed	20 Kb/s and 250 Kb/s
Coverage	10 m to 75 m
Frequency bands	Free ISM bands (6) 2.4 GHz (worldwide) and 868 MHz (Europe), 915 MHz (US).
Number of devices	In theory 16,000 different networks in a single channel and each network may consist of up to 65,000 nodes, in conditions real these values are affected by physical limits (available memory, bandwidth, etc.)
Power	Depending on the role of a sensor equipped with a transceiver on the network ZigBee consumes very little power (two AA batteries for at least 6 months and up to 2 years)
Topology	Star, point to point, mesh, tree
Medium access control	CSMA/CA (multiple access carrier with evasion of collision detection).
Network scalability	Better support for the largest networks, offering more options of management, flexibility, and performance.
Fragmentation	New ability to split long messages and allow interaction with other protocols and systems.

Table 3. Main features of ZigBee.

ZigBee supports topologies star, tree, mesh and point-to-point.

2.3 Wi-Fi

The international standard IEEE 802.11 is the specification that defines the characteristics of a WLAN wireless network; Wi-Fi (which stands for "Wireless fidelity") is the name of the certification granted by the Wi-Fi Alliance, is non-profit organization was formed in 1999 with the aim of promoting the use of wireless high speed local area networks.

2.3.1 Range and flow

Standards 802.11a, 802.11b and 802.11g, called "physical standards", are modifications of the 802.11 standard and operate in different modes, allowing them to achieve various speeds the transfer of data according to their range. Each of these variations improves and increasing bandwidth allowing you to offer more services to best quality.

Standard	Frequency	Speed	Range
WiFi to (802. 11a)	5 GHz	54 Mbit/s	10 m
B WiFi (802. 11b)	2.4 GHz	11 Mbit/s	100 m
Wireless G (802. 11b)	2.4 GHz	54 Mbit/s	100 m
WIFI N (802. 11n)	2.4 and 5 GHz	600 Mbit/s (in theory)	100 m

Table 4. Variations of 802.11.

2.4 Technical comparison and Selection of the Wireless Technology

The main features of the technology Bluetooth, ZigBee (802.15.4) and Wi-Fi (802.11), as a prelude to the comparison of these technologies and the concerning choice of one of them has been described in the preceding paragraphs. For that purpose the table 5 was conducted, which collects the main features of each technology analyzes.

	Bluetooth	ZigBee	Wi-Fi
Data speed	up to of 24 Mbps	20 Kbps - 250 Kbps	80 to 100 Mbps
Coverage	MAX 100 m	Max 120 m	Maximum 100
Frequency bands	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 and 5 GHz
Number of devices	8 by picored	up to 65,000 nodes theoretically	It depends on the team
Power	3.7 Volt	2.8 - 3.4 volt	It depends on the team
Topology	Master - slave	Star, point to point, mesh, tree	Ad-Hoc and infrastructure
Complexity of the system	Low	Medium-low	High
Cost of implementation	Low	Low	Media

Table 5. Comparison between technologies.

The features of greatest interest are the transmission capacity, scope or coverage, the complexity of the system, available in the market, the consumption of energy and cost of implementation.

Transmission of data system needs are minimal, also required that the energy consumption and costs are low, so according to table 5, ZigBee technology which is better fits to the needs to develop the system.

The most common application of ZigBee devices is the monitoring of environment through sensors. This union of sensors and ZigBee technology called wireless sensor network, or WSN.

2.5 Network of wireless sensors WSN

A sensor device or sensor node, is a device with few or limited skills of computation, communication and monitoring, but that their favor has low costs and low energy consumption.

Figure 3, shows the above blocks, processor is who controls the tasks of implementation and converts the data from block sensor or sensors that measure the variables of the monitored environment. The block of memory used to store program processing or the data measured by the sensors, also has a module of communication (TX/RX) radiofrequency with its public antenna.

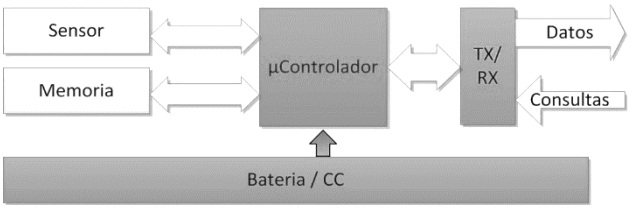

Figure 3. A sensor node architecture

2.5.1 Factors influencing the design of the WSN

There are several factors that influence in the design of a wireless sensor network, as Ramírez c (2012) include ", scalability, means of transmission and power consumption costs of production, operating, topology of the network, hardware constraints, environments." These factors are important because they serve as a guide to design an algorithm or a protocol for WSNs." (p.11), which are considered below:

- Fault tolerance: this refers to the reliability regarding problems such as equipment failure caused by physical damage or power failure, loss of communication due to rupture of cables or interference of the environment, etc.
- Scalability: In theory, it is estimated that you can have 65,000 nodes in a network and a single channel, so it is not surprisingly that some networks are composed of hundreds and in exaggerated by millions of nodes sensors depending on the type of event you want to register, this high number of nodes implies a challenge to manage and administer the network.
- Limitations of the Hardware: The hardware node consists of four essential parts, as shown in Figure 3, these are: the processing unit, the unit's acquisition of events, the transmission/receiving unit and a unit of energy. Certain types of nodes depend on additional components, such as location, movement and energy systems. A fundamental part of the hardware of the node is the unit of energy, this restricts somewhat the ability of the node since it must be the sufficiently capable of providing power to the components, a greater number of modules provide best traits to the node, but demand more power consumption.
- Production costs: as you know, a WSN network may consist of several sensors, so it is vitally important the individual cost of the node to justify the total cost of the system networks. If the cost of such networks is greater than the cost of implementation of traditional sensors, from the economic point of view such networks are not justifiable.

2.5.2 Communication architecture of the WSN

In the stack of protocols that implement these devices comprises coating application, transport layer, network layer, link layer, physical layer as well as the level of management of energy, mobility and task management. This protocol stack allows the node to make energy properly, routing and integrate data to the network, optimizing the transmission medium and coordinate nodes.

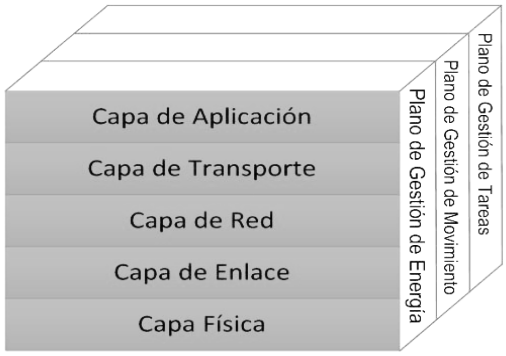

Figure 4. The sensor network protocol stack

Transport layer allows you to manage the flow of data, so that they arrive at their destination, the network layer facilitates the routing of the data nodes drain outlet, the Control of access to the (MAC) protocol must make proper use of the energy and regulate the use of the physical environment that shares are its neighbors to avoid collision of broadcast packets.

In this type of network physical layer is responsible for the modulation of the signal, the transmission medium and reception. With respect to the level of management, this is responsible for the assignment of duties to the sensors node, the level of power management controls the use of energy by the sensor, the mobility management plan ensures that the path is not lost to the administrator for changes in location of nodes, this plane allows node know what are their neighbors.

The level of task management coordinates the activities of the nodes to determine region.Altogether these plans allow nodes to work be coordinated, efficient and take advantage of the resources of the network.

2.6 System requirements

According to the working environment where it operates the device, has been considered factors that may affect the proper functioning of the same, such as inclement weather, electromagnetic interference and loss of connection by obstacles.

These considerations have been converted to requirements that are incorporated into the device.

2.6.1 Description General

The device is a microprocessor system capable of synchronizing data related to the time of change of phase in the advanced traffic lights and the ability to create a wireless network using ZigBee devices. According to the function to which the device is developed, this is a prototype aimed at traffic management.

To perform different functions, the system uses wireless technology and electronic elements that allow you to:

- Detect and communicate with other devices in the area of coverage.
- Send information required for synchronization.
- Create the necessary wireless connections to the WSN network.

2.6.2 System Requirements

Requirements which meets the system are based on the conditions of the working environment, power specifications, and activities

- Requirements based on the operating environment
  - Immunity to interference from radio frequency generated by nearby devices.
  - Line of sight between wireless devices.
  - Minimum impact to the environment for radio frequency emission.
  - Moderate sensitivity of reception of radio frequency signals sent to the master device
- Requirements on the basis of power specifications
  - Modules with power supply continues to operate
  - Protection against reversed and over-voltage.

2.7 Based on the requested performance requirements

- Accessibility to the elements used and relatively low cost of acquisition.
- Apart from a small error in the reading and interpretation of signals from sensors.
- Acquisition, processing and execution moderate speed.
- Long life with minimum maintenance.

2.8 Approximation in blocks

The subsystems that make up the hardware are grouped according to the functions of processing, remote communication, response and power. Figure 5 shows the blocks of the subsystems that make up the device.

2.8.1 Processing Subsystem

Aimed at moderating the communication of wireless modules and digitize the same relevant information, microcontrollers incorporate hardware and firmware required to perform the following functions:

- Convert information sent by the master device on signals that Act on the subsystem's response
- Convert numeric values to ASCII characters for displayed information on the status of the communication.

The subsystem includes the necessary hardware to record programming on microcontroller without the need to remove the integrated base mounted.

2.8.2 Remote Wireless Communication Subsystem

The information required to modify the status change of the Visual signals at traffic lights is transmitted by wireless modules. Data that are sent do not require high-capacity transmission what motivates the use of wireless devices with moderate transmission and low-power features. The distances between each device does not exceed 150 meters, enough range so that the master device establishes a connection with end devices and in this way create a mesh network capable of carrying data and control information.

To differentiate between devices each have a unique address allowing you to set the function that performs.

Data obtained by modules Wireless ZigBee from operator or by the microcontroller of the advanced light are received form serial by microcontroller communication port in the master device and end devices.

2.8.3 Response subsystem

The information previously processed the wireless synchronization, is sent via the digital outputs of the processing subsystem as control signals towards relays solid state that turn on or off the lights of the traffic light.

2.8.4 Power subsystem

The device requires to be powered by a DC power supply for the operation of the electronic elements, has also the circuitry to reverse connection and over voltage

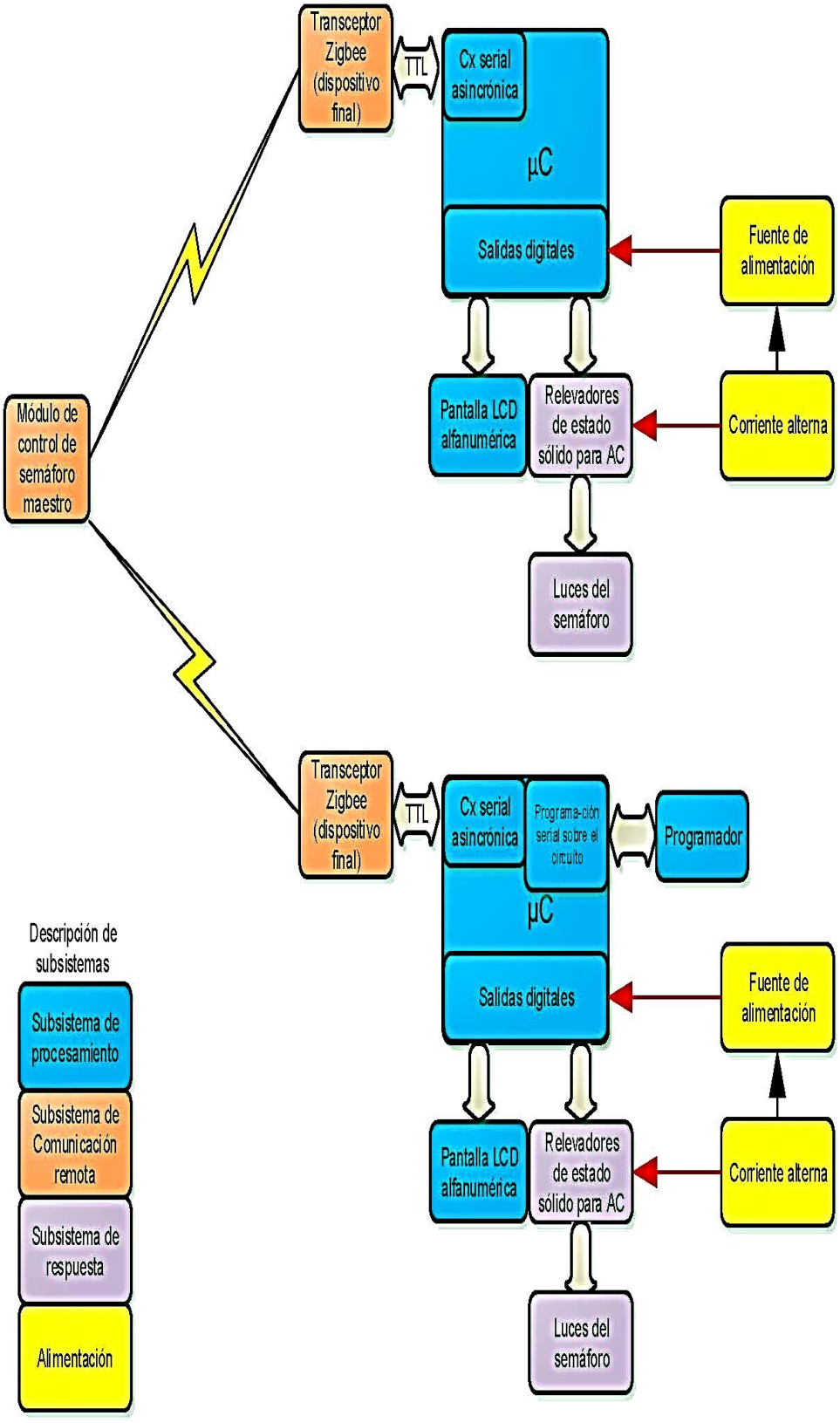

Figure 5. Block diagram of the system.

2.8.5 Display subsystem

This subsystem includes a device that lets you view (in alphanumerics), the values of the variables of the phase time. This allows to check consistency synchronization data.For that purpose the module LCD is used to display values received from the synchronism.

3. Design of the WSN network

The elements required in order to meet the objectives of each subsystem, always opting for the selection of the best elements that contribute to the performance of the system is evident through design.

3.1 Characterization of Hardware

The device is designed to make it work in a generic manner in such a way that it can be used at any intersection of low demand for vehicles. By small modifications to the hardware and firmware provides its application in complex intersections

3.1.1 Processing subsystem

This subsystem is the basis of operation of the rest of the system since it is the center of data processing. This compound by ATmega324P microcontroller, which has sufficient memory capacity for both program and data, has communication modules serial and sufficient inputs/outputs for connecting the different necessary peripherals.

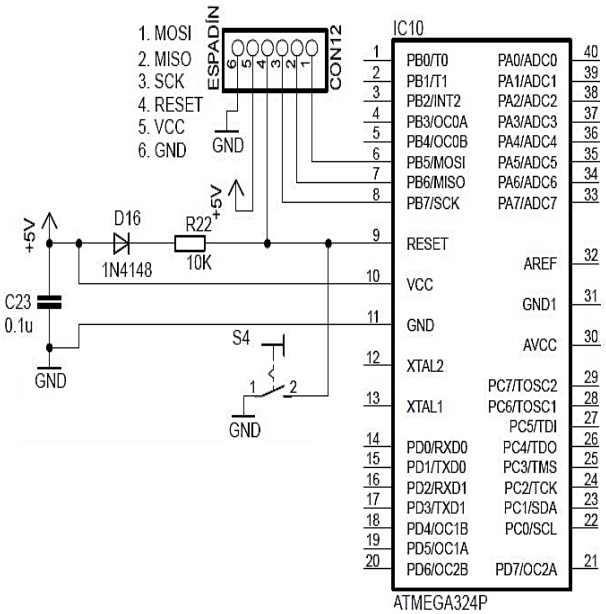

Figure 6. Diagram of the microcontroller ATmega324P

3.1.2 Wireless remote communication subsystem

This subsystem is based on the use of ZigBee technology through modules that incorporate the pickpockets of this technology, the information obtained from the wireless medium is sent to the microprocessor through serial communication incorporated in the wireless module.

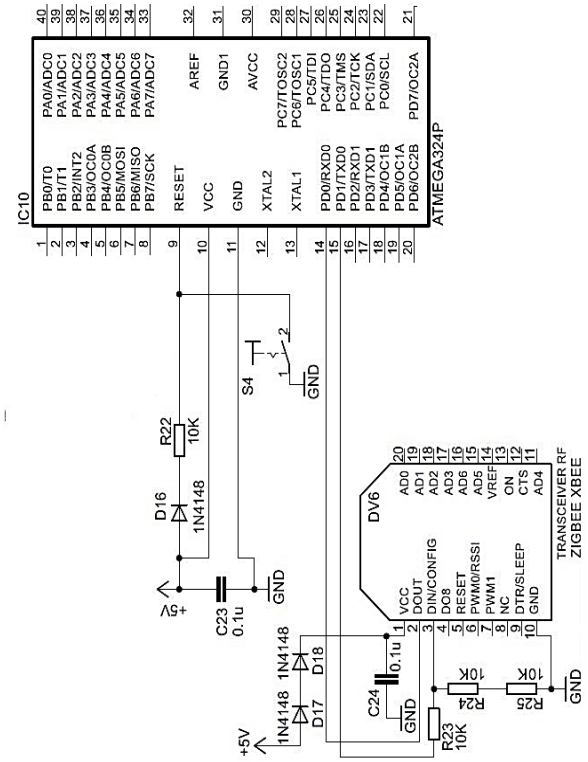

Figure 7. The Xbee module connection

The module ZigBee that is the basis of this subsystem is Xbee-Pro S2B. The connection with the microprocessor is observed in Figure 7.

3.1.3 Response subsystem

The port of the microcontroller outputs have enough current to turn on a led, however not to move an engine or excite the coil of a relay. Because of this reason increases the chargeability of the system through a driver's power, the ULN2803, which allows up to 500 mA by output from the integrated pin, applying tension to the load, in this case the SSR D4840 that turns on and shuts off the lights of the traffic light.

As you can see in Figure 8, this subsystem is the connection between the logical part of the project with the part of power, isolating and preventing major damage in the logical part governing the project.

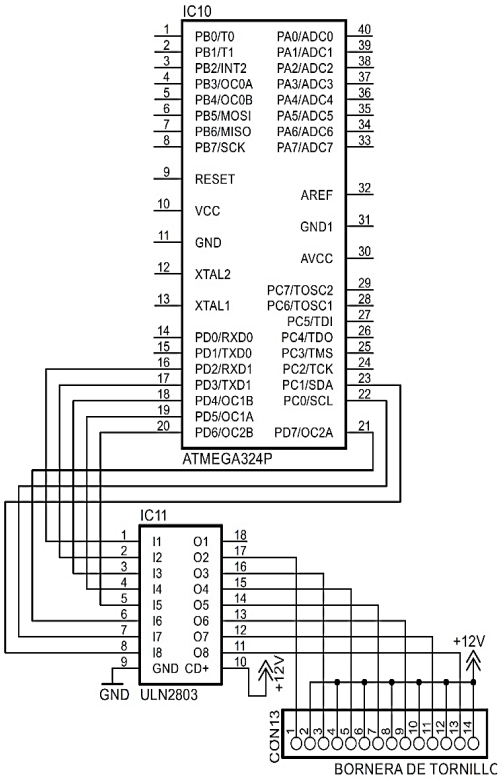

Figure 8. Connection of power ULN2803 driver

3.1.4 Power subsystem

Circuit voltage is regulated in two stages, the first stage is composed of a regulator that transforms alternating current taken from the line of low voltage of 110 v to 12 v DC, and controller performs this process. The second stage is where become the previous stage in 5 v 12 v to feed to all the circuit.

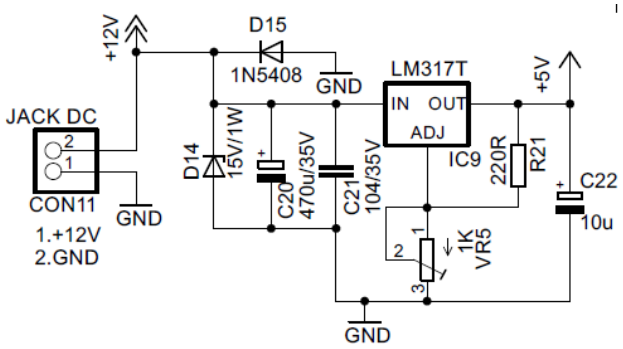

Figure 9. Power voltage regulator circuit

3.1.5 Display subsystem

The interaction between the electronic devices and operators, requires interfaces that facilitate the understanding of the system, so it is necessary some kind of screen that shows information of the operation, in order to act according to the situation presented. As variables to visualize occupy little space too large screen is not required, therefore the LCD of 8 lines by 2 rows successfully meets the needs of visualization

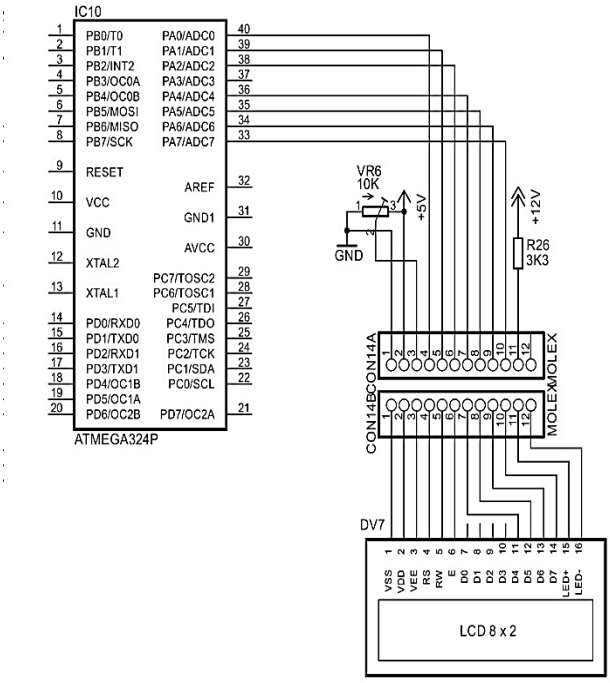

Figure 9. Connection diagram 8 x 2 LCD and microcontroller

3.2 General schematic diagram

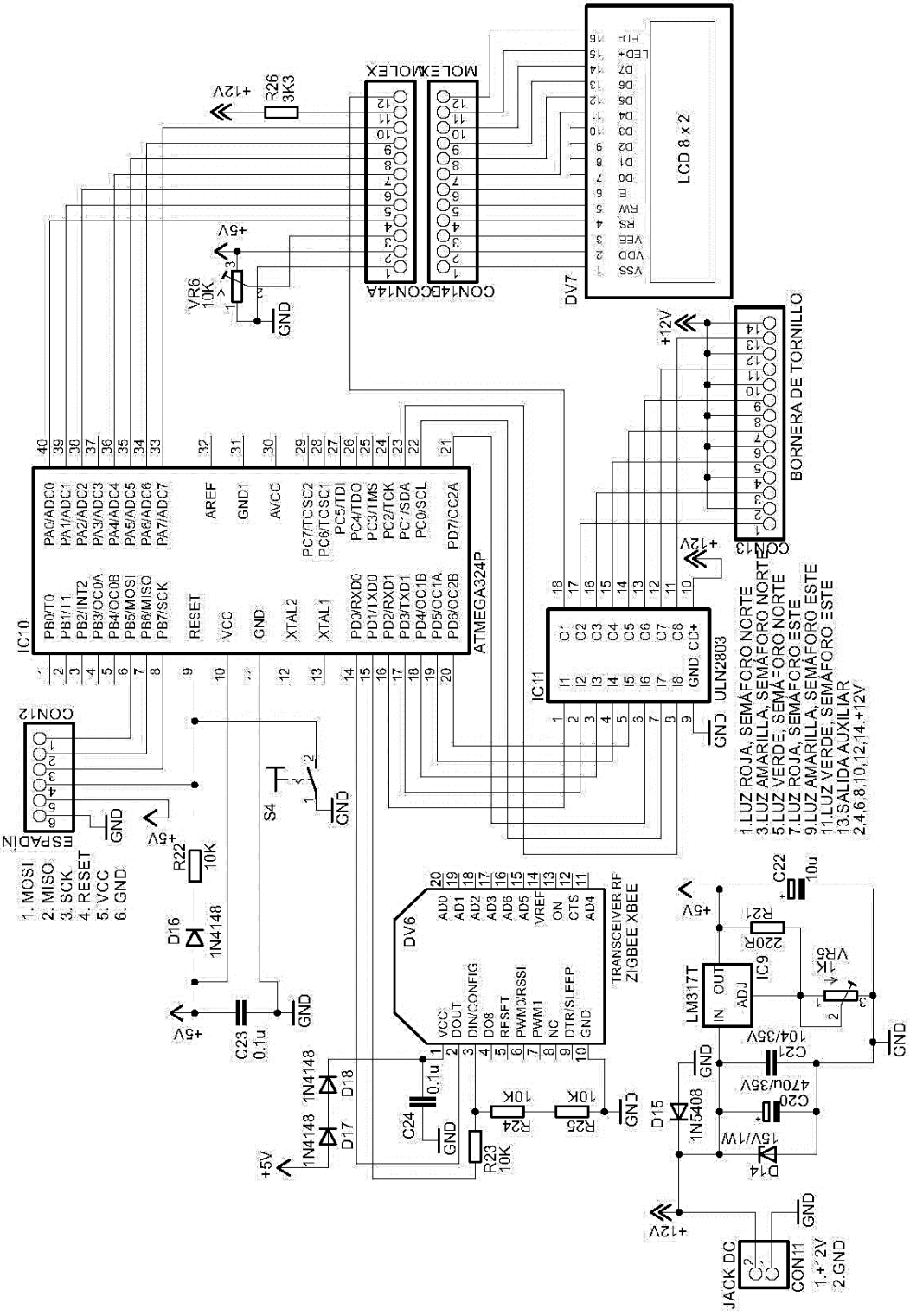

Figure 10. General circuit diagram.

3.3 Printed circuit board design

The design of the plate is made through the Eagle, trying to optimize the space on the plate, so that it is easy to install and handle.

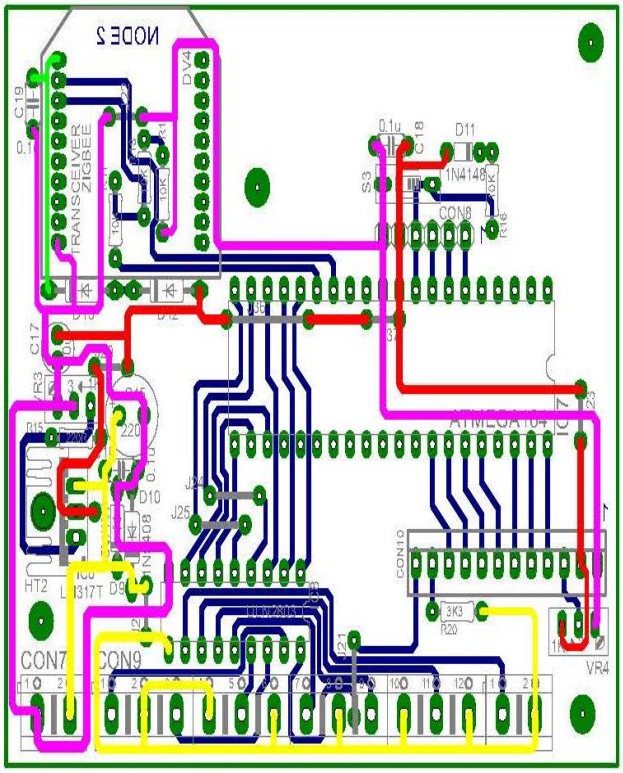

Figure 11. Of one of the nodes main Board PCB.

3.4 General description of Firmware

The following flowchart represented by Figure 13, describes the operation of the main program, as you can see the scheme is simple, since the more complex operations are carried out in subroutines and interrupts. Firmware that governs the microcontroller executes actions that depend on the change of certain action or event, what is called a state machine. The main program after initialize variables and records, remains in an infinite loop awaiting commands indicating that you must be changes in the behavior of the traffic light, allowing you to efficiently utilize the processing of microcontroller.

3.5 Receiving data

This interruption is responsible for the reception and verification of data from Zigbee module. Data from the Xbee-PRO ZB Serie2 modules, is received bitwise. Each message or command ends with the symbol "$" at end of plot. The plot of data is composed of six fields as maximum when sending information synchronization, in which the values of timing and cycle time are. The model of the plot and its parts can be seen in Figure 12.

Fields of the plot of synchronism		
A	L	Read configuration command
	E	Write command
	K	Synchronization of counters command
	S	Synchronization of traffic lights command
B	000-99	Red P timer
C	From 0 to 5	Amber timer
D	000-99	Green P timer
E	Letter "O"	Plot field delimiter
F	-> > 0	Normal mode
	-> > 1	Red flashing mode
	-> > 2	Yellow flashing mode
	-> > 3	Yellow flashing mode
	-> > 4	Yellow-red flashing mode
	-> > 5	Constant mode Red
	-> > 6	Yellow-constant mode
	-> > 7	Red-yellow-constant mode
	-> > 8	Yellow flashing mode
	-> > 9	Off mode

Table 6. Representation of raster data.

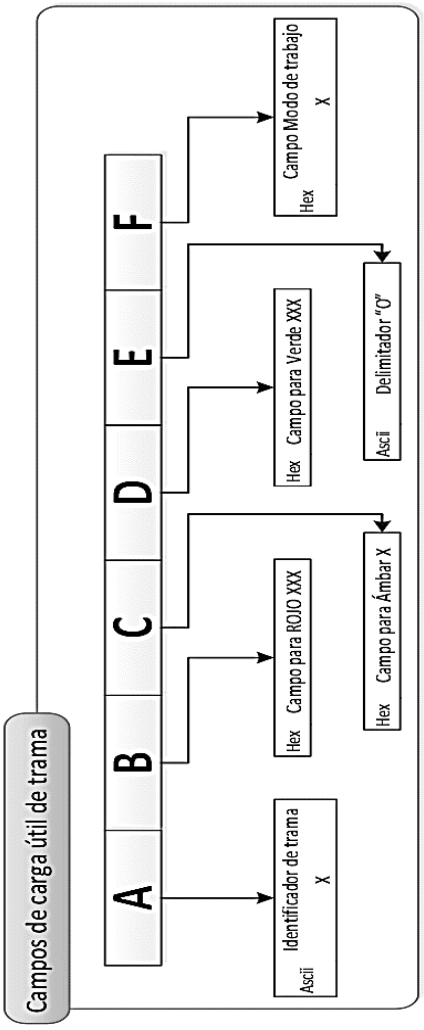

Figure 12. Frame of synchronism of semaphore State

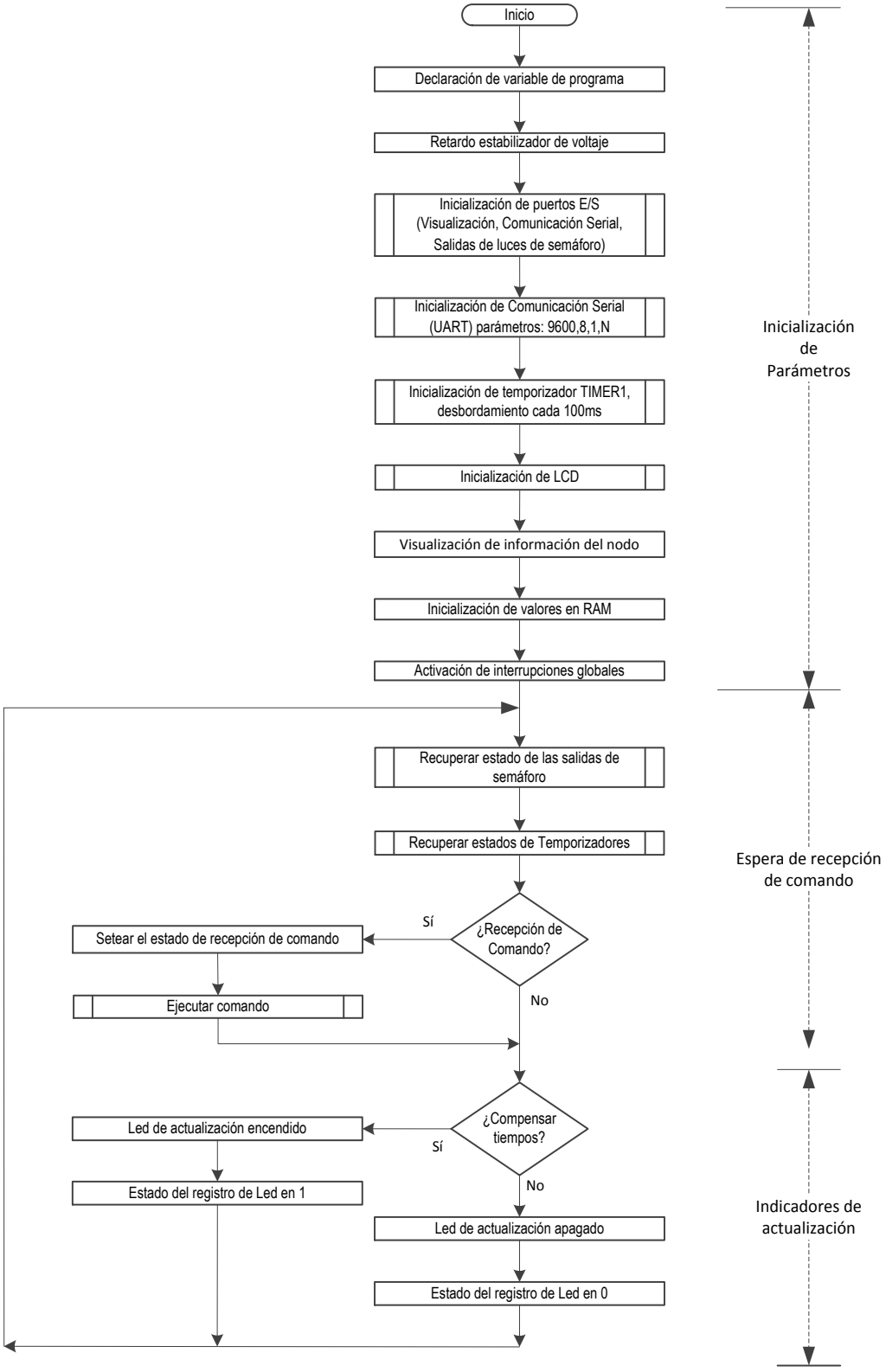

Figure 13. The main program flow chart

4. Implementation and performance tests

It consists of mounting the device and tests relating to the functioning of the physical part and logic of the system. Is verifies that there is communication between devices and are capable of exchanging timing information

Figure 14. Mounting plates and other elements in the metal housing

Figure 15. System operating in normal mode

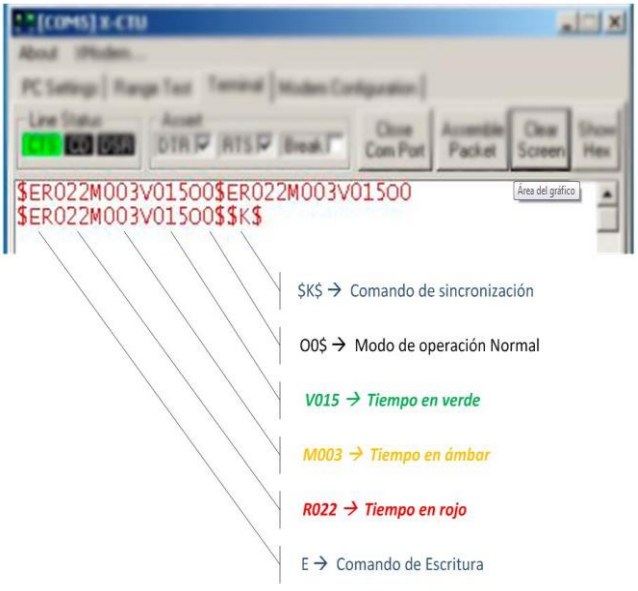

Figure 16. Frame information with timing data

5. Conclusions and Recommendations

5.1 Conclusions

- The increase in the number of cars, both public and private, has encouraged the idea of improving the fluidity of traffic through sophisticated and complex systems of traffic signals, any effort to improve this problem, however, is useless without the education of drivers and pedestrians, who are direct perpetrators and the solution to such problems.
- Traffic analysis, you can determine that you for areas away from the center of the city, does not require large traffic control plans, so traffic lights can be programmed in such a way that at certain time of the day you change the mode of operation, without the need to monitor it continuously for several months.
- It was determined that the use of sensors is not applicable for this type of environments, due to the characteristics of road which it is constituted, in principle of it intended to make use of the inductive loop sensors, but this type of sensors only may be used on pavement where mobility is nil, which lengthens its shelf life, should also be no more than 10 cm of depth you on cobblestone streets is not possible; the use of infrared sensors is an excessive expenditure if you want to have reliable data of traffic, so the GAD-IBARRA is not interested in investing in sectors where traffic can be easily controlled with traffic lights at fixed programming, in addition the IR sensors common used in electronics projects, did not respond to the needs required by that implementing them would have caused major conflicts. Last video processing systems require additional elements for its operation, besides which do not allow to obtain data since they are mostly proprietary systems.
- The use of ZigBee modules XBEE PRO S2B technology is successful by the benefits provided through the mesh network, where more devices without difficulty by the hierarchical organization which presents the ZigBee technology, easily can be added clearly establishing coordinators nodes, Routers and end devices. As you could see in the entire document, the amount of information necessary for the operation of the system is minimal, considering the Xbee PRO bandwidth more than sufficient for the transfer of information. Also, one of the clear advantages of the use of wireless networks so the rapid expansion of the network of traffic lights, since it is not limited to

the connection by cables that hinder and delay its implementation.

- The application of wireless for this type of work, shows its advantages not only in the reduction of wiring costs, avoiding thus lay several pairs of wires strung between Poles, but also avoiding to add more visual noise to the environment already saturated by cables above all in the center of the city.
- The mechanism by which is accomplished the synchronization of traffic lights is practical and efficient, however, there are other parameters outside the programming logic, directly affecting the conservation of this State, such as the type of microprocessor, the operating frequency, the use of external oscillators and the environmental conditions in which the system operates. A clear example of the above is the case of microprocessors used in this project, that being of the same family and model, show marked differences in processing speed.
- System while it is finished, requires you to go through numerous tests longer, since it is still in a State of both hardware and firmware testing, is also restricted to use in developing one single or maximum up to two lanes and relatively constant levels of traffic or vehicular flow, in order to avoid possible accidents caused by inconsistencies in the system.
- After having made the design of the system for interconnection and wireless synchronization of traffic lights, so that you can operate interconnected and/or independently, and after being subjected to performance tests, it was concluded that the present project, although it is certainly not entirely meets the objective proposed to make use of sensors for the already before reasons It works efficiently and is a base model that can enter into operation in areas of low traffic vehicle, if so decided by the direction of transit and transport of the GAD-IBARRA, also cannot be ruled out the use of sensors and other accessories that can be added by anyone interested in this project.

5.2 Recommendations

- The authorities responsible for controlling the road mobility within cities, need constantly analyze the vehicular flow each year, in order to improve and propose alternatives to benefit the disabled throughout the city, so for example the GAD-IBARRA through the new system of traffic signals and the incentive to make use of more environmentally friendly means of transport through what is called ciclo-paseos. It aims to raise awareness in the citizens and drivers to make a proper use of this medium so as it is the automobile.
- In relation to the system, it is recommended to work with external oscillators because the type of RC (RC) internal oscillator which has the ATmega324P is not stable enough in the case of applications requiring precision time, also if possible to use microcontrollers of the lot, because there are small differences in the speed of processing between one batch and another.
- Incorporate some sort of integrated to provide greater precision at times, as in the case of the IC DS1307, which is a clock in real-time which provides very reliable data, about 1 second of delay a year, in order to give greater independence to the child nodes.
- The use of ZigBee for this kind of applications technology, where it is not required to handle large volumes of data, but if you need robust wireless networks that are easily created and managed, mostly mediate you the brand DIGI XBEE modules which provide great benefits.
- Use devices that possess the necessary power for greater coverage; in the case of using the same type of wireless modules used within this project, it is consider modules XBEE PRO S2B that non-international version, since these are limited in power to comply with international legal standards.

Acknowledgements

My parents for all their support and unconditional care in all phases of my life, for his tireless fight, for his patience and love, to my brothers for the mood and the affection of all the days.

My sincere thanks to the autonomous decentralized Municipal Government of San Miguel de Ibarra, for giving me the opportunity and support to develop the project of qualification, especially Mr. Ramiro Chacon and the staff of the Directorate of traffic and transport.

All my friends and family who, with his help and friendship, have urged me to follow along through their advice and words of encouragement

Bibliographic References

[9] CAL, R., REYES, M. Semaforización. Cal & Mayor. (7ma Ed.), *Ingeniería De Tránsito Fundamentos Y Aplicaciones*. México (pp. 386-432).

[10] LABIOD, H., AFIFI, H., DE SANTIS S. 2010. Wi-Fi TM, Bluetooth TM, Zigbee TM and Wimax TM. The Netherlands

[11] FARAHANI, S. 2008. (1ra Ed.), Zigbee Wireless Networks and Transceivers. United States of America.

[12] TANENBAUM, A., WETHERALL, D. (2011). Computer Networks. (5ta Ed.). United States of America.

[13] BATISTE, A. (2011). *Protocolos de encaminamiento en redes Inalámbricas mesh: un estudio teórico y experimental*. (Tesis de maestría, Universitat Oberta De Catalunya). Recuperado de http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/8164/1/abatistet_TFM_0611.pdf

[14] GIL, M. (2009). *Estudio de la eficiencia de encaminamiento del protocolo AODV en redes ad hoc inalámbricas de gran escala*. (Trabajo de fin de carrera). Recuperado de http://eciencia.urjc.es/bitstream/10115/2546/1/PFC_MariaElenaGilJimenez.pdf

[15] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., IEEE Std. 802.15.4-2003, IEEE Standard for Information Technology Telecommunications and Information Exchange between Sytems-Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements-Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Phsical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Peronal Area Networks (WPANs). 2003. New York: IEEE Press.

[16] ZigBee Standards Organization. Zigbee Specification, 2008. San Ramon, CA: US. Recuperado de http://www.zbsigj.org/download/085224r00ZB_MG-ZigBee-Specification-053474r17_Japanese_08120.pdf

About the authors...

Pablo SALAZAR

Born in Ibarra Imbabura province on October 21, 1987. I make his primary studies in the school June 24. In 2005 obtained his Bachelor of Science degree specialty Matics in the Colegio Nacional Teodoro Gomez de la Torre. Currently is graduate of the career of engineering in electronics and communications networks at the Universidad Técnica del Norte of the city of Ibarra.

David NARVÁEZ

Professional in the area of Engineering in Electronics and Communication Networks. Native of the city of Ibarra, born on October 26, 1985. Graduated from Universidad Técnica del Norte. Currently pursuing a Masters in TICS in Pontificia Universidad Católica del Ecuador-PUCESI PUCESI, with the theme of Investigation “Sistemas Domóticos con plataformas de Hardware Libre”. He works as a Professor higher education in the areas of Networking, Wireless Communications and Applied Mathematics. Is interested in the area of Microelectronics and Applied Mathematics.