



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica y
Telecomunicaciones

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE COMUNICACIÓN A
TRAVÉS DE LIFI PARA COMPARAR EL RENDIMIENTO CON LA RED
WIFI PARA ENTORNOS CERRADOS.**

Autores:

FERNANDO ANÍBAL GÓMEZ BALAREZO

ALEX DAVID CHACHA PILCO

Director:

Ing. Deysi Inca B.

RIOBAMBA – ECUADOR

2017

CERTIFICADO TRIBUNAL

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE COMUNICACIÓN A TRAVÉS DE LIFI PARA COMPARAR EL RENDIMIENTO CON LA RED WIFI PARA ENTORNOS CERRADOS presentado por: Fernando Aníbal Gómez Balarezo y Alex David Chacha Pilco y dirigida por: Ing. Deysi Vilma Inca Balseca.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Juan Carlos Cepeda
Presidente del Tribunal



Firma

Ing. Deysi Inca Balseca
Director del Proyecto



Firma

Ing. Cristina Orozco
Miembro del Tribunal



Firma

AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente a: Gómez Balarezo Fernando Aníbal, Chacha Pilco Alex David e Ing. Deysi Inca Balseca; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo”.



Fernando A. Gómez B.

050337648-5



Alex D. Chacha P.

060395276-3

AGRADECIMIENTO I

Mi Gratitud a Dios por darme la constancia y cuidarme en todos los pasos que doy; por permitirme levantar de todos los momentos malos, por estar siempre a mi lado.

A mis padres, por el apoyo incondicional y por el gran esfuerzo que hicieron al darme los estudios, por el apoyo incondicional en todo momento.

A mi abuelita que empezó esta travesía igual conmigo siempre dando sus mejores consejos y creyendo siempre en mí, y que ahora me guía desde el cielo, a ella que siempre me cuida y acoge a mis ruegos.

A mis hermanos por el apoyo constante y la fe puesta en mí.

A mi novia por estar a mi lado en todo momento, sabiendo salir adelante juntos de la mano de cualquier obstáculo de la vida.

A mi compañero de proyecto de tesis Alex David, que por muchos años hemos compartido momentos buenos y malos pero no desmayamos en ésta lucha por alcanzar el objetivo, siempre quedarán grabados momentos inolvidables.

A mi Director de Tesis, Ing. Deysi Inca, por guiarme para culminar este proyecto.

A toda mi familia y a quienes compartieron conmigo los días de esfuerzo y sacrificio, mil gracias, sus nombres quedan grabados en mi corazón.

Gratitud a todos ellos...

Fernando Gómez

DEDICATORIA I

A Dios y a mamita virgen

Por darme la oportunidad de vivir y cuidarme en todo momento, por alimentar mi corazón e iluminar mi mente, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante mi vida.

A mi abuelita "Mamita flora".

Porque en vida fue mi inspiración para salir adelante siempre teniendo su apoyo incondicional, siempre fue mi ejemplo a seguir, un ejemplo de que con humildad también se puede ser grande.

Y aunque ya no esté conmigo yo sé que desde el cielo siempre me guía y me acompaña en todo momento, ahora se ha convertido en mi fe y a través de ella mi conexión ante Dios.

Este logro es por y para Ud. Mamita flora.

A mis padres

A mamita María y a Papá Miguel, quienes fueron los que me dieron la vida, los que siempre han estado ahí en las buenas y en las malas, gracias a su apoyo y sacrificio y su esfuerzo enorme para que salga adelante aun privándoles a ellos cosas necesarias con tal de verme avanzar y superarme.

Dios les pague por todo a mis padres.

A don Medardo Padilla Y su esposa

Por todo su carisma, por ayudarme a salir adelante considerándome un miembro más de su familia y siempre extendiéndome su mano, gracias a ellos.

A mis hermanos

Por todo su apoyo incondicional, en los momentos de apremio.

A mi amigo Marco Parra y su familia

Por qué se ha convertido en esos hermanos que nos regala la vida en el transcurso de ella, a su madre y abuelita doña Martita y doña Beticita por preocuparse por mí siempre, y tratarme como un miembro más de su familia, a toda la familia de Marco infinitas gracias.

A mi novia Fernanda Marisol

Por ser el impulso para seguir adelante en todo ámbito, por ser la persona que está ahí siempre mostrando el mejor camino para mí, que con su apoyo y su amor incondicional ha sido siempre mi fortaleza y mi luz en el camino amiga y compañera inseparable, que siempre ha estado ahí en los momentos muy difíciles y aun así hemos salido de la mano a ella por su constancia y sacrificio le dedico este logro.

Fernando.

AGRADECIMIENTO II

Eternamente agradecido con Dios y con mi Madre Santísima de Agua Santa de Baños por cuidarme y brindarme sus bendiciones en el transcurso de mi vida de estudiante y poder así culminar mi carrera profesional.

A mis preciados padres Fanny y Edgar quienes siempre están a mi lado apoyándome incesantemente con palabras de motivación y ayudándome en cada decisión que tomo.

A mis hermanas Lorena, Tania, y Cristina que con sus palabras de aliento me ayudan a seguir adelante.

A mi gran amigo Fernando por su grandiosa amistad que hemos mantenido desde que iniciamos nuestra carrera universitaria.

A mi novia Mariela por estar a mi lado en cada momento bueno y malo.

A mis compañeros de clase por cada experiencia vivida dentro y fuera del salón.

A nuestra querida Directora de Tesis Ingeniera Daysi Inca Balseca, quien más que una docente se ha convertido en nuestra amiga y ha sido nuestro pilar fundamental para la culminación de nuestro proyecto de investigación.

GRACIAS A TODOS

Alex Chacha

DEDICATORIA II

A Dios y a la Virgen Santísima de Agua Santa de Baños

Por brindarme salud y el conocimiento necesario para hacer realidad este logro, por cada bendición que me han brindado guiándome siempre por el camino correcto por cada experiencia buena y mala que eh vivido.

A mis padres Edgar Chacha y Fanny Pilco

Por brindarme cariño, amor y ese ejemplo de fortaleza y lucha para no rendirme ante momentos difíciles que se presentan en la vida y con su ejemplo guiarme por el camino culto lleno de humildad y sencillez.

Dios le pague por todo amados padres.

A mis hermanas Lorena, Tania, Cristina

Por ser esa parte fundamental de mi vida para seguir luchando día a día.

A mis adorados sobrinos

Por ser esa inspiración de seguir adelante.

A mi novia Mariela Elizabeth

Por ser el envi6n anímico que eh necesitado en todo este tiempo para lograr este sueño, que con su cariño y amor a sido mi luz de esperanza para salir adelante, respetándome y ayudándome con sus palabras de moral a para no rendirme.

DIOS LE PAGUE A TODOS

ALEX DAVID.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| ÍNDICE GENERAL..... | i |
| ÍNDICE DE FIGURAS | vi |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | ix |
| RESUMEN..... | x |
| ABSTRACT | xi |
| INTRODUCCIÓN..... | 12 |
| CAPÍTULO I..... | 14 |
| 1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA | 14 |
| 1.1.1 ¿QUÉ ES EL VLC?..... | 14 |
| 1.2 TECNOLOGÍA LIFI | 15 |
| 1.2.1 CÓMO FUNCIONA LA RED LIFI..... | 16 |
| 1.2.1.1 COMPONENTES DE UNA RED LIFI..... | 16 |
| 1.2.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UNA RED LIFI..... | 17 |
| VENTAJAS:..... | 17 |
| DESVENTAJAS: | 18 |
| 1.2.3 ESTÁNDAR IEEE 802.15.7 | 18 |
| 1.2.4 ESQUEMAS DE MODULACIÓN DE DATOS. | 19 |
| 1.2.5 Capa Física..... | 21 |
| 1.2.5.1 Modelo PHY I..... | 21 |
| 1.2.5.2 Modelo PHY II | 23 |
| 1.2.5.3 Modelo PHY III..... | 24 |
| 1.2.6. Ejecución de longitud para los codificadores limitados | 27 |

| | | |
|------------------|---|----|
| 1.2.6.1 | Codificación para los modos VPPM | 27 |
| 1.2.6.2 | Diagrama de referencia del modulador | 28 |
| 1.3 | MODULACIÓN OFDM | 29 |
| 1.4 | DEMODULACIÓN OFDM | 30 |
| 1.5 | Modulación Óptica | 30 |
| 1.6 | ELEMENTOS ÓPTICOS EN LI-FI PARA TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN.. | 31 |
| 1.6.1 | MATRIZ DE LEDS..... | 31 |
| 1.6.2 | USBASP..... | 32 |
| 1.7 | MICROCONTROLADOR..... | 33 |
| 1.7.1 | MICROCONTROLADOR ATMEGA164P..... | 33 |
| 1.8 | SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN BASCOM-AVR..... | 34 |
| 1.9 | PROG ISP..... | 37 |
| 1.10 | ORCAD LAYOUT PARA WINDOWS | 37 |
| 1.11 | CIRCUITO INTEGRADO LM358 | 39 |
| 1.12 | OSILADOR DE CUARZO | 39 |
| 1.13 | REGULADOR DE VOLTAJE LM7805..... | 41 |
| 1.14 | PROTOCOLO DE TRANSFERENCIA DE FICHEROS KERMIT..... | 42 |
| 1.15 | PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN SPI..... | 44 |
| 1.16 | VISUAL BASIC 6.0..... | 44 |
| CAPÍTULO II..... | | 48 |
| 2 | METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN | 48 |
| 2.1 | TIPO DE ESTUDIO..... | 48 |
| 2.2 | POBLACIÓN Y MUESTRA | 48 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.2.1 | POBLACIÓN | 48 |
| 2.2.2 | MUESTRA | 48 |
| 2.2.3 | HIPÓTESIS | 48 |
| 2.3 | OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES | 48 |
| 2.4 | PROCEDIMIENTOS | 50 |
| 2.4.1 | DISEÑO DE CIRCUITO ELECTRÓNICO Y PCB PARA EL TRANSMISOR..... | 50 |
| 2.4.1.1 | DISEÑO DEL REGULADOR DE VOLTAJE PARA EL CIRCUITO..... | 50 |
| 2.4.1.2 | PUERTO COM SERIAL SOBRE USB DE VELOCIDAD BAJA (AVR-CDC) | 51 |
| 2.4.1.3 | DISEÑO DE LA PLACA..... | 53 |
| 2.4.2 | DISEÑO DE CIRCUITO TRANSMISOR..... | 54 |
| 2.4.2.1 | DISEÑO DEL TRANSMISOR POR LUZ VIUSIBLE. | 54 |
| 2.4.2.2 | DISEÑO DEL DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL TRASMISOR..... | 55 |
| 2.4.2.3 | DISEÑO DEL RECEPTOR LIFI | 56 |
| 2.4.2.4 | DISEÑO DEL DIAGRAMA ESQUEMÁTICO PARA EL RECEPTOR LIFI... .. | 58 |
| 2.4.2.5 | PROGRAMACIÓN SERIAL EN CIRCUITO ICSP | 59 |
| 2.4.3 | CONFIGURACIÓN Y CONEXIÓN DE DISPOSITIVOS | 60 |
| 2.4.3.1 | CONFIGURACIÓN DEL IDE BASCOM PARA LA COMUNICACIÓN A TRAVÉS..... | 60 |
| 2.5 | PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS..... | 62 |
| 2.5.1 | ANÁLISIS DE LA COMUNICACIÓN DEL SISTEMA..... | 63 |
| 2.5.2 | ADMINISTRACIÓN DE DISPOSITIVOS | 63 |
| 2.6 | COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS | 63 |
| | CAPÍTULO III | 67 |
| 3 | RESULTADOS | 67 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.1 | ANÁLISIS FOTOGRÁFICO | 67 |
| | CAPÍTULO IV | 70 |
| 4 | DISCUSIÓN | 70 |
| | CAPÍTULO V | 72 |
| 5 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 72 |
| 5.1 | CONCLUSIONES | 72 |
| 5.2 | RECOMENDACIONES..... | 72 |
| | CAPÍTULO VI..... | 74 |
| 6 | PROPUESTA | 74 |
| 6.1 | TÍTULO DE LA PROPUESTA | 74 |
| 6.2 | INTRODUCCIÓN | 74 |
| 6.3 | OBJETIVOS | 74 |
| 6.3.1 | OBJETIVO GENERAL..... | 74 |
| 6.3.2 | OBJETIVO ESPECÍFICO..... | 75 |
| 6.4 | DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA..... | 75 |
| 6.5 | DISEÑO ORGANIZACIONAL..... | 76 |
| 6.6 | MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA..... | 76 |
| | CAPÍTULO VII..... | 78 |
| 7 | BIBLIOGRAFÍA | 78 |
| | CAPÍTULO VIII | 82 |
| 8 | ANEXOS | 82 |
| 8.1 | ANEXO 1. TABLA DISTRIBUCIÓN t STUDENT | 82 |
| 8.2 | ANEXO 2. CONFIGURACIÓN DEL PUERTO COM..... | 83 |

| | | |
|-----|---|----|
| 8.3 | ANEXO 2. CONFIGURACIÓN DE FUSES PARA CARGAR EL PROGRAMA AL MICROCONTROLADOR..... | 85 |
| 8.4 | ANEXO 3. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LAS PLACAS DE..... | 86 |
| 8.5 | PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR..... | 87 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Espectro de luz visible. | 14 |
| Figura 2. Transmisión de datos para entornos cerrados. | 15 |
| Figura 3. Esquema de modulación OOK utiliza codificación Manchester | 19 |
| Figura 4. Modulación de pulso de posición variable (VPPM). | 20 |
| Figura 5. LEDs RGB pueden combinar diferentes longitudes de onda para CSK..... | 21 |
| Figura 6. Diagrama de bloques de un Sistema utilizando modelo PHI I | 22 |
| Figura 7. Diagrama de bloques de un Sistema utilizando modelo PHY II..... | 24 |
| Figura 8. Diagrama de bloques de un Sistema utilizando modelo PHI III Estándar IEEE 802.15.7 | 25 |
| Figura 9. CSK system diagram for PHY III | 28 |
| Figura 10. Modulador OFDM | 29 |
| Figura 11. Demodulador OFDM | 30 |
| Figura 12. Matriz de leds..... | 31 |
| Figura 13. Programador USB para AVR's | 32 |
| Figura 14. Microcontrolador ATmega164P | 33 |
| Figura 15. Distribución de pines del ATmega..... | 34 |
| Figura 16. Pantalla principal del PROGISP | 37 |
| Figura 17. Capture Orcad 7.0 | 38 |
| Figura 18. Diseño interno de LM358 | 39 |
| Figura 19. Osciladores de cuarzo | 40 |
| Figura 20. LM7805 Regulador de voltaje 5VCC | 41 |
| Figura 21. Conexión como terminal Kermit o XModem. | 43 |

| | |
|--|----|
| Figura 22. SPI Master-Slave..... | 44 |
| Figura 23. Conexión de Hyerterminal | 46 |
| Figura 24. Configuración de Hyperterminal | 47 |
| Figura 25. Regulador de voltaje | 50 |
| Figura 26. Filtro de parche para Windows XP / Vista / 7. | 52 |
| Figura 27. Trazado de pistas realizadas por el programa OrCAD | 54 |
| Figura 28. Diagrama esquemático del tx LIFI..... | 56 |
| Figura 29. Opto receptor de luz..... | 57 |
| Figura 30. Diagrama esquemático del receptor lifi | 58 |
| Figura 31. Conector ICSP..... | 59 |
| Figura 32. Topología de Conexión..... | 60 |
| Figura 33. Conf. Microcontrolador en el IDE de BASCOM..... | 61 |
| Figura 34. Comandos de activación vía Hardware..... | 61 |
| Figura 35. Conf. Del micro para comunicación LIFI. | 62 |
| Figura 36. Diagrama de procedimientos. | 62 |
| Figura 37. Distribución de Probabilidad de la distribución t de Student..... | 66 |
| Figura 38. Inicio de sesión en Hyperterminal | 67 |
| Figura 39. Selección del puerto COM | 68 |
| Figura 40. Configuración del puerto | 68 |
| Figura 41. Selección del protocolo de comunicación..... | 69 |
| Figura 42. Transferencia de archivos en tiempo real a través de LIFI | 69 |
| Figura 43. Diagrama de procedimientos. | 76 |
| Figura 44. Selección del controlador para la comunicación..... | 83 |

| | |
|--|----|
| Figura 45. Búsqueda manual del controlador..... | 83 |
| Figura 46. Selección del controlador para hardware..... | 84 |
| Figura 47. Puerto COM serial activado..... | 84 |
| Figura 48. Programa PROGISP..... | 85 |
| Figura 49. Selección de fusos para el microcontrolador..... | 85 |
| Figura 50. Diseño posterior de pistas de conducción..... | 86 |
| Figura 51. Diseño frontal con sus respectivos elementos..... | 86 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Comportamiento del modelo PHY I..... | 23 |
| Tabla 2. Comportamiento del modelo PHY III..... | 26 |
| Tabla 3. Mapping entrada 4B a salida 6B. | 27 |
| Tabla 4. Reguladores LM78XX..... | 42 |
| Tabla 5. Operacionalización de variables..... | 49 |
| Tabla 6. Velocidad de datos para un paquete de 8 bytes..... | 53 |
| Tabla 7. Características de sensor del haz de luz 3DUOC..... | 58 |
| Tabla 8. Comparativa de las redes..... | 63 |
| Tabla 9. Diferencias entre los tiempos de desarrollo con la red LIFI y WIFI..... | 65 |
| Tabla 10. Tabla de distribución T student..... | 82 |

RESUMEN

Luz Fidelidad, LIFI, es una forma relativamente nueva de la tecnología de comunicación inalámbrica, utiliza señales de luz para comunicar datos. LIFI utiliza el espectro de luz y no de radiofrecuencia. Por lo tanto, no emite ninguna interferencia electromagnética. Esto hace que sea más conveniente para las áreas altamente sensibles. Las interferencias electromagnéticas pueden afectar la comunicación en áreas como las minas o interrumpir equipos sensibles en lugares como hospitales.


Llamado Li-Fi, que es la abreviatura de fidelidad luz, la tecnología es lo que se conoce como Visible Light Communication (VLC). A diferencia de los sistemas basados en infrarrojos, VLC implica la transmisión de datos utilizando la luz visible para el ojo humano. En este caso se transmite como destellos intermitentes, imperceptibles de la luz emitida por los LEDS.

El funcionamiento del prototipo de la red LIFI se reduce a que los datos se alimentan en una matriz LED que está equipada a través de un microcontrolador que se programó con la tecnología de procesamiento de señales luminosas. La matriz LED emite impulsos de los datos que son interpretados por el receptor en una señal eléctrica, la señal eléctrica se convierte de nuevo en datos binarios para que vía serial puedan ser interpretados en un pc. Las luces LED están conectadas en red, en un modo de transmisión half dúplex por lo que permite comunicarse entre dos computadoras.

Debido a las velocidades que LIFI puede alcanzar, y sus límites espaciales, la tecnología va a funcionar bien junto con la tecnología celular y Wi-Fi como una opción adicional para la conectividad. LIFI puede ser utilizado para desviar el tráfico pesado de las redes celulares y de Wi-Fi.

Abstract

Luz Fidelidad (LIFI) is a relatively new form of wireless communication technology, uses the light spectrum and does not radio frequency for sending data, therefore, does not emit any electromagnetic interference. It is very convenient for places highly sensitive to electromagnetic interference, as they can affect communication and disrupt the operation of sensitive equipment such as in hospitals. The LIFI transmitter and receiver consist of an LED range that is controlled through a microcontroller programmed with the principles of light signal processing. The LED array produces pulses of data that are interpreted by the receiver once the signal is electric. The one PC interprets the electrical signal as binary data. The LED lights will be connected in duplex half mode allowing you to communicate between two computers by having a transmitter and receiver at each point. For the evaluation of the prototype, a scenario is set up to compare the operation of the LIFI and WIFI network. The parameter to be measured is the transmission time of the information considering the level of light in closed cases.


Reviewed by: Suarez, Marcela
LANGUAGE CENTER TEACHER



INTRODUCCIÓN

El presente documento trata sobre el análisis y el diseño de un prototipo de la tecnología Li-Fi, que se pretende llevar a cabo, para comparar con la red convencional WI-FI

Li-fi es una alternativa que se da para Wi-Fi es decir se pretende tener como punto de comunicación el haz de luz en vez de las ondas electromagnéticas y que sea capaz de transmitir información con elementos de iluminación convencionales.

Otro gran avance en la industria de las telecomunicaciones fue el empleo de la luz como señal de comunicación, gracias a la luz surgieron tecnologías como la fibra óptica y el uso de láseres infrarrojos para comunicación a grandes distancias.

Li-Fi se refiere a una transmisión de datos que deja de utilizar las ondas de radio Wi-Fi y por medio de la luz LED transporta los datos. El funcionamiento de la transmisión de datos para Li-Fi es bastante simple. Se conoce como Switching y consiste en que existen diodos emisores que se encuentran encendidos (on) y transmite un 1 digital y cuando está apagado (off) se envía un 0. De esta manera la intermitencia muy rápida del switching permite generar una frecuencia necesaria para la transmisión de datos.

En la actualidad se está trabajando en un nuevo entorno de comunicación en el espectro de la luz visible, denominado como VLC (Visible Light Communication), pero los científicos han decidido cambiarle la denominación como “Li-Fi”, la cual está respaldada con el estándar IEEE P1905.1 (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

Para construir un sistema Li-Fi solo se necesitan una serie de LED y un controlador que codifique los datos de dichos diodos y aplicar un sistema de variación para que el switching funcione para los datos que se desean transmitir. Si se quiere alterar la frecuencia y generar nuevos canales de transmisión se pueden utilizar LED de diferentes colores (rojos, azules o verdes).

El documento se divide en 8 capítulos, el primero se basa en el estudio de la luz como un medio de comunicación, el desarrollo de la tecnología Li-Fi además se analiza las posibles técnicas de modulación y demodulación para implementar Li-fi.

El segundo capítulo consta de la metodología de la investigación, las hipótesis planteadas para este proyecto y los procedimientos para el desarrollo del prototipo de LIFI.

El tercer capítulo es el desarrollo de los resultados y un análisis financiero con respecto al prototipo. El cuarto capítulo presenta la discusión sobre el proyecto, el enfoque que se obtuvo y el cumplimiento con la investigación.

En el quinto está compuesto con las conclusiones que se obtuvieron en el desarrollo de la investigación y recomendaciones que servirán para futuras investigaciones acerca de ésta tecnología.

En el sexto capítulo se tiene la propuesta, los objetivos, la evaluación, el monitoreo y el seguimiento al proyecto y comprobar su funcionalidad.

En el séptimo capítulo la bibliografía de las fuentes de consulta e investigación y en el octavo capítulo los anexos como son: capturas de pantallas de la comunicación a través de LIFI, y los códigos fuente de la programación para los microcontroladores.

CAPÍTULO I

1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1.1 ¿QUÉ ES EL VLC?

Las comunicaciones por luz visible (VLC). Es la transmisión de datos por medio del espectro de luz visible, es una alternativa nueva, que se ha estudiado mucho en los últimos años, como un desahogo al saturado espectro de radio frecuencia.

Además, el gran desarrollo de los dispositivos LED (Light-Emitting Diode) ha permitido que las bombillas convencionales se estén sustituyendo por esta nueva tecnología. La elevada velocidad de conmutación de estos dispositivos ha hecho posible su utilización no sólo como sistema de iluminación sino también como un medio para transmitir la información, lo que se conoce como VLC (Visible Light Communications), especificado en el estándar 802.15.7

El espectro de la luz visible está en el rango de 400-800THz, como se indica en la figura 1.

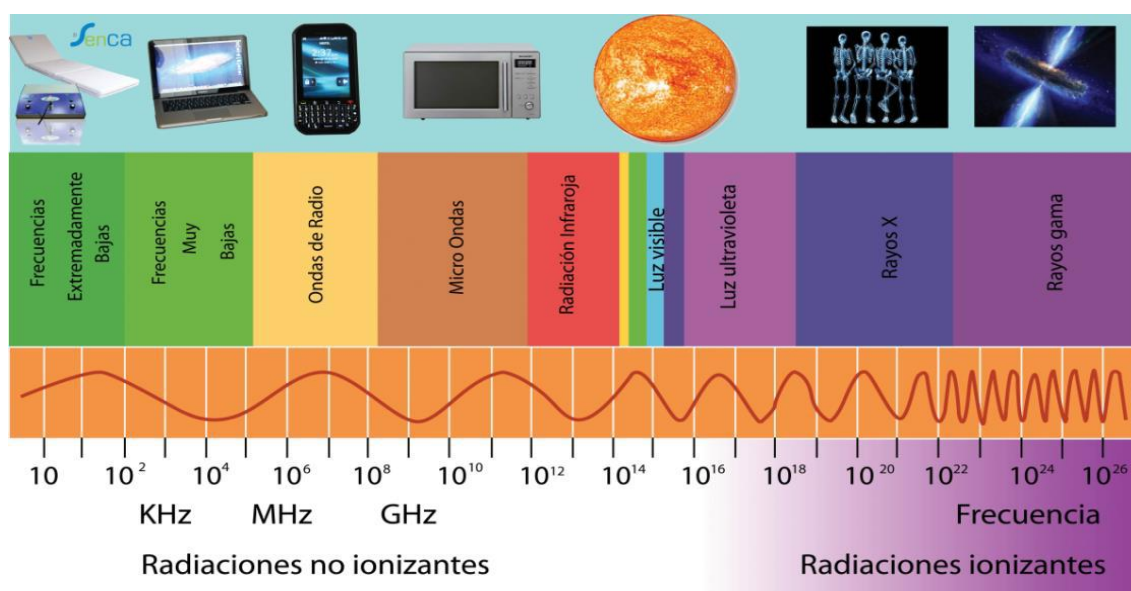


Figura 1. Espectro de luz visible.

Fuente: <http://gabrielescritoriobiologico.blogspot.com/2014/01/microbiologia-de-los-alimentos-2-parte.html.jpg>

1.2 TECNOLOGÍA LIFI

LiFi es un sistema de comunicación inalámbrica que utiliza el espectro visible de la luz como medio de transmisión de datos. Li-Fi es el término usado para etiquetar a los sistemas de comunicaciones inalámbricas rápidos y de bajo costo, el equivalente óptico al Wi-Fi. El término fue usado por primera vez en este contexto por Harald Haas en una conferencia en TED sobre la comunicación con luz visible.

Uno de los principales factores que ha llevado a esta evolución ha sido la tecnología LED (Light-Emitting Diode), que está reemplazando a las lámparas comunes, la capacidad de conmutación de estos dispositivos, ha permitido que aparte de servir como iluminación para diferentes ambientes se pueda enviar información a través de ellos. Encendiéndolos y apagándolos con una velocidad que es imperceptible para el ojo humano.

La idea de tener como punto de comunicación una lámpara, es muy impresionante ya que se puede obtener información muy rápido y sin la necesidad de dividir el ancho de banda. Además, que no habría la necesidad de hacer grandes cambios en la infraestructura ni de dispositivos complejos. (researchdesignlab, 2014, pág. 25) Como se observa en la Figura 2.

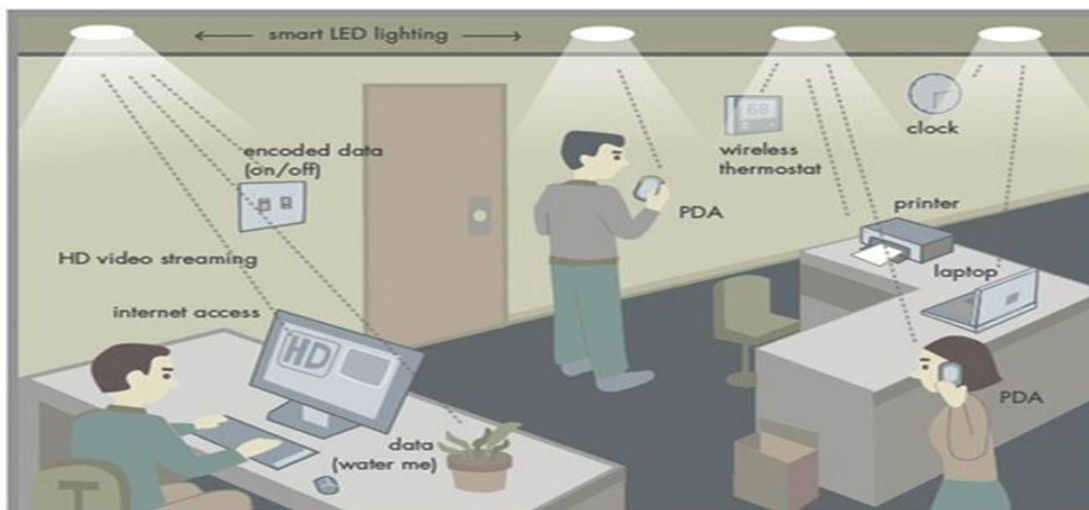


Figura 2. Transmisión de datos para entornos cerrados.

Fuente: <http://blogthinkbig.com/vlc-comunicaciones-por-luz-visible.jpg>

1.2.1 CÓMO FUNCIONA LA RED LIFI

LiFi usa la luz de LED para transmitir señales inalámbricas portadoras de datos. Lo hace codificando información, basado en la frecuencia de la luz LED, de manera tal que no es perceptible al ojo humano. La velocidad de transmisión tiene directa relación con el color de las luces LED, ya que, entre más lejana del blanco cálido, más rápida es la transmisión, debido a que puede usarse un mayor espectro de frecuencia.

El funcionamiento de LiFi Para poder transmitir información, se necesita conectar una matriz de LEDs equipada con LiFi. De este modo el transmisor LiFi estará listo para enviar información, solo es necesario tener un dispositivo que tenga instalado el receptor de LiFi, de modo se complete el ciclo de recibir y enviar información de modo correcto. (WORDPRESS.COM., 2005)

VLC¹ representa sólo una fracción de lo que parece ser un movimiento mucho más grande hacia la óptica inalámbrica. El transmisor LED sostendrá un micro-chip que va a hacer el trabajo de procesar los datos.

La intensidad de la luz puede ser manipulada para enviar los datos por pequeños cambios en la amplitud.

Esta tecnología utiliza el espectro visible de la luz, una parte del espectro electromagnético que todavía no es en gran medida utilizado, de hecho, esta tecnología transfiere miles de flujos de datos simultáneamente en paralelo en una velocidad más alta con la ayuda de la modulación especial utilizando una tecnología de procesamiento de señal única. (researchdesignlab, 2014, pág. 26)

1.2.1.1 COMPONENTES DE UNA RED LIFI.

- El LED blanco de alto brillo, que actúan como una fuente de comunicación.
- Fotodiodo de silicio, que muestra una buena respuesta a la región de longitud de onda visible.

¹ Comunicaciones por Luz Visible

- La iluminación LED se puede utilizar como una fuente de comunicación mediante la modulación de la luz del LED con la señal de datos.
- La luz LED parece ser continua para el ojo humano debido al parpadeo rápido, con la alta velocidad de datos se puede lograr mediante el uso de un LED de alta velocidad de una técnica apropiada.
- Cada LED transmite a diferente velocidad de datos que se puede aumentar por la transmisión de datos en paralelo usando matrices de LED.

En este trabajo se pretende estudiar los elementos que conforman el transmisor y receptor en dicha tecnología para determinar un modelo para implementar este producto como una alternativa o complemento a WI-FI.

1.2.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UNA RED LIFI

Como todo sistema, el uso de LIFI presenta sus ventajas y desventajas:

VENTAJAS:

- Una de las principales ventajas es que el ancho de banda no se divide, independiente de los usuarios que ocupen servicio.
- No interfiere con otras señales como las de radio frecuencia.
- Es muy rápido, su velocidad de transferencia va desde los 15 Mb/s, hasta los 20 Gb/s.
- La dualidad, es decir que al mismo tiempo ilumina el ambiente y recibe internet lo que produce un ahorro de energía.
- Cualquier bombilla o farola puede convertirse en un hotspot o router luminoso de forma barata y sencilla, poniéndole un emisor LiFi.
- No requiere las cotizadas frecuencias radioeléctricas que requiere el Wi-Fi.
- LiFi es mucho más simple y utiliza métodos de modulación directas similares a las utilizadas en los dispositivos de comunicaciones de infrarrojos de bajo costo, tales como los mandos a distancia.
- Ausencia de cables. (JUANPEDROTV, 2016)

DESVENTAJAS:

- No funciona bajo la luz solar directa.
- No atraviesa obstáculos o paredes.
- Solo funciona con aquellos dispositivos que tengan un receptor para tal tecnología, es decir, que cuenten con un receptor capaz de descodificar la señal luminosa.
- El alcance de haz de luz en los Leds no es muy amplio alcanzando hasta los 0.5 -1 m.
- Si interfiere algún objeto entre el emisor o receptor, se corta la transferencia de datos, ya que las ondas de luz visible no traspasan objetos como si lo hacen las ondas de radio frecuencia.

(LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, 2016, pág. 09)

1.2.3 ESTÁNDAR IEEE 802.15.7

Es el protocolo de **Luz visible de comunicación**, éste método se caracteriza por la comunicación inalámbrica de corto alcance por medio de espectros de luz donde su mayor ventaja es por soportar altas velocidades de datos hasta 96Mb/s y la luz visible es de 380 – 789 nm, éste método proporciona atenuación en mecanismos en la comunicación de luz para que siempre sea visible sin parpadeos (Rodríguez, 2015, pág. 4).

A finales del año 2011 fue producido el proyecto de norma para IEEE 802.15.7 para VLC. Esta norma cubre tanto la capa (PHY²) área de interfaz física y el control de acceso al medio (MAC). Se podría considerar la capa MAC con más detalle en artículos posteriores, pero por ahora se centrará en la capa física ya que esta es la parte que realmente utiliza la luz visible.

Se propone el estándar para una variedad de aplicaciones relacionadas con VLC Wireless Personal Area Networks (WPAN). Actualmente el MAC es compatible con tres múltiples topologías de acceso; peer-to-peer, configuración de estrella y el modo de difusión. La MAC también se ocupa en los problemas de gestión de la capa física, tales como protocolos

² Capa física inalámbrica

de direccionamiento, para evitar colisiones y de acuse de recibo de datos. La capa física se divide en tres tipos; PHY I, II y III, y éstos emplean una combinación de diferentes esquemas de modulación.

1.2.4 ESQUEMAS DE MODULACIÓN DE DATOS.

1.2.4.1. On-off keying (OOK)

Como su nombre indica los datos son transportados girando el LED de vez en cuando. En su forma más simple, un indicador digital de '1' está representado por la luz de estado "on" y un indicador digital de '0' está representado por un estado de la luz en "off". La belleza de este método es que es muy simple para generar y decodificar.

El estándar 802.15.7 utiliza codificación de Manchester para garantizar el periodo de impulsos positivos es el mismo que los negativos, pero esto también duplica el ancho de banda requerido para la transmisión OOK. Por otra parte, las tasas de bits más altas para ejecutar codificación de longitudes limitadas (RLL) se utiliza, el de mayor eficiencia espectral. El oscurecimiento es apoyado por la adición de una extensión OOK que ajusta la producción agregada al nivel correcto. En la figura 3 se puede observar una codificación Manchester que es el requerido para la transmisión OOK.

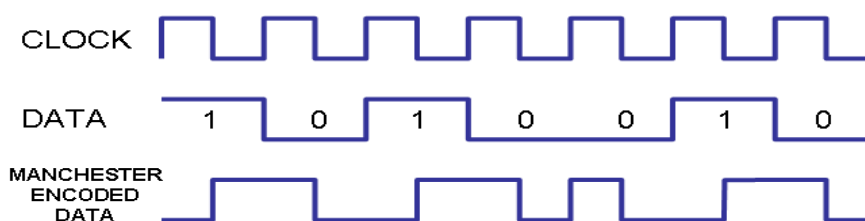


Figura 3. Esquema de modulación OOK utiliza codificación Manchester

Fuente: <http://visiblelightcomm.com/an-ieee-standard-for-visible-light-communications/>.jpg

1.2.4.2. Modulación variable de posición de pulso (VPPM).

Posición de la modulación de impulsos (PPM) codifica los datos utilizando la posición del pulso dentro de un período de tiempo establecido. La duración del período que contiene el

pulso debe ser lo suficientemente largo para permitir diferentes posiciones para ser identificados, por ejemplo, un '0' está representado por un pulso positivo al comienzo del período seguido por un pulso negativo, y '1' está representada una por un pulso negativo al principio del período seguido por un pulso positivo. VPPM es similar a PPM pero permite que el ancho de pulso para ser controlado por el apoyo de atenuación de luz como se muestra en la figura 4.

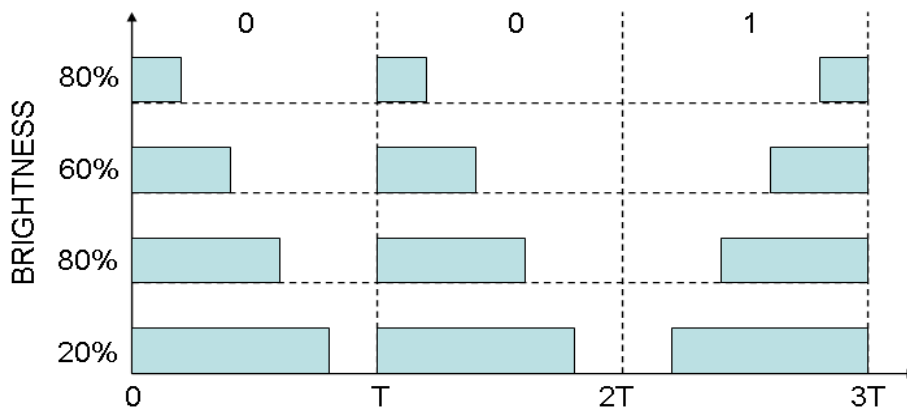


Figura 4. Modulación de pulso de posición variable (VPPM).

Fuente:<http://visiblelightcomm.com/an-ieee-standard-for-visible-light-communications/.jpg>

1.2.4.3. Modulación por desplazamiento de color (CSK)

Esta modulación puede ser usada si el sistema de iluminación utiliza LED de tipo RGB. Mediante la combinación de los diferentes colores de la luz, los datos de salida pueden ser transportados por el color mismo y así la intensidad de la salida puede ser casi constante. El diagrama de cromaticidad xy muestra el espacio de color y longitudes de onda asociadas en texto azul (las unidades son nm). Mezcla de las fuentes primarios roja, verde y azul produce los diferentes colores que se codifican como bits de información. La desventaja de este sistema es la complejidad de tanto del transmisor como del receptor. En la figura 5 se puede observar las diferentes longitudes de onda para CSK en un LED

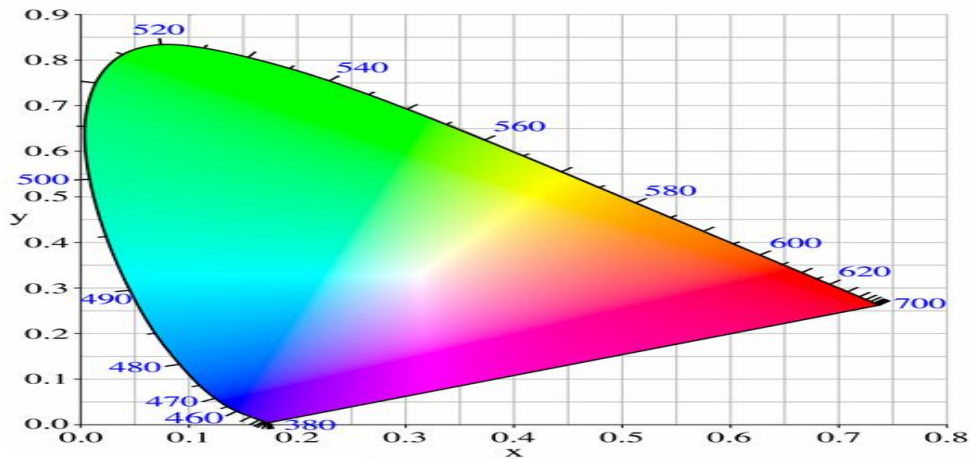


Figura 5. LEDs RGB pueden combinar diferentes longitudes de onda para CSK

Fuente:<http://visiblelightcomm.com/an-ieee-standard-for-visible-light-communications/.jpg>

1.2.5 Capa Física

Se especifican tres modelos de la capa física actualmente.

1.2.5.1 Modelo PHY I

Este modelo está diseñado para aplicaciones de velocidad bajas de datos al aire libre. Proporciona velocidades de datos en el rango de 12 - 267 kbit/s convolucionales y códigos Reed Solomen que se pueden utilizar para la corrección de errores hacia adelante, y OOK o VPPM que se utilizan para la modulación.

PHY I se dirige a aplicaciones que requieren tasas de datos bajas. Se enviará a 11,67 kb/s si se selecciona la frecuencia de reloj óptico de 200 kHz o a 35,56 kb/s si la frecuencia de 400 kHz se selecciona la velocidad del reloj óptico. El reloj óptico es obligatorio porque da soporte para 11.67 kb/s a 200 kHz reloj óptico es obligatorio.

A continuación, en la Figura 6 se muestra el diagrama de bloques de un transmisor y receptor usando el modelo PHY I para una comunicación por luz visible en el que se explicará que se realiza en cada bloque.

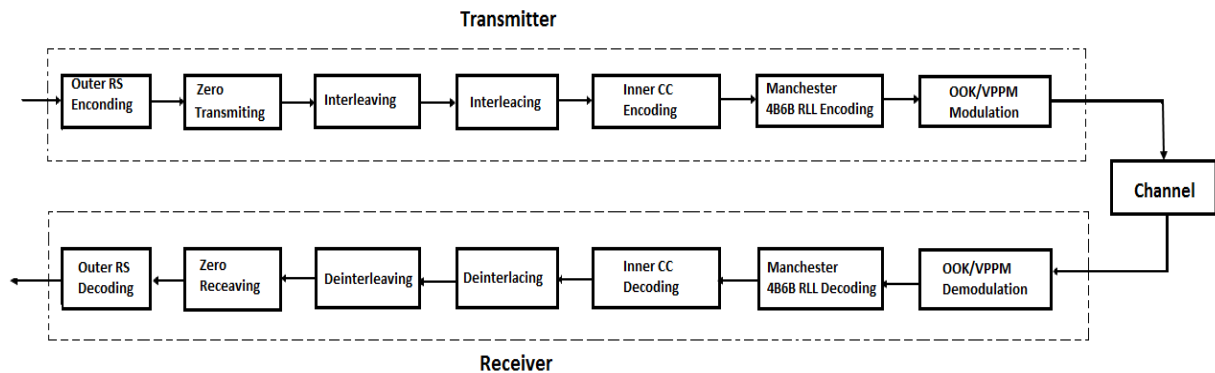


Figura 6. Diagrama de bloques de un Sistema utilizando modelo PHI I

Fuente: <http://Autores/.jpg>

Los bits de entradas son codificados utilizando la codificación denominada Reed Salomon (Rs), lo que hace es codificar K símbolos que son las palabras de código a mensajes teniendo como consecuencia n símbolos cada una, para posteriormente hacer un relleno de ceros utilizando Padang, teniendo como resultando un intercalador, los mismos que pasan por un codificador convolucional. Una vez hecho esto se pasa por un codificador (RLL) aplicando Manchester o 4B6B, teniendo a la salida un símbolo formado por 2,4 o 6 bits respectivamente. Finalmente pasa por el modulador OOK o VPPM y se envía por un canal con una sola fuente emisora de luz.

En el caso del receptor lo que sucede es que la información que pasa por el canal y para recuperar la información se utilizan un detector de umbral, dicha información es demodulada por OOK o VPPM dependiendo de lo que se utilizó en la modulación. Lo siguiente es realizar procesos inversos a los de la modulación es decir se pasa por un decodificador de RLL luego por un desintercalador, luego se proceder a eliminar Padang para finalmente pasar por un decodificador RS para recuperar y obtener la información enviada.

En la tabla 1, se indica el proceso descrito anteriormente con diferentes velocidades, diferentes modulaciones y se puede observar el comportamiento del modelo PHY I

| Operating Mode | Data Rate | Modulation | RLL code | Optical clock rate | FEC | |
|----------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| | | | | | Outer code (RS) | Inner code (CC) |
| PHY La | 11.67 kb/s | OOK | Manchester | 200 kHz | (15.7) | 1/4 |
| PHY Lb | 24.44 kb/s | | | | (15.11) | 1/3 |
| PHY Lc | 48.89 kb/s | | | | (15.11) | 2/3 |
| PHY Ld | 73.3 kb/s | | | | (15.11) | None |
| PHY Le | 100 kb/s | | | | None | None |
| PHY Lf | 35.56 kb/s | VPPM | 4B6B | 400 kHz | (15.2) | None |
| PHY Lg | 71.11 kb/s | | | | (15.4) | None |
| PHY Lh | 124.4 kb/s | | | | (15.7) | None |
| PHY Li | 266.6 kb/s | | | | None | None |

Tabla 1. Comportamiento del modelo PHY I

Fuente: <http://Autores/.jpg>

1.2.5.2 Modelo PHY II

Este modelo está diseñado para su uso en interiores con velocidades de datos moderadas en el intervalo de 1,25 - 96 Mbit / s. Los códigos Reed Solomen se pueden utilizar para la corrección de errores hacia adelante, y OOK o VPPM se utilizan para la modulación. Tener en cuenta que para lograr 96 Mbit / s, se requiere una velocidad de reloj de 120 MHz óptica, que la mayoría de fuera de la plataforma dispositivos ópticos no apoyarán. A la velocidad de reloj más realista de 15 MHz una velocidad de datos de 9,6 Mbit / s se puede lograr.

De la misma manera se muestra un diagrama de boques donde se indica el modelo de un sistema PHY II en el Estándar IEEE 802.15.7 Figura 7.

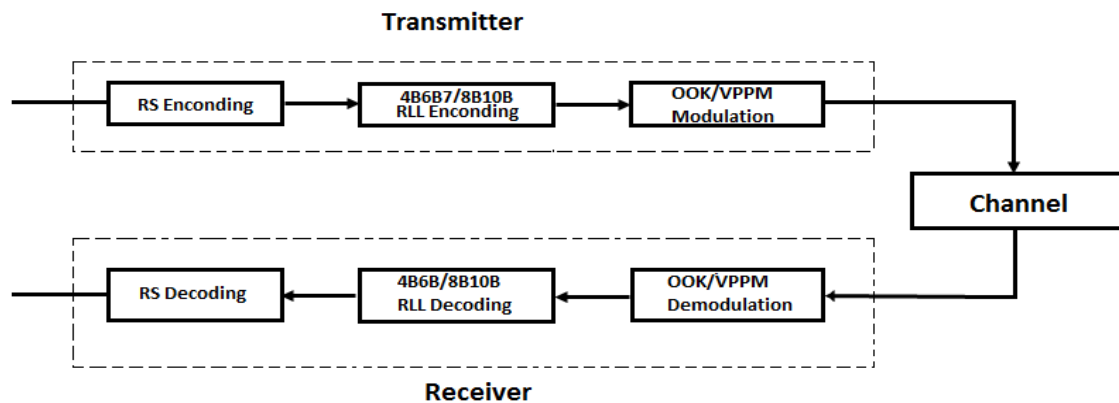


Figura 7. Diagrama de bloques de un Sistema utilizando modelo PHY II

Fuente: <http://Autores/.jpg>

1.2.5.3 Modelo PHY III

Este modelo está diseñado para aplicaciones en las fuentes y detectores de RGB, proporciona velocidades de datos que oscilan entre el 12 - 96 Mbit / s. Una vez más los códigos Reed Solomen se pueden utilizar para la corrección de errores hacia adelante y esta vez CSK con constelaciones de color 4, 8 o 16.

Este a diferencia de los anteriores modelos trabaja bajo un sistema MIMO³ múltiples estradas con múltiples salidas. Este ofrece velocidades con un rango que va desde 12 Mb/s hasta 96 Mb / s. Este se puede utilizar en aplicaciones con muchas fuentes de luz, que se enviará la información al mismo tiempo que tendrá múltiples receptores de luz los captará y recibirán las señales emitidas.

Las bandas de frecuencia soportadas en todos los dispositivos PHY III de la red admiten una comunicación fiable de CSK, ésta es asegurar que la transmisión en dos bandas de frecuencia óptica del dispositivo de transmisión no caiga dentro una banda de filtro óptico

³ Multiple Input – Multiple output

del dispositivo de recepción para la operación de CSK, que conduce a errores de comunicación durante CSK.

En la siguiente Figura 8. Se muestra el comportamiento y los diferentes procesos que se realiza en el modelo PHY III.

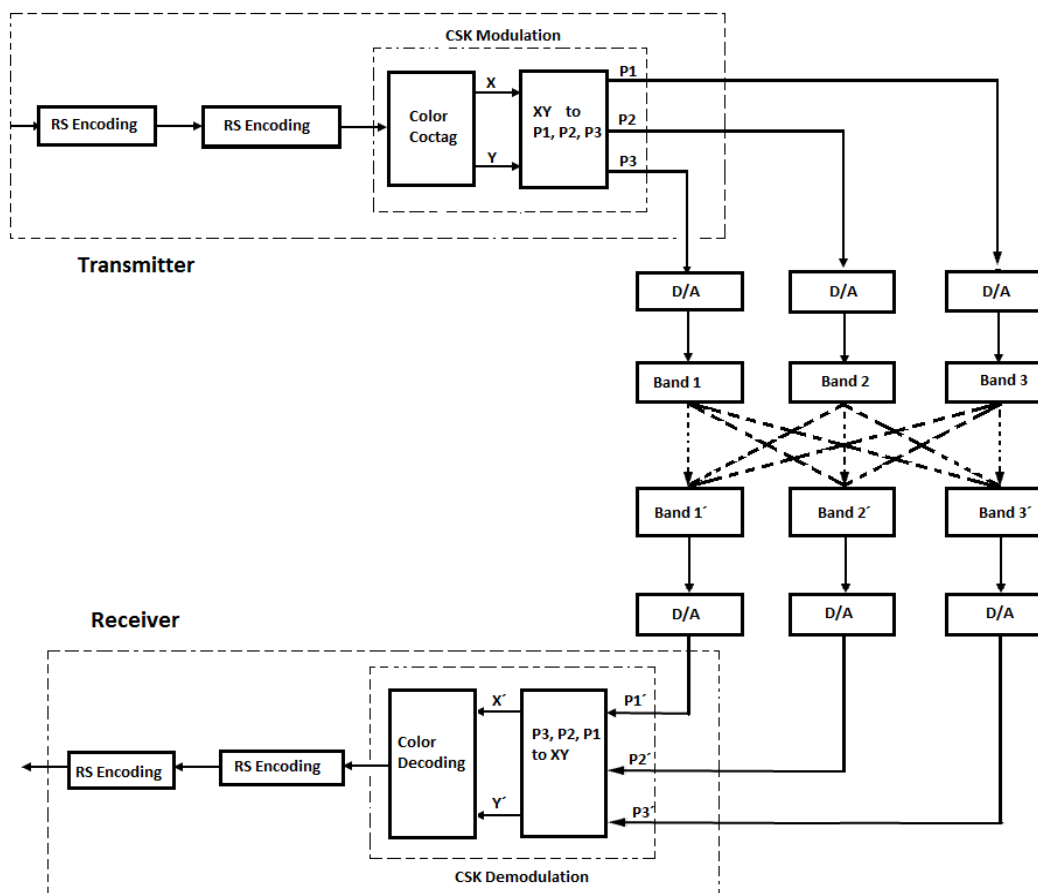


Figura 8. Diagrama de bloques de un Sistema utilizando modelo PHY III Estándar IEEE 802.15.7.

Fuente: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7770> / .jpg

De igual manera se pasa por un bloque de codificación de RS que servirá para convertir la cadena de bits en tramas largas en tramas más pequeñas y aleatorias. Para ser luego codificado nuevamente por un codificador RS. La diferencia y en punto clave está en la modulación CSK que es modulación mediante incrustación de color.

El espectro de luz visible se divide en 7 grupos, cada uno de ellos tiene un código específico, teniendo un valor en x - y respectivamente. La modulación CSK lo que hace es trabajar con 3 de estos 7 grupos, con los puntos respectivos en x-y, formar los vértices del triángulo y así formar las constelaciones que son necesarias.

Los datos que ingresan para ser modulados son primeros analizados en Log (M) donde M representa el tamaño de la modulación. Cada uno de estos valores tiene una posición x-y cada 3 valores van formando los vértices del triángulo que son la constelación, para luego estos puntos ser pasados a valores RGB, se normalizan las intensidades de los Leds y se puede enviar la información.

Para la parte del receptor se tiene 3 foto receptores cada uno va a detectar un color diferente ya que tiene 3 longitudes de ondas distintas que da cada color. Entonces se procede a ser un trabajo inverso al transmisor es decir las intensidades receptadas son inversamente asignadas a los valores de x-y, con la ayuda de un detector de distancia mínima corregir y determinar los verdaderos símbolos de cada constelación y finalmente pasar por un decodificador RS y obtener la información enviada. (Communications, 2011)

En la Tabla 2, se muestra al modelo PHY III, con diferentes tasas de velocidad y aplicando diferentes modulaciones CSK.

| Operating Mode | Data Rate | Mdulation | Optical clock rate | FEC |
|-----------------------|------------------|------------------|---------------------------|------------|
| PHY TTT.a | 12 Mb/s | 4-CSK | 12 MHz | RS(64.32) |
| PHY TTT.b | 18 Mb/s | 8-CSK | | RS(64.32) |
| PHY TTT.c | 24 Mb/s | 4-CSK | 24 MHz | RS(64.32) |
| PHY TTT.d | 36 Mb/s | 8-CSK | | RS(64.32) |
| PHY TTT.e | 48 Mb/s | 16-CSK | | RS(64.32) |
| PHY TTT.f | 72 Mb/s | 8-CSK | | None |
| PHY TTT.g | 96 Mb/s | 16-CSK | | None |

Tabla 2. Comportamiento del modelo PHY III

Fuente: <http://Autores/.jpg>

1.2.6. Ejecución de longitud para los codificadores limitados

1.2.6.1 Codificación para los modos VPPM

Todos los modos PHY VPPM I deberán utilizar la codificación 4B6B. El 4B6B expande de 4 bits a 6 bits codificados con símbolos de equilibrio DC. Los recuentos de 1 y 0 en cada símbolo codificado VPPM son siempre igual a 3. La Tabla 3 define el código 4B6B.

| 4B (input) | 6B (output) | Hex |
|------------|-------------|-----|
| 0000 | 001110 | 0 |
| 0001 | 001101 | 1 |
| 0010 | 010011 | 2 |
| 0011 | 010110 | 3 |
| 0100 | 010101 | 4 |
| 0101 | 100011 | 5 |
| 0110 | 100110 | 6 |
| 0111 | 100101 | 7 |
| 1000 | 011001 | 8 |
| 1001 | 011010 | 9 |
| 1010 | 011100 | A |
| 1011 | 110001 | B |
| 1100 | 110010 | C |
| 1101 | 101001 | D |
| 1110 | 101010 | E |
| 1111 | 101100 | F |

Tabla 3. Mapping entrada 4B a salida 6B.

Fuente: LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society

Las características del código 4B6B son los siguientes:

- a) Ciclo de trabajo siempre del 50% durante un símbolo codificado.
- b) Código de DC longitud de ejecución limitada.

- c) Capacidad de detección de error.
- d) La longitud está limitada a cuatro.
- e) Permite la recuperación de reloj razonable.

1.2.6.2 Diagrama de referencia del modulador

La figura 9, muestra la configuración del sistema para CSK PHY III con fuentes de luz de tres colores (bandas i, j, y k). Después de la codificación del canal, los datos se transforman en valores xy , de acuerdo con el mapeo la regla sobre el color de coordenadas xy por el bloque de codificación de colores. Las partes PHR y PSDU están sujetos al bloque FEC para la protección contra errores. El PHR se codifica utilizando los parámetros correspondientes a la velocidad más baja de datos para el tipo de reloj que se ha asignado. La secuencia de la estimación de canal se transmite después de la PHR.

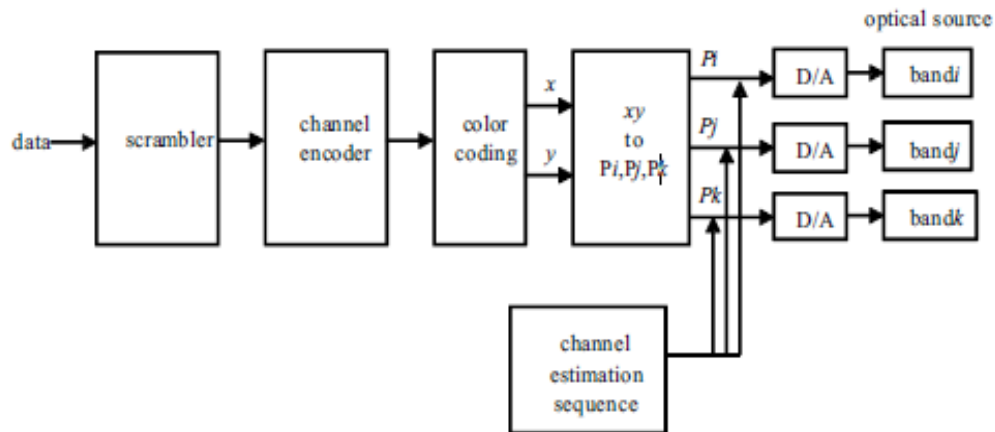


Figura 9. CSK system diagram for PHY III

Fuente: LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society

Como se vio anteriormente el Estándar IEEE 802.15.7, presenta 3 alternativas para un sistema de comunicaciones por luz visible, sin embargo, el gran desafío de los sistemas de comunicación inalámbricas es proporcionar un servicio con alta velocidad de transmisión y calidad.

Otras técnicas de comunicación que se utilizan en las comunicaciones inalámbricas y son muy usadas en LIFI.

(LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, 2016, pág. 09)

1.3 MODULACIÓN OFDM

La modulación OFDM tiene los siguientes pasos, la ráfaga de bits binarios continuos de entrada son mapeados, estos a su vez se modulan ya sea con QAM o PSK en sus diferentes modos, teniendo a su vez símbolos, cada uno de estos símbolos están formados por un número entero de bits.

Teniendo un número de N de símbolos que están en paralelo los que están en dominio de la frecuencia y para pasar al dominio del tiempo se realiza una transformada inversa de Fourier (IFFT).

Para poder enviar se necesita que los datos estén en serie como al principio para indicar de una mejor manera se muestra en la Figura 10 donde está el diagrama de bloques del modulador.

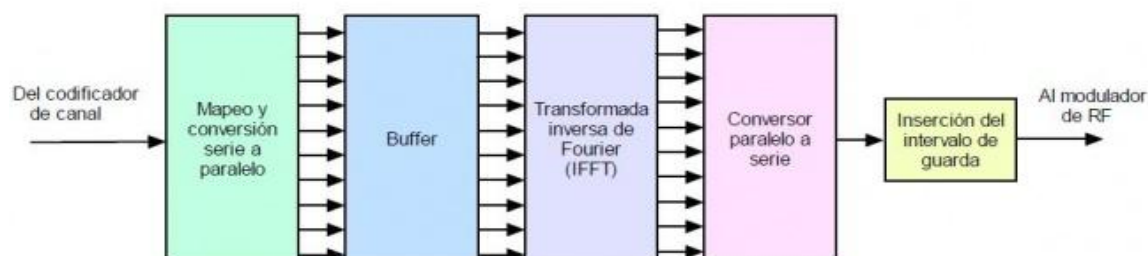


Figura 10. Modulador OFDM

Fuente: http://wikitel.info/wiki/COFDM_MODULACION

La tecnología a la que se hace referencia mediante OFDM (Orthogonal Frequency División Multiplexing) puede ser vista como una colección de técnicas de transmisión. Cuando se aplican en un medio “no cableado”, como es el caso de la radiodifusión, son usualmente denominados OFDM. Sin embargo, en medios “cableados”, el término DMT (Discrete Multitone) es más usual.

1.4 DEMODULACIÓN OFDM

Para demodular correctamente las señales, el receptor debe muestrearlas durante el período útil del símbolo OFDM, no durante el intervalo de guarda. Por consecuencia, la ventana de tiempo debe situarse con precisión en el instante en que se presenta cada símbolo.

Esto equivale, en el caso analógico, a llevar a cabo la demodulación coherente o síncrona en el receptor, es imprescindible que la portadora generada localmente en el receptor sea exactamente de la misma frecuencia y fase de la portadora generada en el transmisor para modular la señal.

Una vez que está en dominio de la frecuencia se demodula aplicando demoduladores QAM o PSK según sea el caso. Finalmente se pasa por un conversor paralelo serie y se realiza un mapeo inverso para obtener la información enviada. De igual manera en la Figura 11, se muestra el demodulador OFDM.

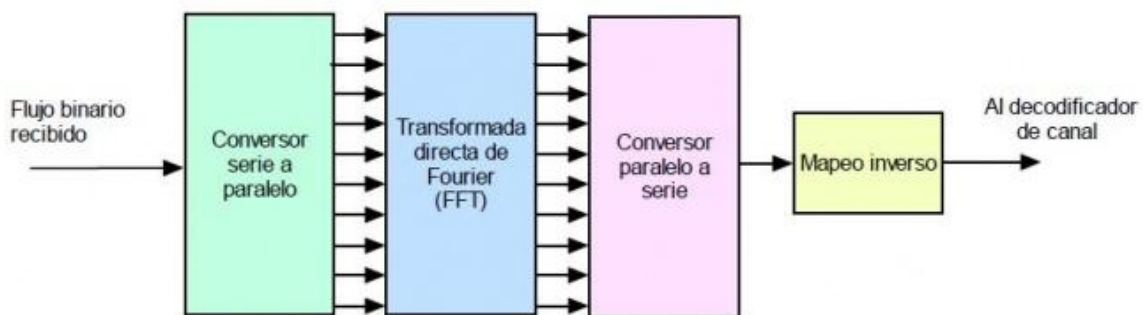


Figura 11. Demodulador OFDM

Fuente: http://wikitel.info/wiki/COFDM_MODULACION

1.5 Modulación Óptica

Se basa en las comunicaciones ópticas inalámbricas (OWC⁴), como su nombre lo indica está formada por un emisor que la fuente de luz, enviará la información, por un receptor que captará las diversas intensidades de luz y por el medio que en este caso es el espacio libre.

⁴ Optical Wireless Communications

La modulación óptica tiene su papel fundamental en modular la portadora óptica con la señal de información, variando su intensidad, frecuencia, fase o polarización.

Pero la más utilizada y en especial para las comunicaciones por luz visible es la modulación por intensidad (IM) en el emisor y el detector directo (DD) en la parte del receptor. Una de las diferencias entre los sistemas ópticos con OFDM y el convencional OFDM, el transmisor sólo envía señales positivas y reales a diferencia del tradicional OFDM en banda base, que está formado por señales negativas e imaginarias.

(researchdesignlab, 2014, pág. 30)

1.6 ELEMENTOS ÓPTICOS EN LI-FI PARA TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN

1.6.1 MATRIZ DE LEDS

En el corazón de esta tecnología, una nueva generación de diodos emisores de luz de alto brillo. Es muy simple, si el LED está encendido, el usuario puede transmitir una cadena digital de 1, si está apagado entonces el usuario puede transmitir una cadena de 0. Se puede activar y desactivar muy rápidamente, lo que le da la oportunidad inmediata para la transmisión de datos a alta velocidad.

Los cambios sutiles de intensidad de luz es posible ser detectados por una codificación binaria.

La matriz de LEDS es un instrumento dentro de un bloque que constituye una comunicación a través de la luz visible, la información binaria se envía a una matriz de leds. En la figura 12 se puede mostrar un ejemplo de matriz de leds.

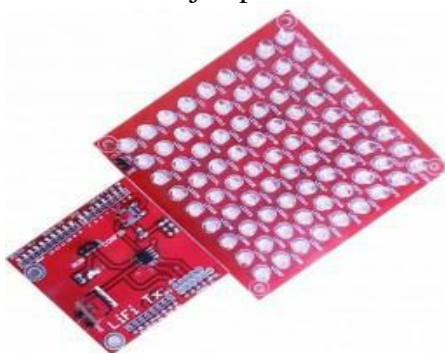


Figura 12. Matriz de leds.

Fuente: https://sites.google.com/site/alehering/2_1283430_3_2006227-8-22-1.jpg

La Matriz LED de 8×8, está compuesta por 64 LED de 3mm, en color blanco. Internamente los LED, están montados con cátodo común dentro de un encapsulado sólido de fibra de vidrio para protegerles. Algunas de las principales características de las matrices LED 8x8 se describen a continuación:

- Voltaje de Trabajo: 4.7 -5.3 V
- Tensión típica: 5 - 12 V
- Consumo de corriente: 320mA
- Corriente de trabajo máxima: 2A
- Temperatura: 0 -50 °C
- Temperatura de trabajo: 25 (Peñafiel Peñafiel, 2015)

1.6.2 USBASP.

USBasp es un programador específicamente para microcontroladores AVR ATMEL, el programador utiliza un controlador USB-firmware, el cual le permite al usuario cargar el programa al microcontrolador, caso contrario si no lo posee este controlador instalado en su ordenador tendrá dificultades al momento de cargar el programa al microcontrolador, en la figura 13 se puede observar al programador USB.

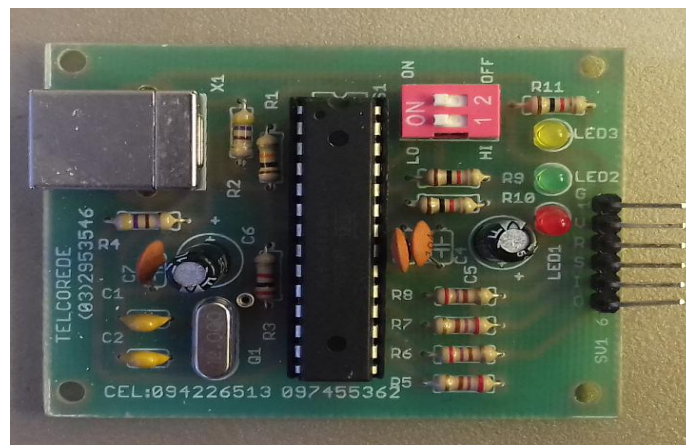


Figura 13. Programador USB para AVR's

Fuente: Los Autores

1.7 MICROCONTROLADOR

Un microcontrolador, es un circuito integrado de alta escala de integración posee la arquitectura de un computador, esto es CPU⁵, memorias RAM⁶, EEPROM⁷, y circuitos de E/S. (Reyes, 2006)

1.7.1 MICROCONTROLADOR ATMEGA164P

El ATmega164P figura 14 es un microcontrolador de tipo CMOS⁸ de baja potencia de 8 bits basado en la arquitectura RISC⁹. En un solo ciclo de reloj, el ATmega164P logra rendimientos de 1 MIPS¹⁰ por MHz, permitiendo al sistema la optimización del consumo de energía en comparación con la velocidad de procesamiento. (Atmel Corporation, 2013)



Figura 14. Microcontrolador ATmega164P

Fuente: Autores

⁵ Unidad de procesamiento central.

⁶ memoria de acceso aleatorio

⁷ ROM programable borrable

⁸ Semiconductor complementario de óxido metálico.

⁹ Reduced Instruction Set Computer.

¹⁰ Millones de instrucciones por segundo

Las características (figura 15) que le hacen ser al microcontrolador ATmega164P robusto es por poseer, 64 Kbyte en memoria Flash, 2 Kbyte en memoria EEPROM y 4 Kbyte en memoria RAM, y lo más importante, es capaz de realizar sentencias y órdenes establecidas en su memoria. Por tal motivo el ATmega164P es el encargado de ejecutar las funciones de los elementos controlados como son los sensores de temperatura, humedad y lúmenes, su capacidad de procesamiento y memoria, son los indicados para la administración y ejecución de los datos, con el cumplimiento de las funciones.

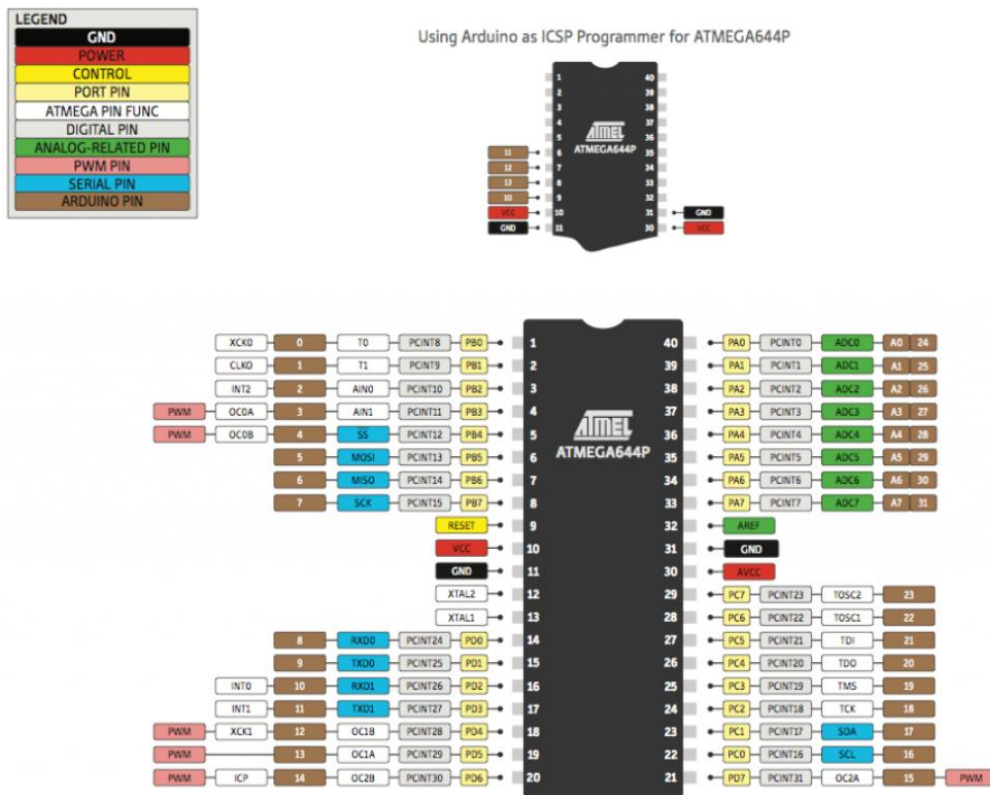


Figura 15. Distribución de pines del ATmega

Fuente: www.pighixx.com

1.8 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN BASCOM-AVR.

BASCOM-AVR, es una plataforma de programación exclusiva para microcontroladores ATMEL, BASCOM-AVR utiliza el lenguaje de programación BASIC, permitiendo al

usuario desarrollar el prototipo a base de instrucciones, de acorde a la necesidad del diseño electrónico, permitiendo así la comunicación entre el microcontrolador y el usuario.

Bascom es una herramienta para PC que le permitirá realizar las siguientes aplicaciones:

- Escribir programas en Basic
- Traducir estos programas en la PC para código máquina (un formato que el controlador puede ejecutar en AVR).
- Simular el código compilado
- El uso de programas externos de flash ("programa"), el código compilado en microcontrolador de un AVR Atmel.

Lo bueno de Bascom es que se puede empezar con una versión libre Bascom, y descargar el Bascom-AVR Demo Zip-file), cuyo único límite es la 4k tamaño del código generado (esto fue 2k hasta 2005).

Bascom permite crear rápidamente prototipos porque se ha incorporado soporte para casi todos los microcontroladores AVR características tales como:

- Contadores / temporizadores
- UART
- ADC
- PWM
- I2C

Además, soporta gran cantidad de periféricos, tales como:

- Botones
- LCD de alfanuméricos
- LCD Gráficos
- PS / 2 para teclado
- Control remoto por infrarrojos

Es sobre todo este apoyo que hace que el uso de Bascom atractivo en términos de tiempo ahorrado.

1.8.1 AVR

AVR es una familia de microcontroladores de 8 bits con una amplia gama de variantes diferentes en:

- Tamaño del programa de la memoria (flash)
- Tamaño de la memoria EEPROM
- Número de pines I / O
- Número de servicios tales como características de los chips UART y ADC
- Paquete de formularios.

El más pequeño es el microcontrolador ATTINY11 con 1k flash y 6 pines I / O. The largest is the ATMEGA256x with 256k flash, 54 I/O pins and lots of on-chip features.

El microcontrolador ATMEGA256x es el más grande con 256K flash, 54 pines I / O y muchas de las características del chip.

La arquitectura de los AVR fue concebida por dos estudiantes en el Norwegian Institute of Technology, y posteriormente refinada y desarrollada en Atmel Norway, la empresa subsidiaria de Atmel, fundada por los dos arquitectos del chip.

El acrónimo AVR fue reportado como Advanced Virtual RISC, el set de instrucciones de los AVR es más regular que el de la mayoría de los microcontroladores de 8-bit

Todos los controladores tienen el AVR RISC mismo como conjunto de instrucciones, que permite portar bastante fácil de los programas de Bascom entre los tipos de microcontroladores. Al ejecutar una instrucción por ciclo de reloj haciéndola sensiblemente más rápido que los 8 bits comparables 4 ciclos de reloj por cada instrucción de los controladores de Microchip PIC. (Guijarro, 2009, pág. 7)

1.9 PROG ISP

Este programa se utiliza para grabar los programas generados por el BASCOM AVR, tanto en el microcontrolador del circuito emisor como del circuito receptor.

En la figura 16 se muestra la pantalla principal de los fuses por defecto del PROGISP.

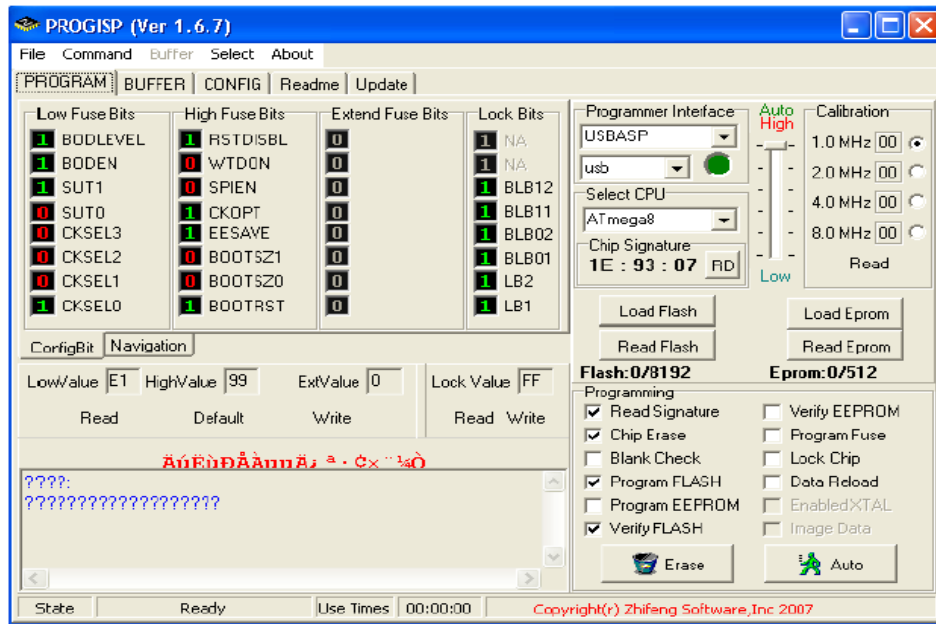


Figura 16. Pantalla principal del PROGISP

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4535/1/CD-4157.pdf>

Para grabar la programación en el microcontrolador se tiene que configurar el programador PROGISP dentro del computador para los microcontroladores que se utilizará tanto del circuito emisor como del receptor. ("Solís Alulima, CD-4157, 2012, pág. 114)

1.10 ORCAD LAYOUT PARA WINDOWS

OrCad es un conjunto de programas y herramientas de CAD (Computer Aided Design) para el desarrollo de proyectos electrónicos, abarcando los distintos aspectos del diseño asistido. Básicamente el diseño de proyectos electrónicos consta de tres fases: el dibujo del esquema, la simulación, y el diseño del circuito impreso.

En el programa de ORCAD se dispone de varios íconos, que se van a reducir a dos para una mejor utilización: “Capture” y “Layout”.

En el entorno de Windows, facilita un tanto el trabajo ya que se trata de un conjunto de aplicaciones de entorno visual y de fácil manejo. En la figura 17 se muestran los controles característicos de un entorno visual: botones, menús desplegables, casillas de selección, cajas de diálogo, etc., de ahí su facilidad de manejo.

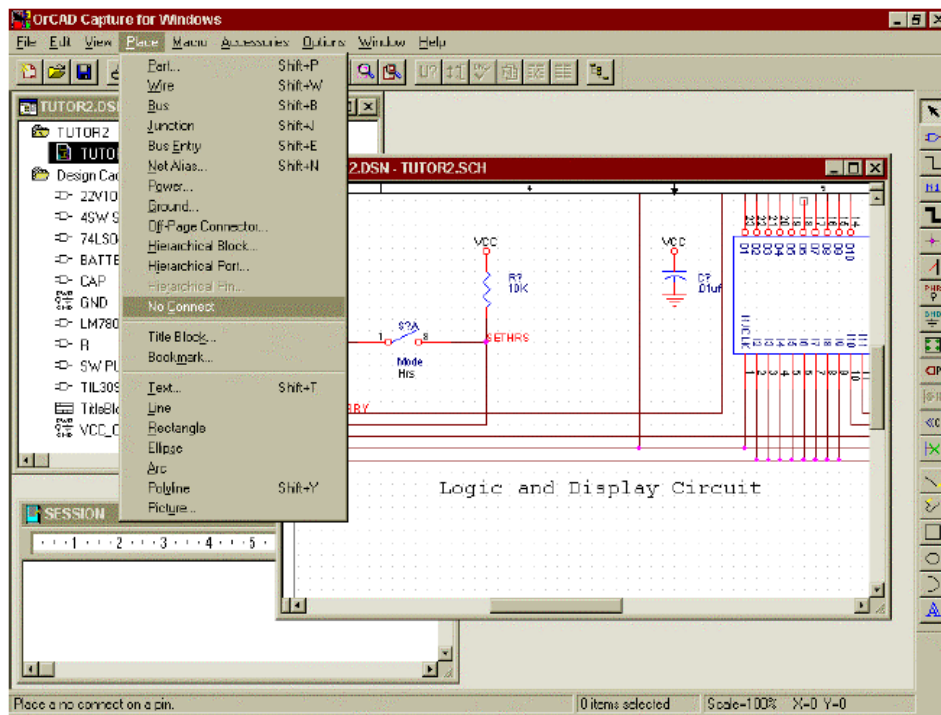


Figura 17. Capture Orcad 7.0

Fuente: <http://www.cartagena99.com/recursos/electronica/apuntes/OrCAD7.0.pdf>

El OrCAD Layout es una herramienta bastante potente a la hora de trazar las pistas en el diseño de PCBs al disponer de muchas funciones de enorme utilidad que están integradas, además, en un entorno familiar como es el Sistema Operativo Windows.

Con él se puede, diseñar placas, imprimirla sobre cualquier tipo de soporte y por tanto tenerla lista para ser implementada en una placa de circuitos impresos (PCBs). (Valls, 2000, pág. 3)

1.11 CIRCUITO INTEGRADO LM358

Tiene una amplia utilidad en diversos campos de la Electrónica y es un circuito de fácil implementación.

Consiste en dos circuitos independientes que se encuentran dentro del encapsulado que compensan la frecuencia del amplificador operacional y cada uno opera como suplemento de poder que operan a diferente rango de voltaje, el drenaje es posible también bajo las operaciones de fuerza independientemente de la magnitud del suministro de voltaje, su diagrama es de fácil implementación. En la figura 18 se puede ver los circuitos independientes del amplificador operacional.

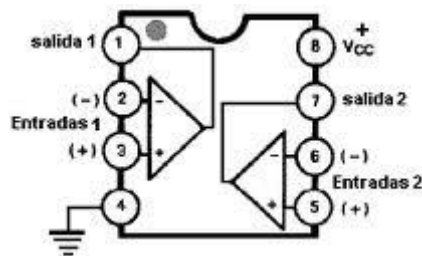


Figura 18. Diseño interno de LM358

Fuente: [http:// https://www.ecured.cu/Circuito_integrado_LM358](http://https://www.ecured.cu/Circuito_integrado_LM358)

Características:

- Acoplador de impedancia y Ganancia de frecuencia.
- Pasee una ganancia de 100dB.
- Gran ancho de banda.
- Entre rango de voltaje de modo común incluye tierra.
- Oscilación de voltaje de salida grande: 0V DC a vcc control -1.5V.

(EcuRed, 2012)

1.12 OSILADOR DE CUARZO

El oscilador es utilizado como una fuente de reloj, en otras palabras, como un tipo de “ritmo musical” que el microcontrolador usa para ejecutar el código en cierta manera. Sin un reloj,

el microcontrolador no sabe cómo correr el código, y con un reloj irregular (uno que varíe mucho) el código correrá con un paso indeterminado.

Existen varios tipos de osciladores que se utilizan en los microcontroladores:

- RC Externo. - Generalmente usado para aplicaciones de bajo costo. Utiliza un resistor y un capacitor, la razón de carga/descarga puede ser usada como un reloj de entrada.
- RC Interno. - El propio microcontrolador puede generar su propio reloj.
- Oscilador Externo. - Es usado de forma estándar se conecta un cristal de cuarzo (abreviado como cristal o XTAL) a los dos pines OSC y el código se ejecutará a la frecuencia entregada.
- Reloj Externo. - Es utilizado en vez de un oscilador, y se puede ocupar un generador de pulsos de reloj, que es ocupado cuando se necesita que múltiples componentes corran con la misma frecuencia.

El oscilador externo es la más utilizada figura 19, generalmente los osciladores de cristal de cuarzo vienen para diferentes frecuencias. Algunas de las frecuencias más típicas son de 30MHz, 20MHz, 16MHz, 10MHz y 4MHz.



Figura 19. Osciladores de cuarzo

Fuente: Autores

El oscilador de cuarzo está constituido generalmente por un pequeño cristal de cuarzo cortado con precisión para que la pieza de cristal vibre a una frecuencia específica de allí su nombre. El cristal es un elemento absolutamente pasivo que requiere algún mecanismo externo para volverse un “oscilador”. Lo cual conlleva a la utilización de condensadores de carga. (Seidle , 2008)

1.13 REGULADOR DE VOLTAJE LM7805

El regulador LM7805 es un dispositivo electrónico que permite la limitación del voltaje, permitiendo obtener un voltaje de salida de +5VDC, independiente al voltaje de entrada. En la figura 20 se muestra la configuración del regulador de voltaje LM7805.

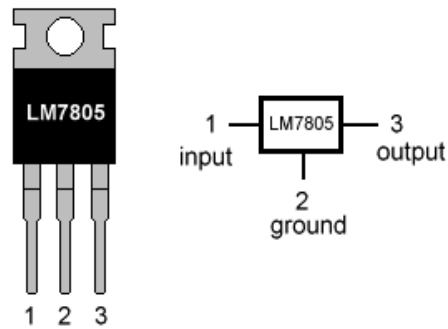


Figura 20. LM7805 Regulador de voltaje 5VCC

Fuente: Los Autores

El regulador LM7805 pertenece a la familia de la serie de LM78XX, son muy utilizados en el desarrollo de sistemas empotrados por su versatilidad como regulador lineal, además con el disipador correcto se puede obtener la mayor eficiencia en corriente de estos dispositivos, los LM78XX posee protección por sobrecarga térmica y cortocircuitos.

A continuación, en la tabla 4 se muestra los reguladores existentes de la familia LM78XX.

La figura 20, muestra al regulador con sus pines, el cual permite la salida de voltaje según el encapsulado; los pines están enumerados desde el lado izquierdo con el número uno, siempre y cuando la inscripción del encapsulado de hacia el usuario; la forma de polarizar para su correcto funcionamiento es el siguiente:

- Pin número 1.- Pin de entrada de voltaje (input), el cual soporta el ingreso de tensión eléctrica de acuerdo a la tabla de especificaciones antes mencionado.
- Pin número 2.- Pin tierra común.
- Pin número 3.- Pin de voltaje de salida.

| Designación | Voltaje de entrada | Voltaje de salida |
|-------------|--------------------|-------------------|
| LM7805 | 7-25 | 5 |
| LM7806 | 8-25 | 6 |
| LM7808 | 10,5-25 | 8 |
| LM7809 | 11,5-25 | 9 |
| LM7810 | 12,5-25 | 10 |
| LM7812 | 14,5-30 | 12 |
| LM7815 | 17,5-30 | 15 |
| LM7818 | 21-33 | 18 |
| LM7824 | 27-38 | 24 |

Tabla 4. Reguladores LM78XX

Fuente: Los Autores

1.14 PROTOCOLO DE TRANSFERENCIA DE FICHEROS KERMIT

Se trata de uno de los más conocidos y antiguos protocolos de transferencia de archivos, creado en la universidad estadounidense de Columbia por Frank Da Cruz, un estudiante inspirado en la rana Kermit de Los Teleñecos, a principios de los años 80.

Kermit fue planificado concienzudamente, pensando en el futuro (con la entonces llamada compatibilidad universal), con posibilidades de expansión y una gran sencillez al enviar grupos de archivos. No tiene ciertas restricciones de XModem. Aunque es mucho más complejo en su diseño y sustancialmente más lento. Al igual que este último, está basado en el envío de un bloque o paquete pasando a la espera de la confirmación de su correcta recepción realizándose ésta con más de un carácter al contrario que XModem que sólo utiliza un octeto. Su lentitud es debida a que envía pequeños bloques de datos, entre 10 y 96 octetos cada uno, con varios caracteres de empaquetado además de encapsular bastantes caracteres (ASCII o no) siendo posteriormente expandidos en dos. Dispone de una sólida verificación de errores y está preparado para enviar archivos con sus nombres, fechas y horas sin alterar sus tamaños. Sin embargo, su método de compresión de datos es sencillo

recuperando la eficacia perdida con los caracteres de control. Su rendimiento oscila entre el 50% y el 66% del que ofrece XModem¹¹.

Posteriormente se han desarrollado varias versiones de este protocolo siendo las dos siguientes las más divulgadas. La versión Sliding Windows Kermit (Kermit de ventanas deslizantes) es muy útil cuando el tiempo de respuesta es lento sobre todo en transferencias a largas distancias y está basada en la eliminación del sistema original de envío/espera que decreta su rendimiento.

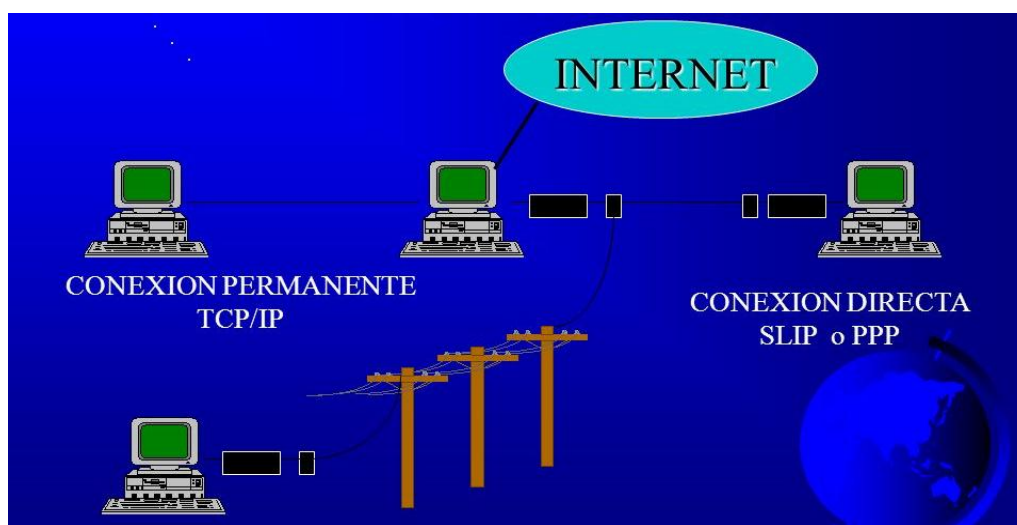


Figura 21. Conexión como terminal Kermit o XModem.

Fuente: <http://www.oocities.org/surplas44/examen99/respuesta10.htm>

Por su parte, el "Kermit de paquetes grandes" amplió el diminuto bloque de datos original hasta los 9.216 octetos (9 Kb) contribuyendo a aumentar eficientemente su velocidad. En la figura 21 muestra un modelo de conexión como terminal Kermit o XModem

Uso:

No está restringido a microordenadores sino todo lo contrario ya que es uno de los protocolos más utilizados en grandes computadoras (mainframes) debido a su demostrada compatibilidad. (euskalnet, 2013)

¹¹ Protocolo de transferencia de archivos desarrollado por Ward Christensen para ser usado en su programa terminal

1.15 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN SPI

El protocolo SPI es un estándar de enlace de datos seriales sincronizados por un reloj que operan en modo full dúplex (figura 22). Los dispositivos se comunican en modo maestro/esclavo donde el dispositivo maestro inicia el data frame (trama de red o marco de datos). Múltiples dispositivos esclavos están permitidos en líneas Slave Select (SS) individuales. (López Pérez, 2005).

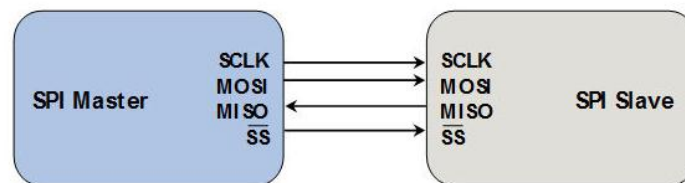


Figura 22. SPI Master-Slave

Fuente: Los Autores

Las ventajas que se puede mencionar con la utilización del protocolo SPI son varias, algunas de ellas son:

- Mayor velocidad de transmisión que con I²C.
- Consume menos energía, debido que posee menos circuitos como son las resistencias pull-up utilizadas en I²C.
- Los dispositivos clientes usan el reloj que envía el servidor.
- Protocolo flexible en que se puede tener un control absoluto sobre los bits transmitidos.

1.16 VISUAL BASIC 6.0

Visual Basic es uno de los tantos lenguajes de programación que se puede encontrar hoy en día. Es un diseñador de entorno de datos: Es posible generar, de manera automática, conectividad entre controles y datos mediante la acción de arrastrar y colocar sobre formularios o informes.

Los Objetos Actives son una nueva tecnología de acceso a datos mediante la acción de arrastrar y colocar sobre formularios o informes.

En las aplicaciones HTML: Se combinan instrucciones de Visual Basic con código HTML para controlar los eventos que se realizan con frecuencia en una página web.

La Ventana de Vista de datos proporciona acceso a la estructura de una base de datos. Desde esta base también el diseñador tiene acceso de Consultas y diseñador de Base de datos para administrar y registros.

Visual Basic 6.0, salido a mediados de 1998, muy mejorado, incrementó el número de áreas e incluyó la posibilidad de crear aplicaciones basadas en Web. Microsoft retiró el soporte de VB6 en marzo de 2008, pero a pesar de ello las aplicaciones que genera son compatibles con plataformas más modernas, como Windows Vista, Windows Server 2008, Windows 7 y Windows 8.3 4

El soporte estándar para Microsoft Visual Basic 5.7 finalizó el 31 de marzo de 2005, pero el extendido terminó en marzo de 2008.

Los compiladores de Visual Basic generan código que requiere una o más librerías de enlace dinámico para que funcione, conocidas comúnmente como DLL (sigla en inglés de Dynamic-Link Library). (WIKIPEDIA, 2016)

1.17 HYPERTERMINAL PARA WINDOWS

Hyperterminal es una aplicación de Windows que le permite establecer una comunicación ordenadora a ordenador a través de una conexión telefónica convencional o por puerto serial.

Las comunicaciones no son del tipo de las empleadas para conectarse a Internet, sino las que se usaban antes del gran auge de Internet para conectar un ordenador a un sistema remoto BBS, o a otro ordenador personal, a través de una llamada telefónica convencional, permitiendo que a través de los dos ordenadores conectados puedan mantener una conversación "on line", e incluso transferirse ficheros, usando para éste último caso el protocolo de transferencia de ficheros Z-módem, uno de los protocolos que más empleo tiene en este tipo de comunicaciones entre ordenadores para la transferencia de ficheros sobre conexiones telefónicas. En la figura 23 se puede ver un ejemplo de la conexión de Hyperterminal.

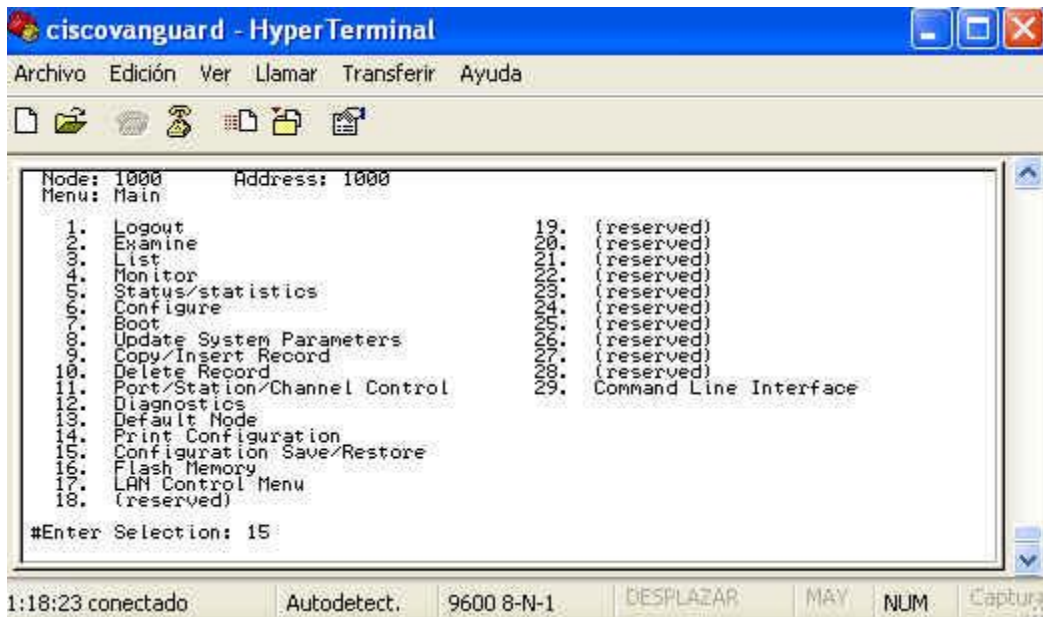


Figura 23. Conexión de Hyerterminal

Fuente:http://hera.cnice.mec.es/redes2/contenido/Pdf/mod2_configuracion_B.pdf

A partir del sistema operativo Windows 98, Hyperterminal también tiene la función de programa cliente Telnet, lo que le permite conectarse a través de Internet a servidores que soporten el protocolo Telnet, operando a través de la conexión establecida muy similarmente a si la conexión fuera a través de una llamada telefónica convencional.

No es necesario utilizar Hyperterminal para tener acceso a archivos e impresoras que forman parte de las redes de área local (LAN) o de la red de área extensa (WAN).

En la figura 24 se establece el procedimiento para establecer una sesión de Hyperterminal. (cnice, 2003, pág. 8)

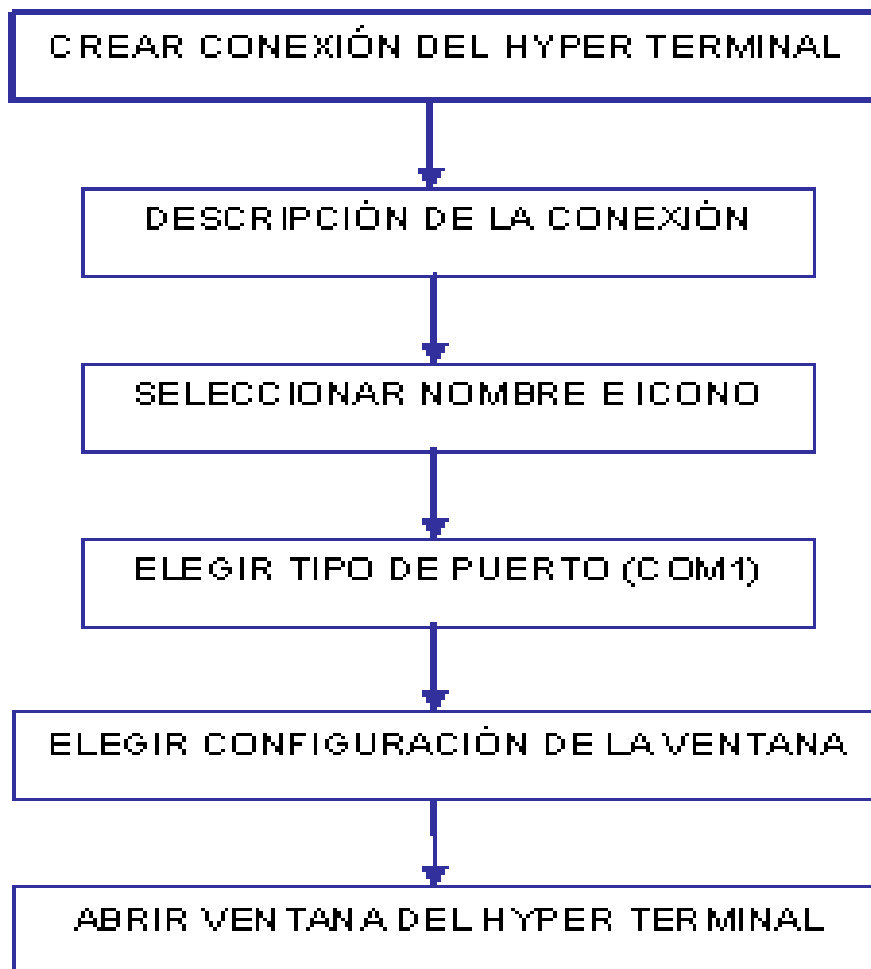


Figura 24. Configuración de Hyperterminal

Fuente:http://hera.cnice.mec.es/redes2/contenido/Pdf/mod2_configuracion_B.pdf

CAPÍTULO II

2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 TIPO DE ESTUDIO.

El estudio es de tipo experimental, ya que se realiza un prototipo de un sistema de comunicación LIFI, con el fin de analizar, y comparar el rendimiento con la red WIFI.

Es de tipo inductivo descriptivo, a partir de un experimento controlado se busca generalizar sus resultados y comparar con una red convencional.

2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

2.2.1 POBLACIÓN

La población está formada por los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Chimborazo.

2.2.2 MUESTRA

Para determinar el tamaño de la muestra se toma la velocidad de comunicación de datos para poder realizar un análisis comparativo con la red convencional.

2.2.3 HIPÓTESIS

¿Con el diseño y la implementación de esta red se puede comparar la eficiencia, rendimiento y la comunicación que ofrece la red LI-FI en cuanto a la red WI-FI?

2.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La tabla 5 indica la operacionalización de variables.

| VARIABLES | CONCEPTO | INDICADORES | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|--|--|---------------------------|--|
| DEPENDIENTE Análisis y comparación del rendimiento de las redes luminosas LIFI | Permite establecer parámetros para poder comparar las dos comunicaciones y trabajar en el rendimiento de las mismas. | Wi-Fi | Red convencional |
| | | Li-Fi | Datasheets de materiales y programación BASCOM-AVR |
| INDEPENDIENTE Implementación de la red LIFI. | Establecer la tecnología más adecuada de red | Velocidad de comunicación | Cronometrar tiempos |
| | | Paquetes de transmisión | Verificar envío de archivos |
| | | Paquete de recepción | Verificar la recepción de archivos |
| | | Paquetes Perdidos | Comprobar los archivos enviados con los recibidos |
| | | Tiempo de transmisión | Cronometro |

Tabla 5. Operacionalización de variables

Fuente: Los Autores

2.4 PROCEDIMIENTOS

Para el desarrollo de ésta comunicación LIFI, se debe seguir una serie de pasos, que permitirá conocer el alcance del prototipo y así llegar hacia cada uno de los objetivos planteados, además permite conocer el orden cronológico del diseño y funcionamiento de una comunicación LIFI.

2.4.1 DISEÑO DE CIRCUITO ELECTRÓNICO Y PCB PARA EL TRANSMISOR.

2.4.1.1 DISEÑO DEL REGULADOR DE VOLTAJE PARA EL CIRCUITO.

Para el correcto funcionamiento de los módulos se utiliza siempre reguladores de voltaje los cuales debe utilizar capacitores. La figura 25, muestra como el capacitor C_3 es de $0.10 \mu\text{F}$, este capacitor es requerido cuando la fuente de tensión es una fuente VCD a mayor rango de los 5VCD y el capacitor C_2 tiene el valor de $1000 \mu\text{F}$ se lo debe colocar para que la fuente brinde un voltaje de 12VCD para iluminar la matriz LED. En la figura 25 se puede observar el modelo de regulador utilizado en el prototipo.

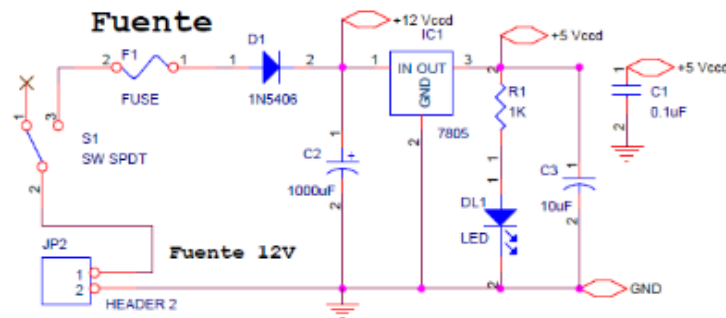


Figura 25. Regulador de voltaje

Fuente: Los Autores

- Calculo del capacitor

Para el cálculo del capacitor se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = \frac{i_L}{V_r f} = \frac{V_m}{R_L V_r f}$$

V_m = Voltaje máximo (Soporta voltaje de entrada del LM7805) .

R_L = Resistencia de carga. = 714[Ω]

V_r = Frecuencia de la red eléctrica = 60[Hz].

f = Valor del ripple o rizo = 2

$$R_L = \frac{25}{35[mA](max. consumo del micro)} = 714[\Omega]$$

$$C = \frac{25[V]}{714[\Omega] \cdot 60[Hz] \cdot 2}$$

$$C = 290\mu F$$

2.4.1.2 PUERTO COM SERIAL SOBRE USB DE VELOCIDAD BAJA (AVR-CDC)

Para utilizar el puerto en la Pc, es necesario instalar un controlador de dispositivo en la PC para utilizar "USB a RS-232C" que es un dispositivo de conversión. La aplicación de PC es capaz de acceder al dispositivo como un puerto COM, a través del controlador.

Los principales sistemas operativos admiten el protocolo **CDC (Communication Device Class)** en su pila USB para utilizar la comunicación RS-232C, ya que permite a la PC acceder al dispositivo CDC a través del puerto COM virtual, sin necesidad de desarrollar un controlador propio, por lo tanto, se puede acceder al puerto con ésta opción.

CDC es una clase que define varias comunicaciones a través de USB. El procedimiento RS-232C se incluye en la subclase CDC-ACM (modelo de control abstracto). Utiliza dos tuberías de transferencia en masa para los datos, y una tubería de interrupción para el mensaje, además de una tubería de control. También se define el mecanismo que configura los ajustes de terminal (baudrate, bit de paridad, etc.) al dispositivo. En el estándar USB, se permite que el dispositivo de baja velocidad (1.5Mbps) tenga dos tubos de interrupción solamente. En el caso de utilizar la transferencia masiva o el uso de un número de tuberías excedido, algún controlador o concentrador de host transmite paquetes a intervalos críticos y el dispositivo V-USB no responde. Para reducir este problema, un controlador de parche pequeño ayuda a las operaciones de protocolo en Windows. En la figura 26 se observa el procedimiento para una conexión serial - USB

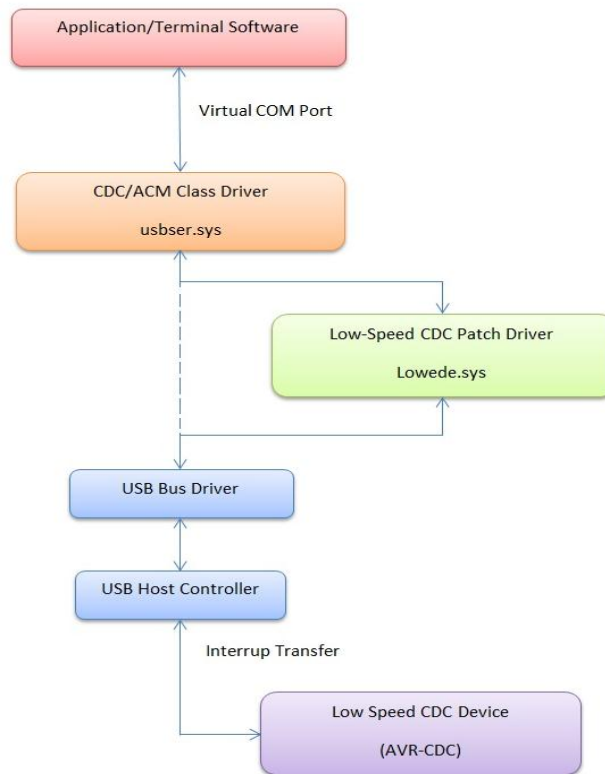


Figura 26. Filtro de parche para Windows XP / Vista / 7.

Fuente: Los autores

El sistema Windows (figura 26) tiene un controlador de protocolo CDC (usbser.sys) para generar el puerto COM virtual, sin embargo, requiere un archivo que se le denomina "Configuración de información" en la primera conexión, este controlador de parche se llama **lowcdc.sys**.

La transferencia masiva de baja velocidad funciona principalmente en Windows XP y Windows 7, pero a veces bloquea la transferencia en algunos controladores o concentradores host. Además, esta transferencia no está permitida en Windows Vista. Este parche desactiva el canal de interrupción que se utiliza para el informe de estado y cambia la configuración de la tubería de interrupción y de volumen en el proceso de configuración inicial.

VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA

Los parámetros RS-232C del dispositivo (baudrate, bit de prity, tamaño de datos, etc.) se configuran automáticamente desde la aplicación de PC. Sin embargo, la velocidad de transferencia depende del modo de transferencia del USB, y puede ser más lenta que la velocidad en baudios configurada. El paquete contiene ocho bytes de datos. En la tabla 6 se define la velocidad de datos de la siguiente manera:

| Transfer mode | Packet interval | Transfer speed | Baudrate |
|---------------|-----------------|----------------|-----------|
| Bulk | 125uS - | 8KB / Sec | 57600 bps |
| Interrupt | 8mS - | 1KB / Sec | 9600 bps |

Tabla 6. Velocidad de datos para un paquete de 8 bytes

Fuente: <http://www.recursion.jp/prose/avrcdc/driver.html>

2.4.1.3 DISEÑO DE LA PLACA

Para el diseño de la placa se va utilizar el software programador **Orcad** para Windows, el programa de ORCAD se dispone de varios íconos, que se van a reducir a dos para la utilización: “Capture” y “Layout”.

En el entorno de Windows facilita un tanto el trabajo ya que se trata de un conjunto de aplicaciones de entorno visual y de fácil manejo. Se Utiliza los controles característicos de un entorno visual: botones, menús desplegables, casillas de selección, cajas de diálogo, etc., de ahí su facilidad de manejo.

El Capture de OrCAD para Windows es un entorno de diseño electrónico potente con la facilidad de uso que proporciona la interface Windows, cuando se inicia una sesión con el Capture, se puede empezar abriendo o creando tanto una librería de componentes como un diseño.

Con OrCAD Layout (figura 27) se pudo trazar las pistas en el diseño de PCBs al disponer de muchas funciones de enorme utilidad que están integradas, además, en un entorno familiar como es el Sistema Operativo Windows.

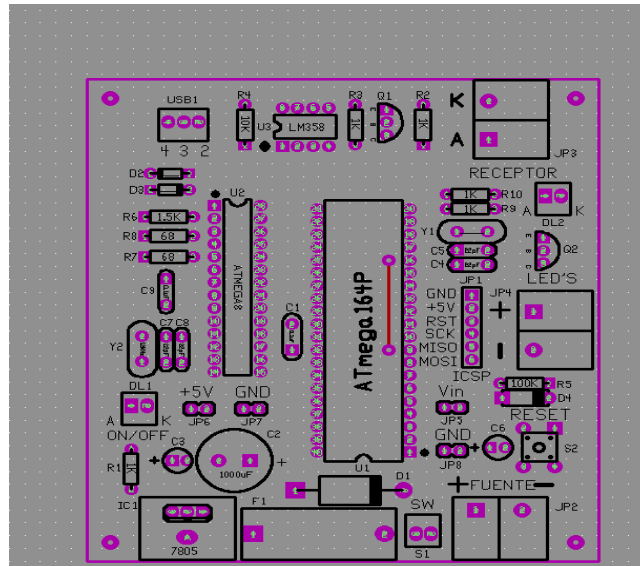


Figura 27. Trazado de pistas realizadas por el programa OrCAD

Fuente: Los Autores.

2.4.2 DISEÑO DE CIRCUITO TRANSMISOR

2.4.2.1 DISEÑO DEL TRANSMISOR POR LUZ VIUSIBLE.

El corazón de esta tecnología, es principalmente la matriz de los diodos emisores de luz de alto brillo, la base de funcionamiento se resume a que, si el LED está encendido, el usuario puede transmitir una cadena digital de 1, si está apagado, entonces el usuario puede transmitir una cadena de 0.

Se puede activar y desactivar muy rápidamente, por lo que proporciona una oportunidad instantánea para transmitir en este caso se está transmitiendo a 4800 baudios.

Es posible codificar datos en la luz variando la velocidad a la que los LED'S parpadean ON y OFF para pasar diferentes cuerdas de 1s y 0s. La modulación puede ser tan rápida que el ojo humano no puede percibir.

Los componentes del sistema de comunicación son:

- Una matriz de LED'S blancos de alto brillo que actúa como fuente de comunicación.
- Diodo de la foto del silicio que demuestra la buena respuesta a la región visible de la longitud de onda.
- La iluminación LED puede utilizarse como fuente de comunicación mediante la modulación de la luz
- La señal de datos de la luz LED parece ser continua para el ojo humano debido al rápido parpadeo.
- La velocidad de datos alta puede lograrse usando un LED de alta velocidad en donde para ser transmitido, el programa realiza el trabajo de multiplexación de paquetes.
- Cada LED que compone la matriz, transmite a diferentes velocidades de datos que se pueden incrementar de acuerdo a la intensidad de luz que exista.

2.4.2.2 DISEÑO DEL DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL TRASMISOR.

Como se puede observar en la figura 28, se tiene a la fuente regulable para 12 VCD exclusivamente para la matriz de LED'S y 5 VCD. Para alimentar a los diferentes microprocesadores.

En el ATMEGA8 se tiene una conexión al Pc, a través de una comunicación serial-USB que hará su ingreso a los pines 4 (INT0) y 5 (INT1), del microprocesador ATEMEGA8.

En la salida del pin 3 que es el transmisor, se conecta al microprocesador ATEMEGA 164P que realizará mediante programación previa la modulación y transmisión de datos a través del haz de luz.

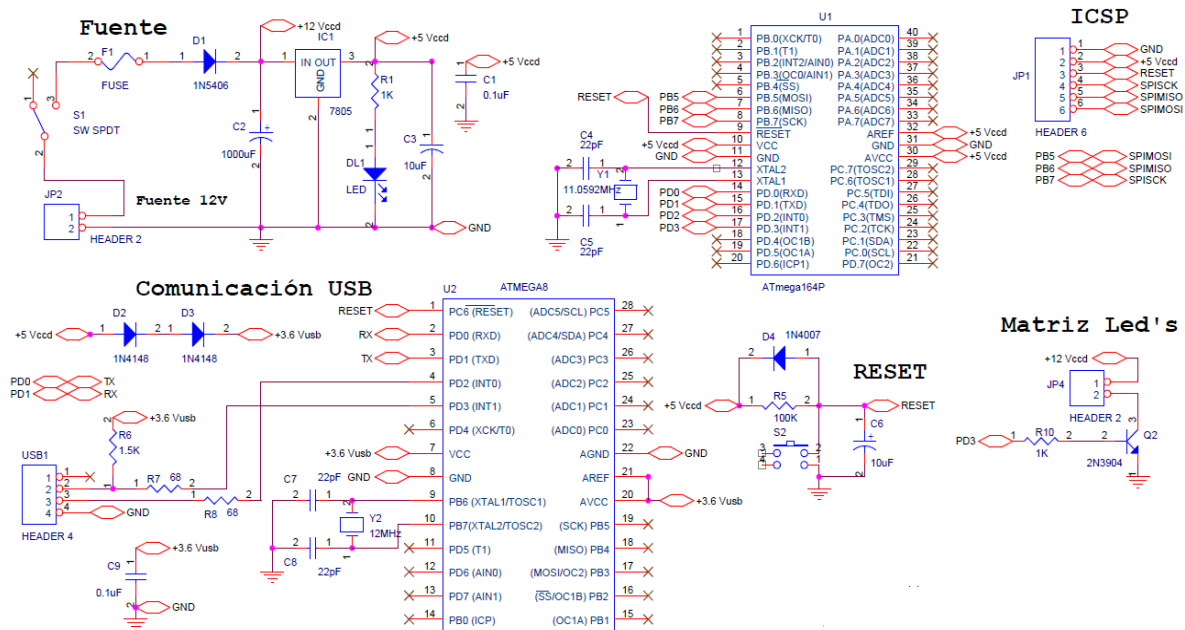


Figura 28. Diagrama esquemático del tx LIFI

Fuente: Los Autores

2.4.2.3 DISEÑO DEL RECEPTOR LIFI

Se utiliza el sensor optoelectrónico de silicio 3DUOC (figura 29), como un explorador de punto luminoso energético el sensor palpa y refleja la luz. La cantidad medida a través del fototransistor depende del color, de la luz, así como de la estructura superficial y de la distancia a la que está del transmisor. Para tener una comunicación excelente (visualización de datos) es recomendable trabajar a 50 cm de distancia máxima el transmisor con respecto al receptor.

Hay que tomar en cuenta que la luz que emiten fuentes de luz ajenas y que llega al receptor. A través de una luz emisora modulada en la gama KHz, los sensores son principalmente resistentes ante luz ajena, mientras no se sobrepase el límite superior de luz ajena con la luz del emisor. Es posible que la reserva de función que es la medida para la cantidad de radiación que llega al receptor de luz, debido a que con el tiempo se ensucia la óptica o modificaciones surgidas en las cualidades de reflexión del sensor, la reserva de función

puede disminuir con el tiempo. Si la reserva de función es demasiado reducida, el sensor ya no aceptará los datos emitidos ni con una distancia mínima.

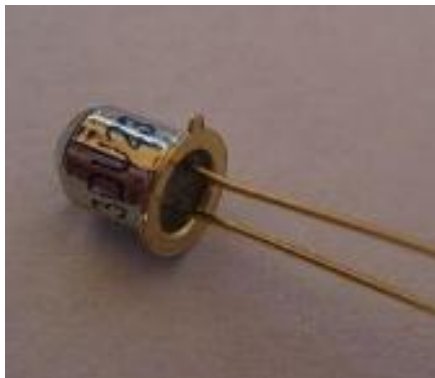


Figura 29. Opto receptor de luz

Fuente: Los Autores

En la tabla 7 se muestran las características técnicas del sensor de luz 3duoc.

| NOMBRE | CARACTERÍSTICAS |
|---------------------------------|--------------------|
| Materiales de carcasa | Acero fino VA |
| Distancia de exploración | 50cm. |
| Alcance | 1m. |
| Versión eléctrico | 3 hilos CC |
| Salida | NA |
| Modelos PNP | 115-120-m5-10-5-Y7 |
| Esquema de conexión | 4 |
| Tensión de servicio (Ub) | 10..30 VDC |
| Intensidad máxima de salida (I) | 100mA. |
| Emisor/longitud de onda | IR-LED 880nm. |
| Límite de luz ajena (luz solar) | 5000/10000 Lux |

| | |
|--------------------------------------|----------|
| Caída de tensión (Ud) | 2V |
| Ondulación residual max. Permissible | < 20% |
| Corriente en vacío | Typ 10mA |
| Frecuencia de conmutación | 250Hz |
| Temperatura ambiente permisible | 0..+55°C |
| Conexión | M8x1 |
| Superficie activa | Vidrio |

Tabla 7. Características de sensor del haz de luz 3DUOC

Fuente: <http://www.rechner.de/instanz/pdfs/kat-opto-es.pdf>

2.4.2.4 DISEÑO DEL DIAGRAMA ESQUEMÁTICO PARA EL RECEPTOR LIFI

De la misma forma que para el transmisor se utiliza el programa ORCAD PARA WINDOWS para el diseño del receptor LIFI, como se puede ver en la figura 30, la señal que se obtiene a través del diodo receptor pasa a una etapa de amplificación LM358 con el objetivo de acoplar la señal recibida, posteriormente la señal pasa a un transistor 2N3904 el cual va a invertir la señal y enviar a la computadora.

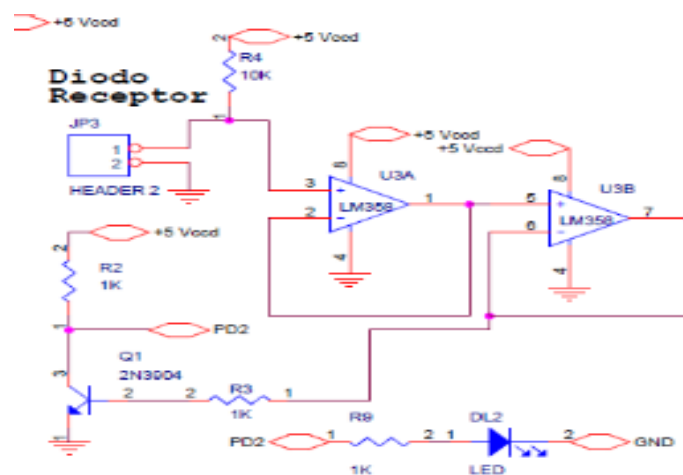


Figura 30. Diagrama esquemático del receptor lifi

Fuente: Los Autores

2.4.2.5 PROGRAMACIÓN SERIAL EN CIRCUITO ICSP

En el desarrollo de este sistema resulta muy ineficiente tener que sacar el PIC del circuito para reprogramarlo una y otra vez, aparte que el proyecto es relativamente largo, esto no solamente consume un tiempo considerable, sino que también puede afectar la vida útil de del microcontrolador (los pines podrían doblarse y romperse). En la figura 31 se puede observar el diagrama de un conector ICSP.

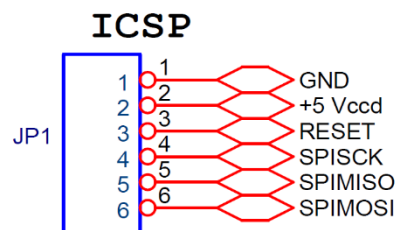


Figura 31. Conector ICSP

Fuente: Los Autores

Las señales conectadas entre el PIC y el dispositivo programador para realizar la escritura, lectura y verificación del programa son las siguientes:

1 GND (Ground): Conexión a tierra.

2 VCCD (Voltaje de Alimentación 5/3.3 VDC): Voltaje de alimentación provisto al PIC.

3 RESET: Para regresar al PIC al estado de inicio (sin programación).

4 SPISCK (Program Clock): Señal de reloj provista al PIC para sincronía.

5 SPIMISO (Program Data): Línea serial de datos para escritura, lectura y verificación de la memoria de programa (ROM Flash) del microcontrolador.

6 SPIMOSI: Es un voltaje entre 12-14 VDC aplicado al pin MCLR/VPP del PIC, y es usado para poner al PIC en estado de programación.

El voltaje más o menos fuerte puede desprogramar accidentalmente el PIC, por lo cual, es mejor deshabilitarlo y usar la programación ICSP con voltaje alto.

2.4.3 CONFIGURACIÓN Y CONEXIÓN DE DISPOSITIVOS

Como se observa en la figura 32 la configuración y conexión de los dispositivos permitirá el correcto alineamiento para que exista la comunicación entre el transmisor y el receptor de la red.

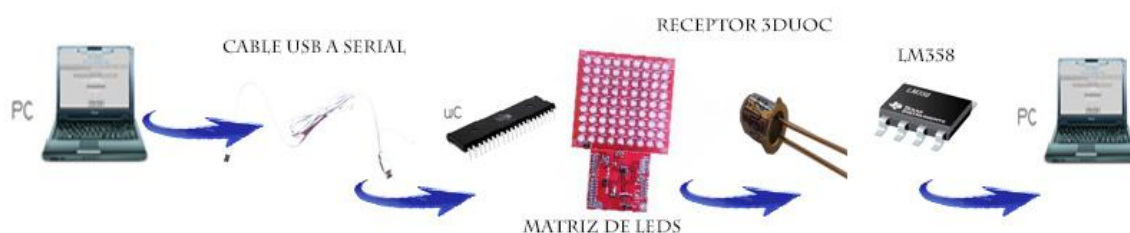


Figura 32. Topología de Conexión

Fuente: Los Autores.

2.4.3.1 CONFIGURACIÓN DEL IDE BASCOM PARA LA COMUNICACIÓN A TRAVÉS.

En este apartado se detallará la configuración que se debe realizar en el IDE¹² BASCOM para que el microcontrolador tenga conectividad con la pc y de manera simultánea pueda enviar y recibir información a través del haz de luz, para ello se necesita el microcontrolador antes mencionado (ATmega164P), la plataforma de programación BASCOM-AVR versión [1.11.9.8] o superiores.

Lo primero que se hace en BASCOM-AVR es nombrar al proyecto y configurar el microcontrolador, con su respectiva numeración, el cristal u oscilador y la velocidad de comunicación en baudios. En la figura 33 muestra la asignación de nombres y la velocidad de oscilación del programa.

¹² Ambiente de desarrollo integrado.

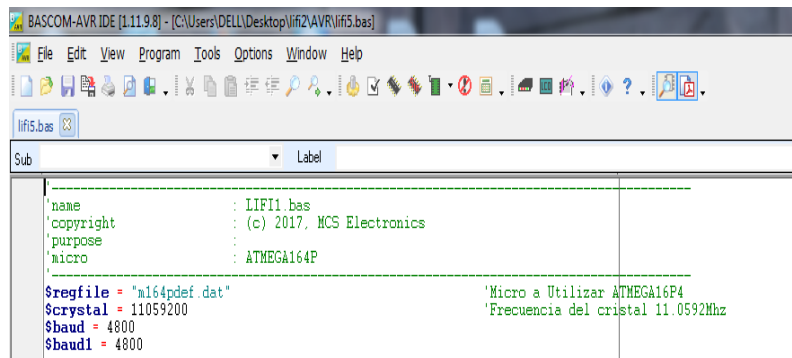


Figura 33. Conf. Microcontrolador en el IDE de BASCOM.

Fuente: Los Autores.

Luego se procede con la activación de los bits del microcontrolador, se tiene que abrir el UART del micro vía Hardware, luego se asigna interrupciones, al configurar de esta manera se asegura el almacenamiento de los datos como se observa en la figura 34.

```

Config Com1 = Dummy , Synchron = 0 , Parity = None , Stopbits = 1 , Databits = 8 , Clockpol = 0
Config Com2 = Dummy , Synchron = 0 , Parity = None , Stopbits = 1 , Databits = 8 , Clockpol = 0

'Abre el segundo UART por hardware
Open "com2:" For Binary As #1

Dim B As Byte
Dim I As Byte
Dim Flag1 As Bit
Dim Temporal1 As String * 1
Dim Texto2 As String * 200

'***** INTERRUPCION de serial *****
On Urx0 Rec_isr 'Define subrutina de Interrupcion
'***** INTERRUPCION de serial *****
On Urx1 Rec_isr1 'Define subrutina de Interrupcion

Flag1 = 1
Gosub Limpiarbuffer
Gosub Limpiarbuffer1
Enable Interrupts
Enable Urx0
Enable Urx1
Do

```

Figura 34. Comandos de activación vía Hardware.

Fuente: Los Autores.

Posteriormente se configura la comunicación tanto para el haz de luz y para la PC; con el comando "Inkey" el micro está leyendo los datos y con el comando "Print #1" los micros están enviando los datos, a la matriz de leds, para enviar a la Pc se utiliza el comando "Print" y así poder visualizar al usuario. Para recibir los datos se realiza el mismo procedimiento, ya que es una comunicación Hald dúplex es por ello que se configuró vía Hardware como se observa en la figura 35.

```

Loop
*****
Rec_isr
  Disable Urxc
  Input Texto2 Noecho
  B = Inkey()
  If B > 0 Then
    Print #1 , Texto2
  End If
  Waitms 1
  Do
    B = Inkey()
  Loop Until B = 0
  Enable Urxc
Return
*****
Rec_isr1:
  Disable Urxc1
  Input #1 , Texto2 Noecho
  B = Inkey(#1)
  If B > 0 Then
    Print Texto2
  End If
  Waitms 1
  Do
    B = Inkey(#1)
  Loop Until B = 0
  Enable Urxc1
Return
*****
Limpiarbuffer:
  Waitms 1
  Do
    B = Inkey()
  Loop Until B = 0
Return
*****
Limpiarbuffer1:
  Waitms 1
  Do
    B = Inkey(#1)
  Loop Until B = 0

```

Figura 35. Conf. Del micro para comunicación LIFI.

Fuente: Los Autores.

2.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

En la figura 36, muestra un resumen de las fases que conforman el proyecto, permitiendo llevar el proceso continuo en el desarrollo de la investigación.

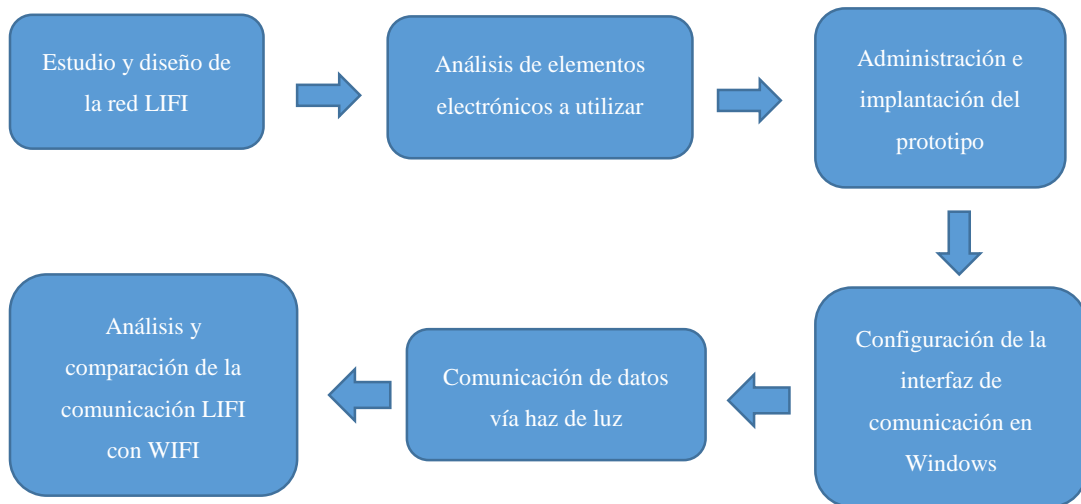


Figura 36. Diagrama de procedimientos.

Fuente: Los Autores.

2.5.1 ANÁLISIS DE LA COMUNICACIÓN DEL SISTEMA

El diseño del prototipo, cumple con el Estándar IEEE 802.15.7, con su configuración correcta y por medio del haz de luz garantiza la comunicación entre el controlador y la PC.

El uso del cable USB a RS-232C certificado para la comunicación es un requerimiento indispensable junto a la configuración del puerto COM, permiten la comunicación a través de una interfaz de visualización en la plataforma de Windows. Además, se utiliza el protocolo de comunicación Kermit, que permitirá el envío y recepción de datos de la manera más eficiente y rápida como lo caracteriza el estándar IEEE 802.15.7

2.5.2 ADMINISTRACIÓN DE DISPOSITIVOS

La correcta administración, permite la linealidad y el ordenamiento de la puesta de los dispositivos para un óptimo funcionamiento, permitiendo establecer un ensamblaje preciso y eficaz en la construcción del prototipo para cada función establecida.

2.6 COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El procedimiento mostrado en la tabla 8 sigue un conjunto de pasos para comprobar o refutar la hipótesis planteada, de acuerdo a los resultados obtenidos de la experimentación, La comparativa se realizó mediante una sesión de chat y el envío de archivos comparando eficiencia, rendimiento y la fiabilidad de comunicación de la red LIFI y WIFI:

| Análisis | Eficiencia | Rendimiento | Velocidad (t) |
|------------------------------|------------|-------------|---------------|
| Chat LIFI | X | 100% | 10ms. |
| Transmisión de paquetes LIFI | X | 60% | 50s. |
| Chat Wifi | X | 100% | 2s. |
| Transmisión de Paquetes Wifi | X | 90% | 30s |

Tabla 8. Comparativa de las redes

Fuente: Los Autores.

En la tabla 9 se ha realizado una prueba de hipótesis para observar eficiencia, rendimiento y velocidad de trasmisión de la red LIFI, la misma que es utilizada usualmente en diseño

de experimentos, para hacer una comparativa con wifi en cuanto a la transmisión de datos se refiere:

Planteamiento de la hipótesis nula y alternativa

H_0 : El tiempo promedio que los estudiantes tardan en enviar archivos de 2 Mb en promedio con y sin el uso de la red LIFI es el mismo, que con la red wifi, por lo tanto, su diferencia es igual a cero

H_1 : El tiempo promedio que los estudiantes tardan en enviar un archivo de 2 Mb en promedio con el uso de la red LIFI es menor al tiempo que tardan al enviar por la red wifi, por lo tanto, su diferencia es menor que cero.

$$H_0: \mu_c - \mu_s = 0$$

$$H_1: \mu_c - \mu_s < 0$$

Establecimiento del nivel de significancia α

Los resultados de la investigación tienen una confiabilidad del 95%, por lo tanto, el nivel de significancia es 0.05.

Cálculo del estadístico de prueba t

$$t = \frac{\bar{d} - d_0}{\frac{s_d}{\sqrt{n}}} = \frac{(-16.67) - 0}{\frac{2.71}{\sqrt{22}}} = -28.80$$

Donde:

\bar{d} y s_d representan a la media muestral y la desviación estándar de las diferencias de los tiempos para enviar archivos del mismo peso con y sin el uso de la red LIFI.

d_0 es la diferencia hipotética de los tiempos medios para enviar archivos del mismo peso con y sin el uso de la red LIFI.

n es el número de veces que se realizó la trasmisión de archivos del mismo tamaño por las dos redes.

| Envío (i) | Red LIFI (c _i) | Red wifi (s _i) | diferencias (d _i =c _i -s _i) |
|-----------|----------------------------|----------------------------|---|
| 1 | 6.85 | 24.73 | -17.88 |
| 2 | 6.53 | 24.59 | -18.06 |
| 3 | 8.39 | 23.36 | -14.97 |
| 4 | 6.94 | 27.03 | -20.09 |
| 5 | 7.64 | 26.83 | -19.19 |
| 6 | 8.05 | 24.25 | -16.2 |
| 7 | 7.66 | 24.2 | -16.54 |
| 8 | 7.62 | 24.85 | -17.23 |
| 9 | 6.8 | 25.53 | -18.73 |
| 10 | 8.96 | 24.13 | -15.17 |
| 11 | 6.1 | 22.68 | -16.58 |
| 12 | 9.05 | 23.37 | -14.32 |
| 13 | 7.94 | 27.07 | -19.13 |
| 14 | 7.68 | 24.94 | -17.26 |
| 15 | 8.93 | 25.78 | -16.85 |
| 16 | 5.77 | 26.71 | -20.94 |
| 17 | 9.94 | 21.3 | -11.36 |
| 18 | 6.9 | 18.2 | -11.3 |
| 19 | 5.79 | 26.78 | -20.99 |
| 20 | 6.76 | 21.94 | -15.18 |
| 21 | 9.08 | 25.06 | -15.98 |
| 22 | 10.18 | 23 | -12.82 |

Tabla 9. Diferencias entre los tiempos de desarrollo con la red LIFI y WIFI

Fuente: Los Autores.

| | |
|-----------------------------|--------|
| Media \bar{d} = | -16.67 |
| Desviación estándar s_d = | 2.71 |

Cálculo del valor crítico $t_{\alpha,n-1}$ y las regiones de aceptación y rechazo

Para el cálculo del valor crítico se busca en la tabla de la distribución t de Student, (ANEXO 1.) el valor de probabilidad para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y grados de libertad $(n-1)=21$ como se observa en la figura 37

$$t_{0.05,21} = -1.72$$

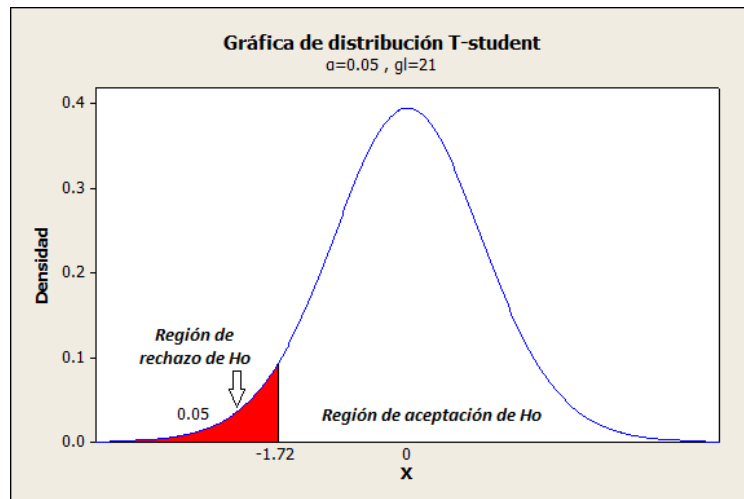


Figura 37. Distribución de Probabilidad de la distribución t de Student

Fuente: Los Autores.

Regla de decisión

Si $t < t_{\alpha,n-1}$ se rechaza H_0

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS

Como resultado se obtiene que la prueba estadística $t=-28.80$, es menor que el valor crítico $t_{0.05; 21}=-1.72$ por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0), por tal motivo se concluye que existen evidencias suficientes para decir que el tiempo promedio del envío de archivos del mismo tamaño con la red LIFI es significativamente menor al tiempo que tardan en enviar por ondas de radio (WIFI).

3.1 ANÁLISIS FOTOGRÁFICO

En las siguientes figuras se muestra la configuración y los tiempos para enviar archivos a través de LIFI utilizando la interfaz hyperterminal en la PC.

En la figura 38 se muestra la pantalla principal del Hyperterminal para su configuración.

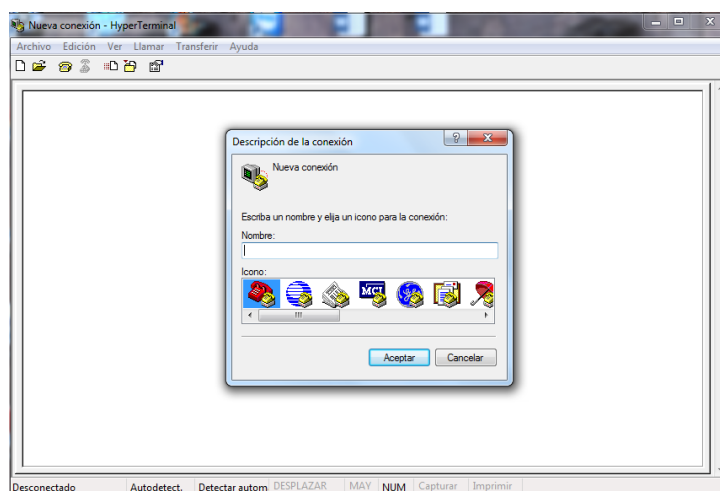


Figura 38. Inicio de sesión en Hyperterminal

Fuente: Los Autores

En la figura 39 se observa la selección del puerto COM al que está conectado el equipo

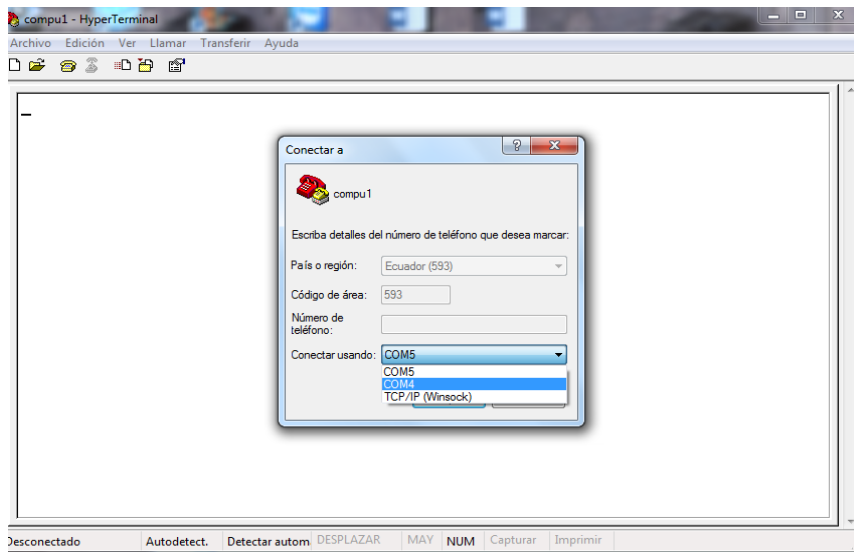


Figura 39. Selección del puerto COM

Fuente: Los Autores

En la figura 40 se observa la configuración del puerto y la selección de velocidad de transmisión para establecer una comunicación.

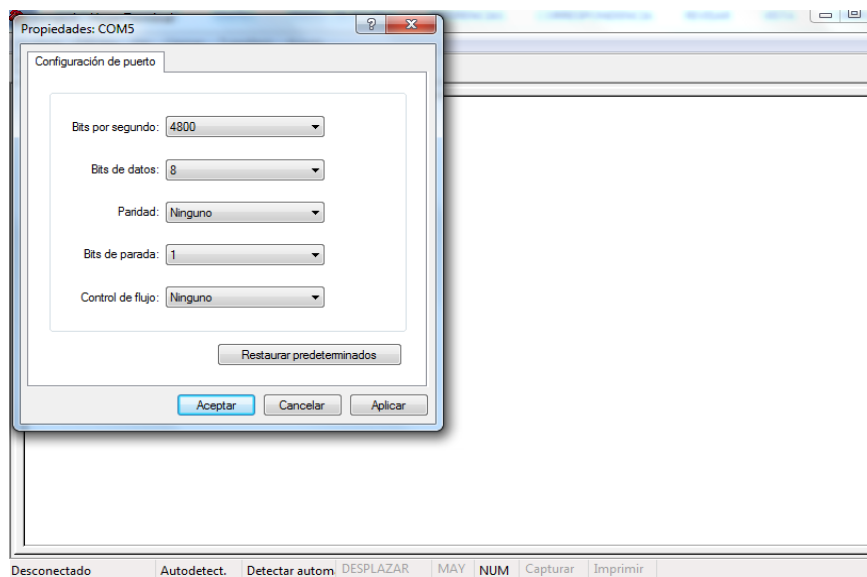


Figura 40. Configuración del puerto

Fuente: Los Autores

El Hyperterminal tiene la virtud de brindar varios protocolos de comunicación para este caso el protocolo va a ser Kermit como se observa en la figura 41.

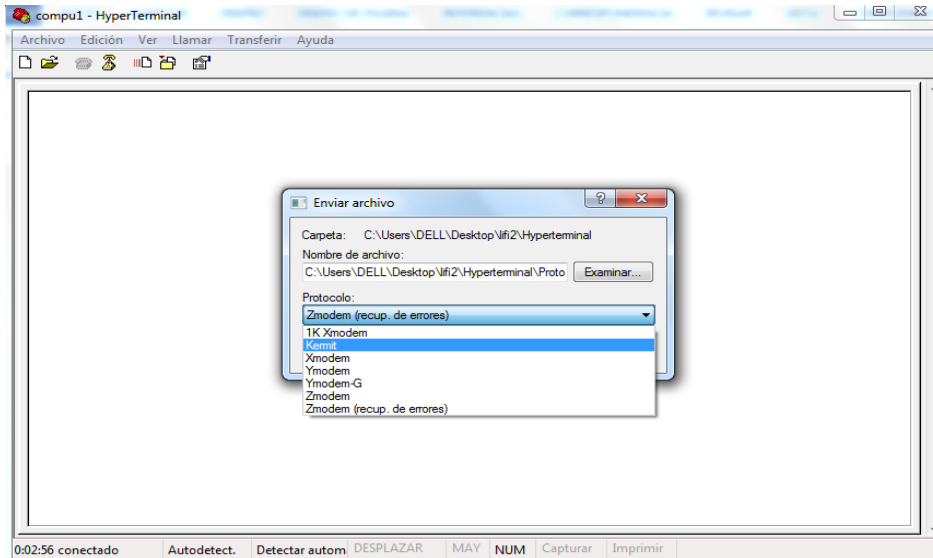


Figura 41. Selección del protocolo de comunicación

Fuente: Los Autores

En la figura 42 muestra un envío de paquetes a través de la red LIFI diseñada

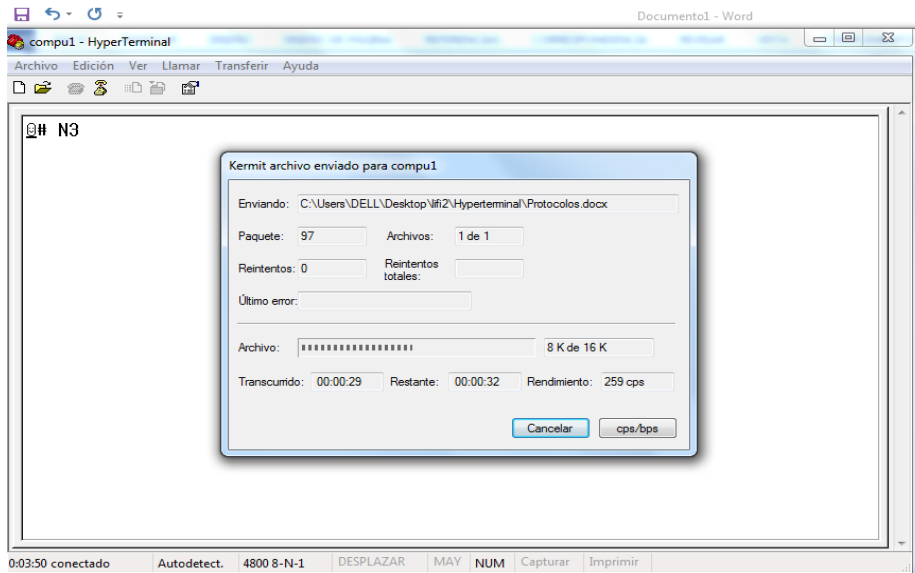


Figura 42. Transferencia de archivos en tiempo real a través de LIFI

Fuente: Los Autores

CAPÍTULO IV

4 DISCUSIÓN

El desarrollo del prototipo que representa una parte de un mundo extenso en cuanto a la tecnología LIFI que se encuentra en auge, Aunque esta tecnología inalámbrica se dio a conocer hace pocos años atrás, ha sido ahora cuando se están realizando pruebas en el mundo real, es decir, fuera de laboratorios; a través de la investigación y recolección de información se logra identificar el funcionamiento de LIFI utilizando un espectro de luz visible en lugar de ondas de radio para transmitir datos, después de recabar mucha información se logró diseñar un módulo para poder transmitir luz que modula la señal y crea un flujo de datos constantes, esto se realiza con bombillas LED estándar, también cuenta con un receptor que permite interpretar las señales de luz.

La investigación se enfocó a la transmisión de datos, en el estudio de la comunicación a través del haz de luz, se buscó la manera de mejorar la velocidad, y tener eficiencia en la recepción de datos, haciendo pruebas con varios lenguajes de programación y se pudo acertar con el dispositivo adecuado y así comparar con la red wifi.

Esta red utiliza múltiples protocolos de comunicación y el prototipo se lo diseñó para entornos cerrados, esto ayuda a la red a que sea confiable ya que la luz no traspasa paredes, por lo que nadie más que el usuario podrá utilizar la conexión y convertirla en una red cien por ciento segura, por tal motivo se lo toma como punto de estudio en el proyecto de investigación para ayudar aprovechar esta tecnología y dar una pauta para que seguir desarrollando mal alternativas que ofrece la luz como medio de comunicación.

El desarrollo del prototipo cumple con un esquema lógico, donde debe cumplir el envío de sentencias dada desde el ordenador para la activación de la comunicación mediante la matriz de leds. El software utilizado para el desarrollo de la aplicación fue Bascom e Hyperterminal por su gran facilidad de manejo.

Con la culminación del prototipo, los equipos y dispositivos son capaces de cumplir eficazmente y con mínimo error todas las expectativas planteadas, ya que se hicieron

pruebas de chat y transferencia de archivos dando como resultado una comunicación óptima.

Entre los estudios realizados durante la realización de ésta investigación se puede mencionar:

- La transmisión de datos tiene directa relación con el color de las luces LED que se va a utilizar, ya que el receptor de luz es bastante sensible y se puede combinar con la luz natural.
- Se realizó con una topología punto a punto, cada dispositivo puede comunicarse con cualquier otro dispositivo que esté dentro de su área de cobertura. Para hacerlo de forma efectiva, los dispositivos que quieran comunicarse deberán permanecer en un estado de recepción constante o sincronizarse con los otros dispositivos. En este caso, los dispositivos pueden transmitir sus datos utilizando acceso aleatorio no ranurado.
- El dispositivo se compone de una capa física (PHY), que contiene el transceptor de luz junto con el mecanismo de control, y una subcapa de control de acceso al medio (MAC) que proporciona acceso al canal físico para las transferencias de paquetes.
- Se logró establecer un tiempo de compensación (tiempo “ON”, “OFF” de la fuente de luz) que puede insertarse tanto en el patrón de inactividad como en la trama de datos para reducir o aumentar el brillo medio de una fuente de luz.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El prototipo de red LIFI se diseñó a una velocidad de transmisión de 4800 Baudios, al aumentar, el sistema tenía demasiada sensibilidad con la luz natural, el receptor presentaba una alta tasa de errores impidiendo la transmisión.
- En la transmisión de archivos de tamaño pequeño, la matriz de LEDs no parece sufrir variación para el ojo humano ya se mantiene constante el nivel de luz, por lo contrario, con archivos grandes, la matriz de LEDs empieza a parpadear haciendo perceptible la transmisión de los datos.
- El programa Hyperterminal bloquea la transmisión de datos en cada byte que hace que la velocidad de transmisión se limite.
- No se producen trabas ni interferencias con las señales de radio frecuencia.
- Gracias a su capacidad de transmitir datos de forma inalámbrica y limpia pueden proporcionar nuevos servicios, en lugares donde no está permitido utilizar frecuencias de radio por las interferencias que podría producir.
- La iluminación LED es increíblemente eficiente, la energía que consume sólo es un 50 % a 90 % menor de la energía tradicional, de tal forma que la iluminación genera muy poco calor durante el uso.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para la instalación del controlador del puerto COM se debe instalar el parche "Lowcdc.sys"
- Para una comunicación eficiente la matriz de led debe tener línea de vista con el receptor de luz caso contrario se perderán los datos enviados.

- La matriz debe tener una alimentación de 12 VCD, ya que si hay menos voltaje el brillo de la matriz es muy bajo y no logra transmitir.
- Antes de establecer una conexión se debe seleccionar el puerto COM y la velocidad de transmisión.
- Las Pc's de los usuarios deben reconocer el dispositivo al momento de su conexión.
- El pc reconocerá al dispositivo una vez que éste se encuentre prendido.
- El uso del prototipo, debe ser tratado con cuidado ya que el receptor de luz (3DUOC) es muy sensible y se daña con facilidad.
- Antes del envío de archivos, escoger el protocolo de comunicación adecuado.

CAPÍTULO VI

6 PROPUESTA

6.1 TÍTULO DE LA PROPUESTA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE COMUNICACIÓN A TRAVÉS DE LIFI PARA COMPARAR EL RENDIMIENTO CON LA RED WIFI PARA ENTORNOS CERRADOS.”

6.2 INTRODUCCIÓN

La tecnología hoy en día, avanza a pasos colosales, especialmente en el campo de las telecomunicaciones, por tal motivo para estar actualizado e ir a la par del avance tecnológico se necesita determinar e investigar los métodos de comunicación de una red desconocida hasta el momento que permitan el correcto funcionamiento en la transmisión y recepción de datos. Después de la investigación de los requisitos y elementos necesarios para la conexión, se integra una aplicación que permita interconectar entre un microcontrolador y la matriz de leds.

Para cristalizar los objetivos, se desarrollará un esquema aplicativo de diseño utilizando el prototipo de tal manera que el desempeño del sistema sea eficiente y cumpla con todas las exigencias necesarias: comunicación por medio del haz de luz, eficiencia y seguridad con la transmisión de paquetes.

Con la investigación antepuesta que se hará a las tecnologías se podrá determinar que los dispositivos, software y aplicación se deben utilizar para culminar el proyecto consiguiendo la eficacia y precisión de los materiales.

6.3 OBJETIVOS

6.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un entrenador de microcontroladores para realizar comunicaciones a través del haz de luz.

6.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Conocer más acerca del diseño de nuevas redes para la transmisión de Datos.
- Diseñar e implementar un transmisor utilizando integración de módulos ópticos que funcione como una fuente de comunicación luminosa, que sea capaz de emitir las ondas LIFI.
- Utilizar el prototipo para incentivar a la sociedad para que esta red obtenga más aplicaciones.
- Comparar los resultados obtenidos con la red wifi.
- Fortalecer el nivel académico e investigativo de los estudiantes y docentes de la Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones.

6.4 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

La propuesta se basa en que LIFI es un nuevo paradigma para la tecnología inalámbrica óptica para proporcionar una conectividad sin precedentes dentro de un ambiente centrado. La creciente demanda de mayores anchos de banda de transmisión de datos, más rápida y más segura, así como la tecnología respetuosa del medio ambiente y, sin duda el comienzo de un cambio importante en la tecnología inalámbrica, un cambio de RF a las tecnologías ópticas.

Es importante buscar las características de esta tecnología para luego poder compararlas con las ya existentes que cumplen funciones similares. Por ello se enlista algunas de las características de esta tecnología.

- Transmite datos vía inalámbrica.
- Para transmitir datos usa el espectro de frecuencias que está dentro del rango visible para el ser humano (aprox. entre 400 y 800 THz).
- Tiene la capacidad de la dualidad, transmisión de datos de la bombilla al dispositivo y viceversa.
- Comprende velocidades de transmisión.

- Rango de alcance moderado 1-2 metros.
- No penetra las paredes.
- Simboliza un importante ahorro energético.
- Es muy seguro.
- Tendrá problemas de transmisión en lugares abiertos y más aún, en zonas donde la luz solar tenga acceso directo.

6.5 DISEÑO ORGANIZACIONAL

En la figura 43, se observa el esquema organizacional y funcional de la unidad administrativa con la se ejecutó el desarrollo y la implementación del proyecto.

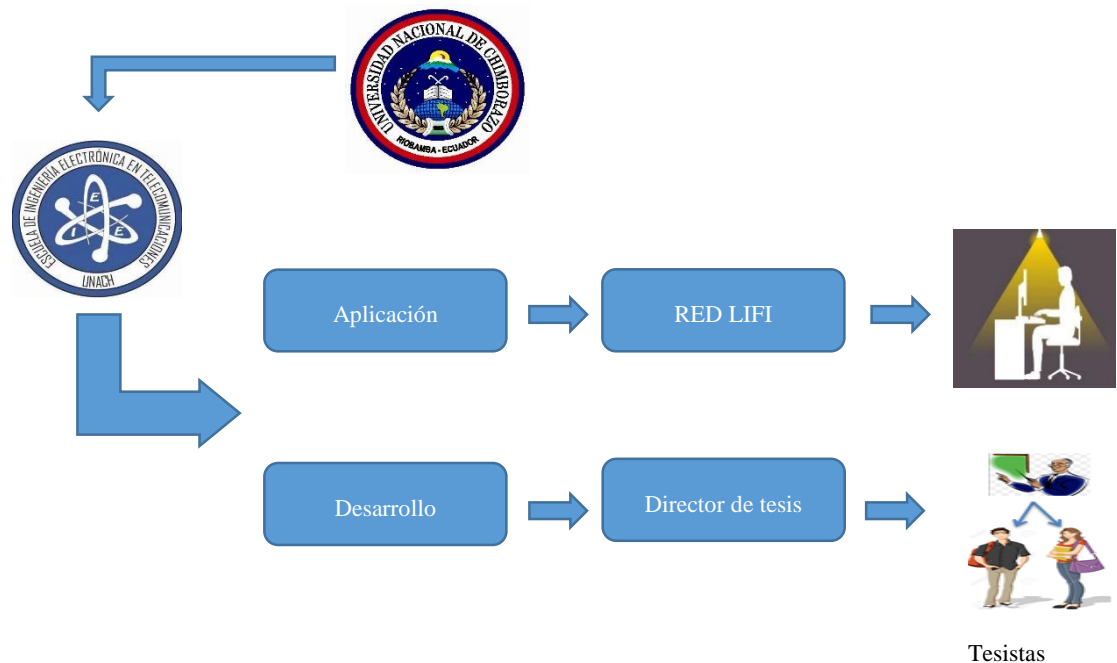


Figura 43. Diagrama de procedimientos.

Fuente: Los Autores.

6.6 MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

Para el monitoreo y evaluación de la propuesta, se realizarán pruebas con el envío de archivos, tomando en cuenta los tiempos de transmisión de dichos envíos con la red LIFI y con la red wifi.

El desarrollo de este prototipo de LIFI es beneficioso ya que esta red brinda todo un conjunto de pautas para estudios futuros; como por ejemplo ampliar la velocidad de transferencia de datos por medio de la luz, gracias a su ancho de banda muy grande.

CAPÍTULO VII

7 BIBLIOGRAFÍA

- "Solís Alulima, D. J. (03 de 06 de 2012). *CD-4157*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4535/1/CD-4157.pdf>
- "Solís Alulima, D. J. (06 de Marzo de 2012). *CD-4157*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4535/1/CD-4157.pdf>
- Atmel Corporation. (28 de 02 de 2013). *ATmega164P/324P/644P datasheet*. Recuperado el 08 de 09 de 2015, de atmel: http://www.atmel.com/Images/Atmel-8011-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega164P-324P-644P_datasheet.pdf
- Chauhan, D. S., & Kulshreshtha, D. C. (2009). *Electronics Engineering : (As Per The New Syllabus, B.Tech. I Year Of U.P. Technical University)*. New Age International. Recuperado el 21 de Octubre de 2015
- cnice. (2003). Modo de configuración del Hyperterminal. 8.
- Communications, A. I. (11 de Abril de 2011). *Visible Light Communications*. Obtenido de <http://visiblelightcomm.com/an-ieee-standard-for-visible-light-communications/>
- EcuRed. (23 de Febrero de 2012). *Circuito Integrado LM358*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Circuito_integrado_LM358
- euskalnet. (2013). *PROTOCOLOS FOSILES DE TRANSFERENCIA DE ARCHIVOS*. Obtenido de <http://www.euskalnet.net/apetxebari/Protocolos.htm>
- Granados La Paz, R. L. (2014). *Desarrollo de aplicaciones web en el entorno servidor*. (1° ed.). ANTEQUERA, Málaga: IC Editorial. Recuperado el 08 de 09 de 2015

- Guijarro, E. (12 de 01 de 2009). *Introducción: Bascom y AVR*. Obtenido de http://es.slideshare.net/castro2487/tutorial-avr?from_action=save
- JUANPEDROTV. (02 de 2016). *Li-Fi, 100 veces más potente que WiFi*. Obtenido de <http://www.juanpedroTV.com/blog/li-fi-100-veces-mas-potente-que-wifi/>
- LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society. (04 de 10 de 2016). *IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements—Part 15.7: Standard for Short-Range Wireless Optical Communication using Visible Light*. Recuperado el 03 de 04 de 2015, de A PHY and a MAC layer for short-range optical wireless communications using visible light in optically transparent media are defined. The visible light spectrum extends from 380 nm to 780 nm in wavelength. The standard is capable of delivering data rates .
- López Pérez, E. (07 de 08 de 2005). *INGENIERIA EN MICROCONTROLADORES* . Recuperado el 28 de 04 de 2015, de i-micro: <http://www.i-micro.com/pdf/articulos/spi.pdf>
- N/A. (2006). *LA REVISTA*. Recuperado el 20 de 08 de 2015, de LAREVISTAINFORMATICA.COM: <http://www.larevistainformatica.com/LENGUAJES-DE-PROGRAMACION.html>
- Peñafiel Peñafiel, J. E. (02 de 2015). *Análisis de la tecnología Li-Fi: comunicaciones por luz visible como punto de acceso a Internet, una alternativa a la transmisión de datos en las comunicaciones inalámbricas*. Recuperado el 03 de 04 de 2015, de repository.dspace.ups.edu.ec: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7770/1/UPS-CT004629.pdf>
- researchdesignlab. (03 de 02 de 2014). *www.researchdesignlab.com*. Recuperado el 03 de 04 de 2015, de A n I S O 9 0 0 1 - 2 0 0 8 C e r t i f i e d C o m p a n y: <https://researchdesignlab.com/>

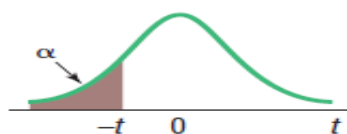
- Reyes, C. A. (2006). *Microcontroladores PIC Programación en Basic*. QUITO: RISPERGRAF.
- Rodriguez, P. A. (29 de 09 de 2015). *Entandar IEEE 802.15*. Recuperado el 03 de 04 de 2015, de prezi.com: <https://prezi.com/ixprbbvawhz/standar-ieee-80215/>
- Romero, D. M. (23 de 10 de 2005). *Introducción a Ethernet Industrial*. Recuperado el 03 de 04 de 2015, de IEEE: <http://www.ieee.org.ar/downloads/romero-eth-ind.pdf>
- Rosales, J. (10 de Marzo de 2013). *Manual de redes informáticas*. Recuperado el 04 de 05 de 2015, de mredesinfo: <http://mredesinfo.blogspot.com/>
- Seidle , N. (19 de Junio de 2008). *Beginning Embedded Electronics - 3*. Recuperado el 16 de Octubre de 2015, de sparkfun: <https://www.sparkfun.com/users/7185>
- Tanenbaum, A. S. (2003). *Redes de Computadoras*. Mexico: PEARSON EDUCACIÓN.
- TEXAS INSTRUMENTS. (09 de 04 de 2015). *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*. Recuperado el 21 de 04 de 2015, de ti: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
- UNIVERSIDAD DE MURCIA. (13 de 08 de 2008). *MANUAL BÁSICO DE CREACIÓN DE PÁGINAS WEB*. Recuperado el 28 de 10 de 2015, de Universidad de Murcia: <https://www.um.es/atika/documentos/html.pdf>
- Valls, G. C. (7 de Septiembre de 2000). *Técnicas de CAD - 1998/99*. Obtenido de <http://www.cartagena99.com/recursos/electronica/apuntes/OrCAD7.0.pdf>
- WIKIPEDIA. (19 de Enero de 2016). *Visual Basic*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Visual_Basic
- WIZ811 MJ Datasheet. (12 de 12 de 2012). Recuperado el 03 de 04 de 2015, de sparkfun: https://www.sparkfun.com/datasheets/DevTools/WIZnet/DEV-09473-Datasheet_V_1.1.pdf
- WORDPRESS.COM., B. D. (02 de 2005). *Como funciona lifi?* Obtenido de [es.wordpress.com: https://inteligencialuminosa.wordpress.com/como-funciona-lifi](https://inteligencialuminosa.wordpress.com/como-funciona-lifi)

CAPÍTULO VIII

8 ANEXOS

8.1 ANEXO 1. TABLA DISTRIBUCIÓN t STUDENT

Distribución t de Student



Prueba de cola izquierda

| gl | Nivel de significancia para una prueba de una cola, α | | | | | |
|----|--|-------|--------|--------|--------|---------|
| | 0.10 | 0.05 | 0.025 | 0.01 | 0.005 | 0.0005 |
| 1 | 3.078 | 6.314 | 12.706 | 31.821 | 63.657 | 636.619 |
| 2 | 1.886 | 2.920 | 4.303 | 6.965 | 9.925 | 31.599 |
| 3 | 1.638 | 2.353 | 3.182 | 4.541 | 5.841 | 12.924 |
| 4 | 1.533 | 2.132 | 2.776 | 3.747 | 4.604 | 8.610 |
| 5 | 1.476 | 2.015 | 2.571 | 3.365 | 4.032 | 6.869 |
| 6 | 1.440 | 1.943 | 2.447 | 3.143 | 3.707 | 5.959 |
| 7 | 1.415 | 1.895 | 2.365 | 2.998 | 3.499 | 5.408 |
| 8 | 1.397 | 1.860 | 2.306 | 2.896 | 3.355 | 5.041 |
| 9 | 1.383 | 1.833 | 2.262 | 2.821 | 3.250 | 4.781 |
| 10 | 1.372 | 1.812 | 2.228 | 2.764 | 3.169 | 4.587 |
| 11 | 1.363 | 1.796 | 2.201 | 2.718 | 3.106 | 4.437 |
| 12 | 1.356 | 1.782 | 2.179 | 2.681 | 3.055 | 4.318 |
| 13 | 1.350 | 1.771 | 2.160 | 2.650 | 3.012 | 4.221 |
| 14 | 1.345 | 1.761 | 2.145 | 2.624 | 2.977 | 4.140 |
| 15 | 1.341 | 1.753 | 2.131 | 2.602 | 2.947 | 4.073 |
| 16 | 1.337 | 1.746 | 2.120 | 2.583 | 2.921 | 4.015 |
| 17 | 1.333 | 1.740 | 2.110 | 2.567 | 2.898 | 3.965 |
| 18 | 1.330 | 1.734 | 2.101 | 2.552 | 2.878 | 3.922 |
| 19 | 1.328 | 1.729 | 2.093 | 2.539 | 2.861 | 3.883 |
| 20 | 1.325 | 1.725 | 2.086 | 2.528 | 2.845 | 3.850 |
| 21 | 1.323 | 1.721 | 2.080 | 2.518 | 2.831 | 3.819 |
| 22 | 1.321 | 1.717 | 2.074 | 2.508 | 2.819 | 3.792 |
| 23 | 1.319 | 1.714 | 2.069 | 2.500 | 2.807 | 3.768 |
| 24 | 1.318 | 1.711 | 2.064 | 2.492 | 2.797 | 3.745 |
| 25 | 1.316 | 1.708 | 2.060 | 2.485 | 2.787 | 3.725 |
| 26 | 1.315 | 1.706 | 2.056 | 2.479 | 2.779 | 3.707 |
| 27 | 1.314 | 1.703 | 2.052 | 2.473 | 2.771 | 3.690 |
| 28 | 1.313 | 1.701 | 2.048 | 2.467 | 2.763 | 3.674 |
| 29 | 1.311 | 1.699 | 2.045 | 2.462 | 2.756 | 3.659 |
| 30 | 1.310 | 1.697 | 2.042 | 2.457 | 2.750 | 3.646 |

Tabla 10. Tabla de distribución T student

Fuente: Los Autores.

8.2 ANEXO 2. CONFIGURACIÓN DEL PUERTO COM.

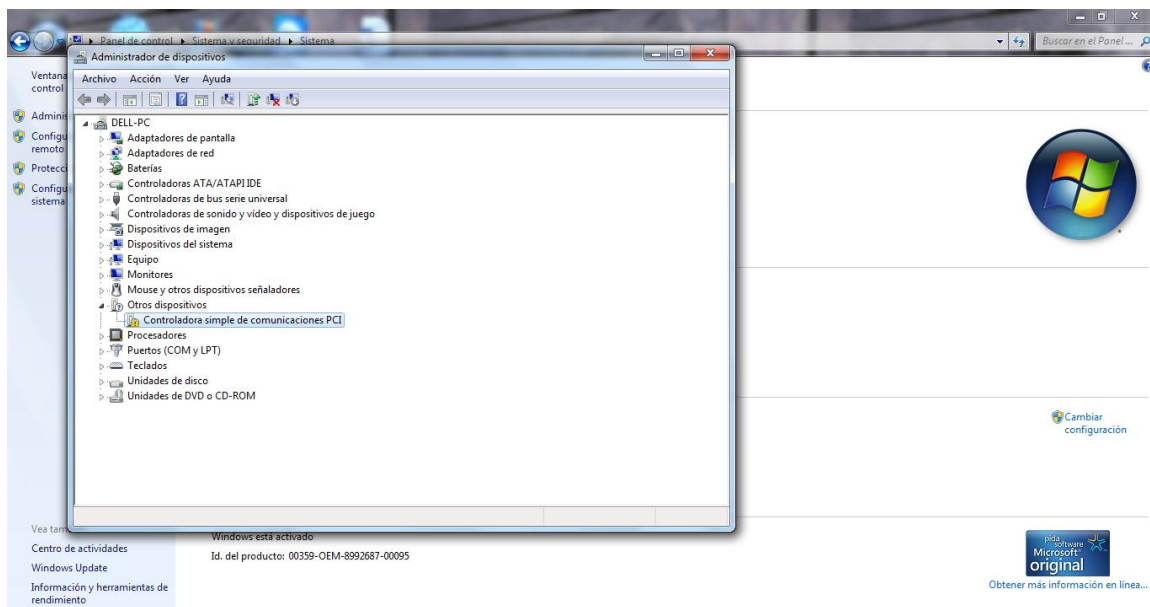


Figura 44. Selección del controlador para la comunicación.

Fuente: Los Autores.

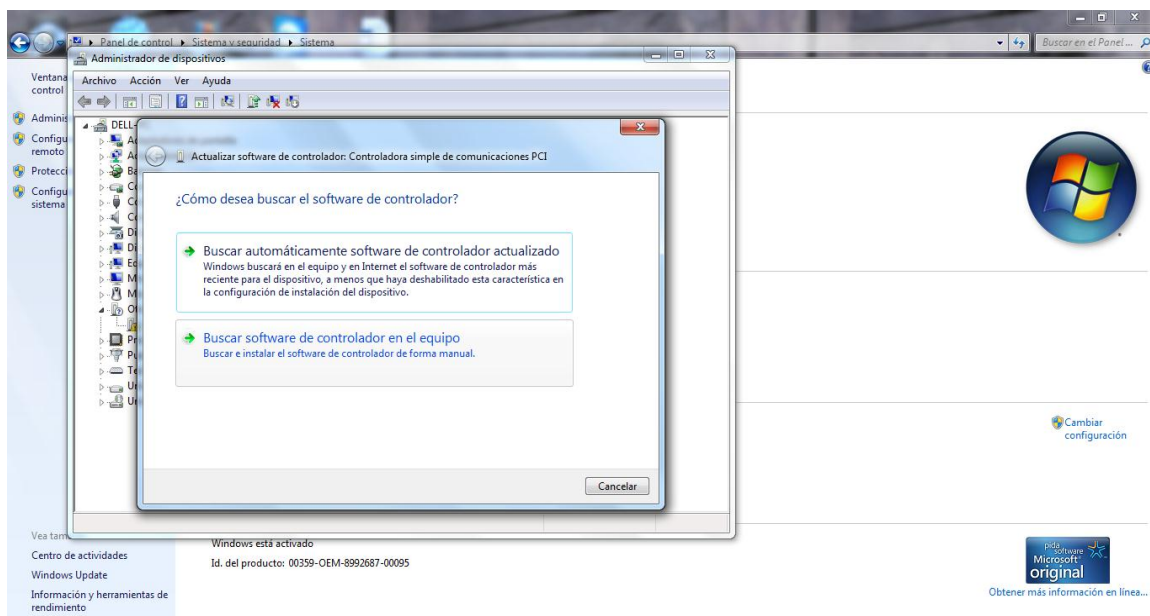


Figura 45. Búsqueda manual del controlador.

Fuente: Los Autores.

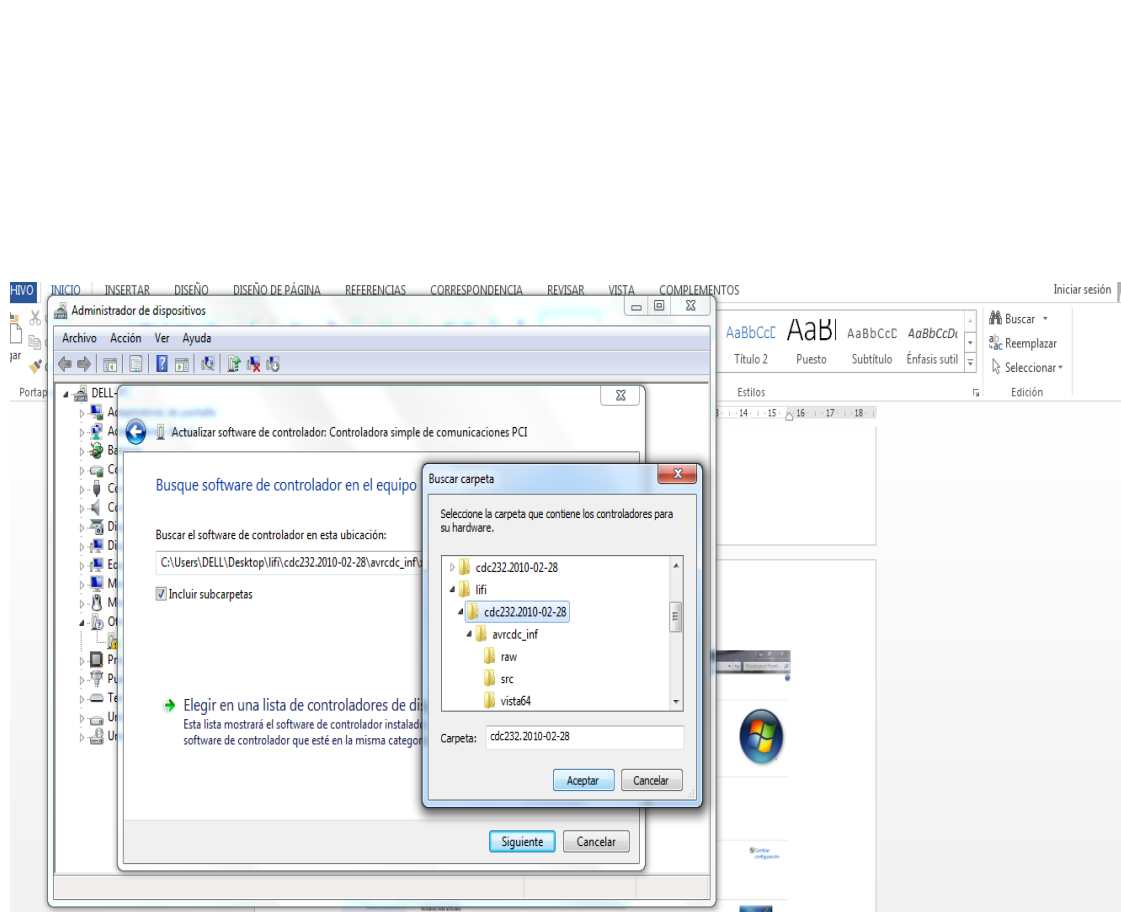


Figura 46. Selección del controlador para hardware.

Fuente: Los Autores.

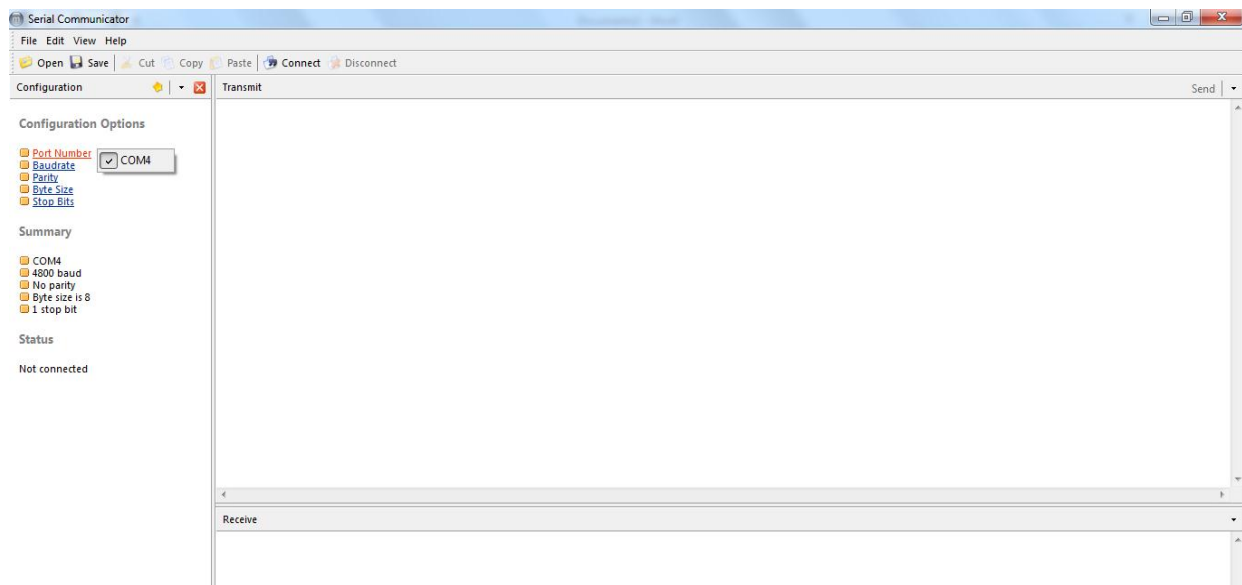


Figura 47. Puerto COM serial activado.

Fuente: Los Autores.

8.3 ANEXO 2. CONFIGURACIÓN DE FUSES PARA CARGAR EL PROGRAMA AL MICROCONTROLADOR

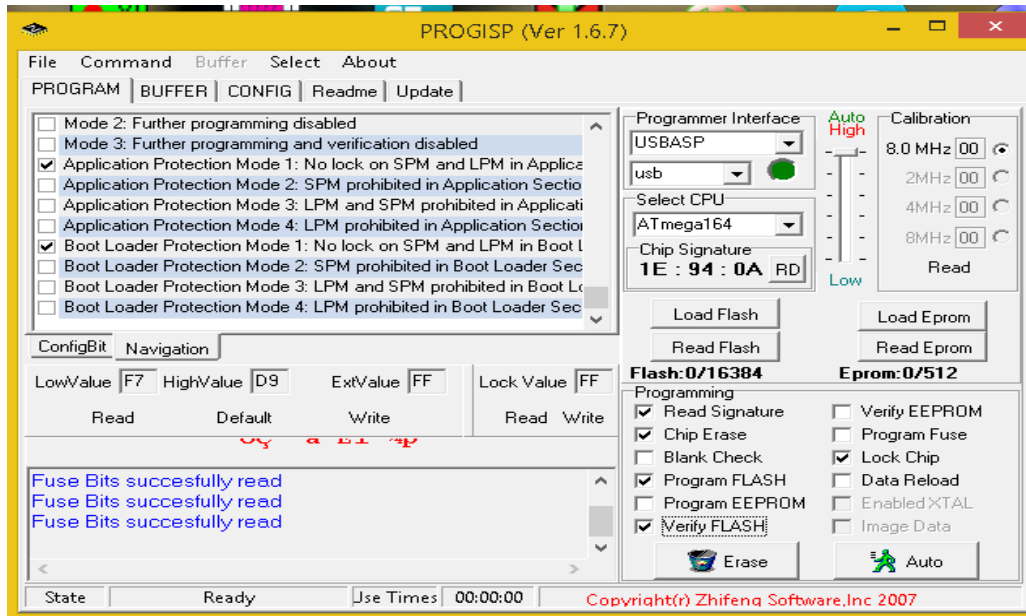


Figura 48. Programa PROGISP.

Fuente: Los Autores.

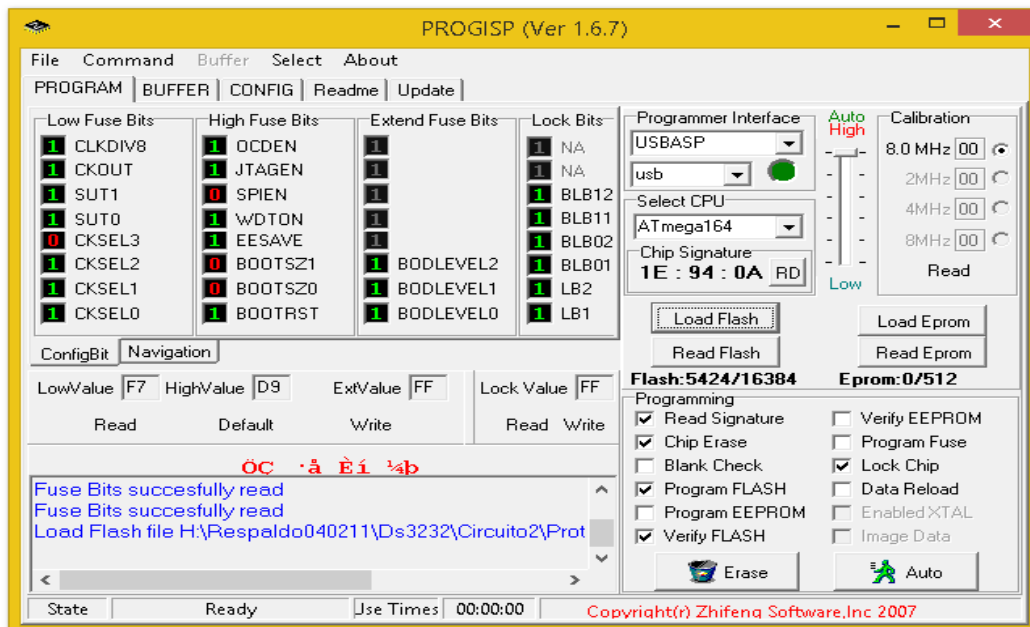


Figura 49. Selección de fuses para el microcontrolador.

Fuente: Los Autores.

8.4 ANEXO 3. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LAS PLACAS DE

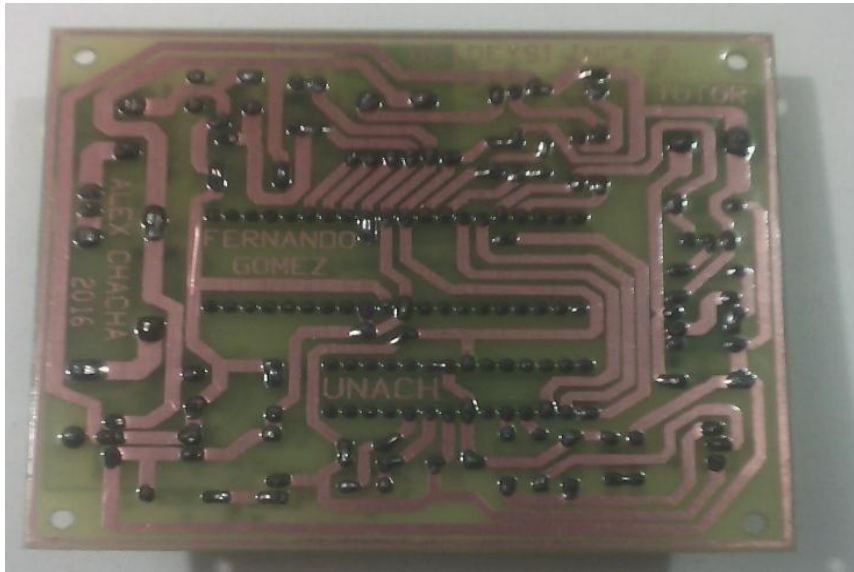


Figura 50. Diseño posterior de pistas de conducción.

Fuente: Los Autores.

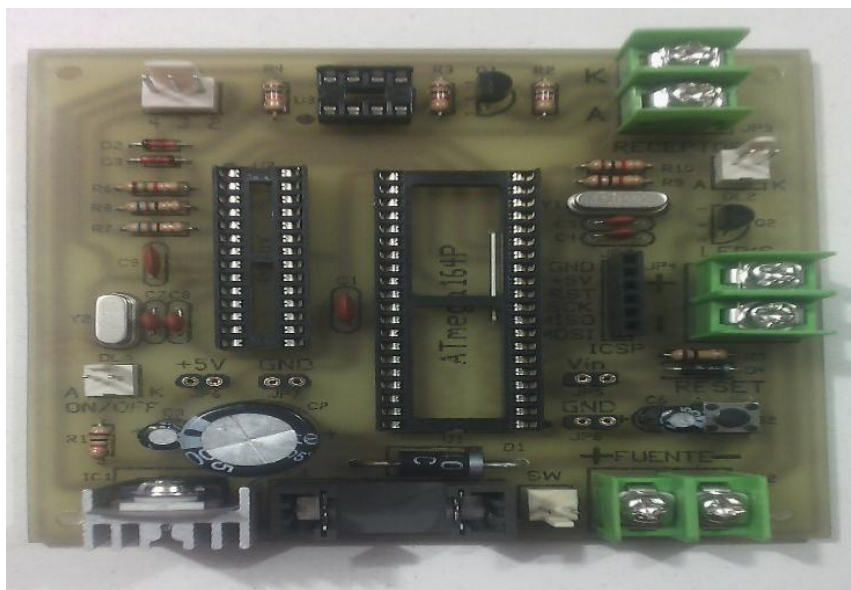


Figura 51. Diseño frontal con sus respectivos elementos.

Fuente: Los Autores.

8.5 PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR

```
$regfile = "m164Pdef.dat"                Selección del microcontrolador
'$regfile = "m644Pdef.dat"              Frecuencia de trabajo

$crystal = 11059200
'$crystal = 8000000

$baud = 4800                             'frecuencia del cristal 8 Mhz
$baud1 = 4800                             'frecuencia del cristal 8 Mhz

$initmicro

Ddra.7 = 1                               'Portico A.7 como salida
Porta.7 = 1                               'BK=1

Config Debounce = 150

Config Com1 = Dummy, Synchron = 0, Parity = None, Stopbits = 1, Databits = 8, Clockpol = 0
Config Com2 = Dummy, Synchron = 0, Parity = None, Stopbits = 1, Databits = 8, Clockpol = 0

'Abre el segundo UART por hardware

Open "com2:" For Binary As #1

Ddrb.1 = 1
Portb.1 = 1
Ddrb.0 = 0
Portb.0 = 1

'Now open a pin for output
Open "comb.1:4800,8,n,1" For Output As #2

'Now open a pin for input
Open "comb.0:4800,8,n,1" For Input As #3

***** INTERRUPCION TIMER1 *****

'Config Timer1 = Timer , Prescale = 8
'On Timer1 Refrescar
```

```
***** Declaración de Funciones y Subrutinas *****
```

```
Declare Sub Writebyte512a(address As Word , Value As Byte)
```

```
Declare Function Readbyte512a(address As Word) As Byte
```

```
Declare Sub Writebyte512b(address As Word , Value As Byte)
```

```
Declare Function Readbyte512b(address As Word) As Byte
```

```
Dim B As Byte , L As Byte , H As Byte
```

```
***** *****
```

```
Config Lcdpin = Pin , Rs = Porta.0 , E = Porta.2 , Db4 = Porta.3 , Db5 = Porta.4 , Db6 = Porta.5 , Db7 = Porta.6
```

```
Config Lcd = 16 * 2
```

```
***** INTERRUPCION de serial *****
```

```
'On Urxc Rec_isr                               'Define subrutina de Interrupcion Serial1
```

```
'Enable Urxc
```

```
'On Urxc1 Rec_isr1                             'Define subrutina de Interrupcion Serial2
```

```
'Enable Urxc1
```

```
***** DS1307 RTC *****
```

```
Config Sda = Portd.4                           'Configura I2C pin Datos PORTD.6
```

```
Config Scl = Portd.5                           'Configura I2C pin Reloj PORTD.5
```

```
'Direccion del DS1307
```

```
Const Ds1307w = &HD0                           'Constante escritura DS1307
```

```
Const Ds1307r = &HD1                           'Constante lectura DS1307
```

```
'address of 24LC512(A0=0 A1=0 A2=0)
```

```
Const M24lc512aw = &HA0                         'Direccion de Memoria1
```


Const M24lc512ar = &HA1

'address of 24LC512(A0=1 A1=0 A2=0)

Const M24lc512bw = &HA2 'Direccion de Memoria2

Const M24lc512br = &HA3

* Tecla Verificación *

Ddrd.6 = 0

Portd.6 = 1

Verificacion Alias Pind.6

* SALIDA *

Ddrd.7 = 1

Portd.7 = 0

Out1 Alias Portd.7

Ddrd.3 = 1

Portd.3 = 0

Salida1 Alias Portd.3

'Declara variables necesarias para el DS1307

Dim Dias As Byte

Dim Segu As Byte

Dim Minu As Byte

Dim Hora As Byte

Dim Diam As Byte

Dim Mes As Byte

Dim Anio As Byte

Dim Dias1 As String * 3

Dim Texto1 As String * 5 , Texto2 As String * 5 , Texto3 As String * 5

Dim Texto4 As String * 10 , Texto5 As String * 10

Dim Serial1 As String * 150

Dim Serial2 As String * 20

Dim Regtotal As String * 32

Dim Flag1 As Bit 'variable tipo bit

Dim Flag2 As Bit 'variable tipo bit

Dim Flag3 As Bit 'variable tipo bit

Dim Flag4 As Bit 'variable tipo bit

Dim Flag5 As Bit 'variable tipo bit

Dim Flag6 As Bit 'variable tipo bit

Dim Flag7 As Bit 'variable tipo bit

Dim Flag8 As Bit 'variable tipo bit

Dim Flag9 As Bit 'variable tipo bit

Dim Flag10 As Bit

Dim Flag11 As Bit

Dim Flag12 As Bit

Dim Flag13 As Bit

Dim Bandera1 As Byte

Dim Tempod As Byte

Dim Tempou As Byte

Dim Tempo As Byte

Dim Tecla As Byte

Dim Cuenta As Byte

Dim Cuenta1 As Byte

Dim Clave1(5) As Byte

Dim Claveacta(5) As Byte

Dim V As Byte

Dim W As Byte

Dim X As Word

Dim Y As Word

Dim Z As Word

Dim Registros As Word

Dim Registro As Word

Dim Usuarios As Word

Dim Usuariosb As Word

Dim Dir1 As Word

Dim Dir2 As Word

Dim Pos As Byte

Dim Z1 As Byte

Dim Temporal As String * 1

Dim Temporal1 As String * 16

Dim Temporal2 As String * 16

Dim Contador1 As Word

Dim Contador2 As Word

Dim Tags As String * 20

Dim Numero As Word

Dim Numero1 As Word

Dim Numero2 As Word

Dim Numerototal As Word

Dim Tagsu(10) As String * 14

Dim D1 As String * 50

Dim Cc As Byte

Const Delay1 = 80

Const Retardo = 3

Waitms 500

Cursor Off

```

Cls

Lcd "HOLA MUNDO1"

Usuarios = 0

Do

    Texto1 = Str(usuarios)

    Texto4 = Format(texto1 , "000" )

    Print "hola mundo " ; Texto4

    Print #1 , "hola mundo " ; Texto4

    Wait 1

' Lcd Texto4

    Usuarios = Usuarios + 1

' Set Out1

' Wait 5

' Reset Out1

' Wait 5

Loop

Limpiarbuffer:

    Waitms 10

    Do

        B = Inkey()

        Waitms 10

    Loop Until B = 0

Return

*****

Limpiarbuffer1:

    Waitms 10

    Do

        B = Inkey(#1)

        Waitms 10

    Loop Until B = 0

```

Return

Limpiarbuffer2:

 Waitms 10

 Do

 B = Inkey(#3)

 Waitms 10

 Loop Until B = 0

Return

Return

End

_init_micro:

 Ddra.1 = 1

 Porta.1 = 0

Return