

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA:

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERAS ELECTRÓNICAS

TEMA:

**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO DE
CODIFICACIÓN DE LÍNEA BNZS PARA OPTIMIZAR EL USO DE CANAL
DE TRANSMISIÓN DE LIGHT FIDELITY (LI-FI)**

AUTORAS:

JOHANNA VANESSA CUMBAJÍN VASCO

PAOLA ADELAIDA RIVADENEIRA ERAZO

DIRECTOR:

MANUEL RAFAEL JAYA DUCHE

Quito, Noviembre del 2016

Cesión de derechos de autor

Nosotras, Cumbajín Vasco Johanna Vanessa con documento de identificación N° 1721735783 y Rivadeneira Erazo Paola Adelaida con documento de identificación N° 1723431548, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud que somos autoras del trabajo de titulación intitulado: DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO DE CODIFICACIÓN DE LÍNEA BNZS PARA OPTIMIZAR EL USO DE CANAL DE TRANSMISIÓN DE LIGHT FIDELITY (LI-FI), mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieras Electrónicas en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

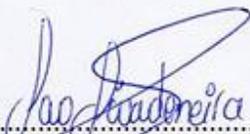
En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autoras nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Nombre: Johanna Vanessa Cumbajín Vasco

Cédula: 1721735783

Fecha: Noviembre 2016



.....
Nombre: Paola Adelaida Rivadeneira Erazo

Cédula: 1723431548

Fecha: Noviembre 2016

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación **DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO DE CODIFICACIÓN DE LÍNEA BNZS PARA OPTIMIZAR EL USO DE CANAL DE TRANSMISIÓN DE LIGHT FIDELITY (LI-FI)**, realizado por Johanna Vanessa Cumbajín Vasco y Paola Adelaida Rivadeneira Erazo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Noviembre del 2016



Manuel Rafael Jaya Duche

Cédula de identidad: 1710631035

DEDICATORIA

La culminación de este proceso educativo se lo dedico al sacrificio, la lucha, la dedicación y al amor de mis papis, Adelaida y Patricio, mis amores, que junto a María Auxiliadora me han ido llevando de la mano en cada momento. Han sido el ejemplo justo y necesario para comprender que la vida se basa en el respeto y la confianza en las personas, que lo propio no puede ser arrebatado por nadie, que el trabajo te hace grande y que cada cosa llega en el momento justo, y aparentemente este es mi momento para ser feliz junto a ellos. A mi abuelito Luis que es nuestro ángel, el que me consiente y quien en representación de mi abuelita Teresita nos da el cariño infinito que solo un bito puede dar a sus nietos. A mis hermanos, Pablo y Ricardo y a mis sobrinos, Gabriel y Efraín les dedico este día, espero se llenen de alegría junto a mí. Dedico este logro al amor, ha sido el sentimiento que me ha acompañado y que ha influenciado en las distintas etapas de mi vida, de manera especial, a Efrén Quingatuña, quien ha sido el aguante, las fuerzas, el amor y por quien he llegado a este punto de mi vida, serás siempre mi amor platónico y el padre de mis hijos, **¡Lo logramos Bonito!**

Pao Rivadeneira

Este logro se lo dedico a Dios y a la Virgen del Quinche por darme salud y permitirme llegar hasta una de mis primeras metas profesionales. A mis padres por sacrificarse día a día para darme el estudio, sin ellos nada de esto hubiese sido posible, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy. A mi mami Yolanda por ser mi ejemplo de vida, lucha y perseverancia, por sus consejos y apoyo incondicional que siempre me da en el momento preciso. A mi papi Rodrigo por sacrificarse diariamente para que llegue con bien a casa. Papis gracias por darme una carrera para seguir adelante y defenderme en la vida. A mis hermanas Dayana y Juliana sobre todo a Daya por apoyarme y estar siempre conmigo, por ser ejemplo de una hermana mayor de la cual aprendí a luchar y vencer cualquier adversidad por más dura que sea para alcanzar una meta. Finalmente a mi novio Jorge y amigos que juntos nos apoyamos en nuestra formación académica y por compartir momentos inolvidables de nuestra vida estudiantil.

Johanna Cumbajín

AGRADECIMIENTO

Manifestamos nuestro agradecimiento a los docentes que acompañaron nuestra carrera universitaria, a nuestro tutor MSc. Rafael Jaya quien nos guio de la mejor manera para culminar nuestro proyecto de titulación, a la Ingeniera Verónica Soria por guiarnos y corregir nuestras fallas en el proceso de titulación y a la Universidad Politécnica Salesiana por inculcar los valores salesianos y profesionales.

Johanna y Paola

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Delimitación del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4 Justificación.....	2
1.5 Metodología.....	3
CAPÍTULO II.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Comunicación de Luz Visible.....	4
2.2 Espectro visible de la luz.....	5
2.3 Light Fidelity (Li-Fi).....	5
2.3.1 Concepto.....	5
2.3.2 Funcionamiento.....	6
2.3.3 Características.....	7
2.3.4 Ventajas de Li-Fi.....	8
2.3.5 Desventajas de Li-Fi.....	8
2.4 Estándar de Comunicación IEEE 802.15.7.....	8

2.5 Elementos involucrados en la transmisión y recepción Li-Fi	10
2.5.1 Diodo Led	10
2.5.2 Fotodiodo	11
2.5.3 Arduino	11
2.5.4 Arduino Ethernet Shield.....	13
2.6 Sistema de Comunicación	14
2.6.1 Comunicación Serial	14
2.6.1.1 Velocidad de transmisión	15
2.6.1.2 Bits de datos	15
2.6.1.3 Bits de parada.....	15
2.6.1.4 Paridad	16
2.6.2 Trasmisión Síncrona.....	16
2.6.3 Trasmisión Asíncrona	16
2.7 Códigos de Línea.....	17
2.7.1 Según su polaridad:	17
2.7.2 Según códigos de transmisión en banda base	18
2.8 Espectro de Potencia	20
CAPÍTULO III	21
DESARROLLO E IMPLEMENTACION DEL ALGORITMO DE CODIFICACIÓN DE LINEA BnZS Y COMPRESION DE DATOS	21
3.1 Código de línea BnZS	21
3.1.1 Código B3ZS.....	21

3.1.2 Código B6ZS.....	22
3.1.3 Código B8ZS.....	23
3.2 Compresión de datos	24
3.2.1 Algoritmo Run Length Encoding.....	25
3.3 Diagrama del Sistema Unidireccional.....	25
3.4 Diseño del Sistema Unidireccional	26
3.4.1 Comparador.....	27
3.5 Montaje del escenario	28
3.6 Diagrama de flujo del proceso	28
3.6.1 Diagrama de flujo del receptor.....	29
3.6.2 Diagrama de flujo del transmisor.....	30
CAPÍTULO IV	32
PRUEBAS Y MEDICIONES	32
4.1 Equipo usado para efectuar las pruebas	32
4.2 Funcionamiento del sistema.....	33
4.3 Pruebas de las señales en banda base y señal codificada	33
4.4 Pruebas y funcionamiento	35
4.4.1 Pruebas en Banda Base	35
4.4.1.1 Comportamiento de la señal banda base al variar distancia a Vtx constante.....	35
4.4.1.2 Análisis de espectro para velocidad 1200 bauds.....	36
4.4.1.3 Análisis de espectro para velocidad 9600 bauds.....	37

4.4.1.4 Resultado y Análisis de espectro para una distancia 4 cm.....	39
4.4.2 Pruebas de Optimización para el código de línea BnZS	40
4.4.2.1 Pruebas con Código de Línea B3ZS	40
4.4.2.2 Pruebas con Código de Línea B6ZS	41
4.4.2.3 Pruebas con Código de Línea B8ZS	42
4.4.2.4 Resultados de Optimización para el código BnZS.....	43
4.4.3 Pruebas con Código de Línea B6ZS	44
4.4.3.1 Comportamiento de la señal codificada al variar distancia a Vtx constante	44
4.4.3.2 Análisis de espectro para velocidad 1200 bauds.....	45
4.4.3.3 Análisis de espectro para velocidad 9600 bauds.....	47
4.4.3.4 Resultado y Análisis de espectro para una distancia 4 cm.....	48
4.4.4 Comparación de señal en banda base y señal codificada.....	50
4.4.4.1 Variación de distancia a una velocidad de 1200 bauds.....	50
4.4.4.2 Variación de distancia a una velocidad de 9600 bauds.....	51
4.4.4.3 Variación de velocidad a una distancia de 4cm	51
4.4.4.4 Comparación de la potencia en banda base y codificada.....	52
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES.....	56
REFERENCIAS.....	57
ANEXOS	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Forma de conexión Wi-Fi vs Li-Fi	4
Figura 2.2. Rangos de Luz	5
Figura 2.3. Forma de captacion de datos.....	6
Figura 2.4. Proceso de transmision de datos	7
Figura 2.5. Proceso de transmision de datos	9
Figura 2.6. (a) Vista superior de arduino (b) descripcion pines del Arduino	12
Figura 2.7. Vista superior de arduino ethernet shield	13
Figura 2.8. Partes del sistema de comunicación	14
Figura 2.9. Coneccion serial.....	16
Figura 2.10. Forma de codificacion polar	18
Figura 2.11. Codificacion en banda base	19
Figura 2.12. Espectros B3ZS, B6ZS, B8ZS.....	20
Figura 3.1. Forma de espectro B3ZS, B6ZS, B8ZS.....	24
Figura 3.2. Codificación RLE	25
Figura 3.3. Partes del sistema unidireccional.....	26
Figura 3.4. Diagramas del sistema VLC	26
Figura 3.5. Señal codificada 3 niveles	27
Figura 3.6. Escenario de trabajo.....	28
Figura 3.7. Proceso del receptor.....	29
Figura 3.8. Proceso del transmisor.....	31

Figura 4.1. Vista frontal del osciloscopio	32
Figura 4.2. Señal de entrada y señal de salida.....	33
Figura 4.3. Señal con variacion de velocidades	34
Figura 4.4. Comportamiento de señal en banda base variando distancias	35
Figura 4.5. Señal banda base a velocidad constante de 1200 bauds	37
Figura 4.6. Señal banda base a velocidad constante de 9600 bauds	38
Figura 4.7. Señal banda base a distancia constante de 4 cm	39
Figura 4.8. Pruebas de codificación B3ZS.....	41
Figura 4.9. Pruebas de codificación B6ZS.....	42
Figura 4.10. Pruebas de codificación B8ZS.....	42
Figura 4.11. Comportamiento de señal codificada variando distancias.....	45
Figura 4.12. Señal codificada a velocidad constante de 1200 bauds	46
Figura 4.13. Señal codificada a velocidad constante de 9600 bauds	48
Figura 4.14. Señal codificada a distancia constante de 4 cm	49
Figura 4.15. Potencia del espectro de señal banda base y señal codificada.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Características de diodo led según su color	10
Tabla 2.2. Características de Tarjetas Arduino	11
Tabla 3.1. Regla de sustitución B3ZS.....	22
Tabla 3.2. Ejemplo de codificación para caso par e impar B3ZS	22
Tabla 3.3. Regla de sustitución B6ZS.....	22
Tabla 3.4. Ejemplo de codificación para polaridad positiva y negativa B6ZS	23
Tabla 3.5. Regla de sustitución B8ZS	23
Tabla 3.6. Ejemplo de codificación para polaridad positiva y negativa B8ZS	23
Tabla 4.1. Variación de distancia en cm de señal banda base a velocidad de 1200 bauds	36
Tabla 4.2. Variación de distancia en cm de señal banda base a velocidad de 9600 bauds	37
Tabla 4.3. Variación de velocidad de señal banda base a distancia de 4 cm	39
Tabla 4.4. Valores de codificación BnZs	44
Tabla 4.5. Variación de distancia en cm de señal codificada a velocidad de 1200 bauds	46
Tabla 4.6. Variación de distancia en cm de señal codificada a velocidad de 9600 bauds	47
Tabla 4.7. Variación de velocidad de señal codificada a distancia de 4 cm	49
Tabla 4.8. Comparación de resultados de señales al variar distancias a 1200 bauds.....	50
Tabla 4.9. Comparación de resultados de señales al variar distancias a 9600 bauds.....	51
Tabla 4.10. Comparación de resultados de señales al variar velocidades a 4 cm	52

RESUMEN

El propósito de este proyecto es disminuir el volumen de los datos transmitidos con ayuda de los algoritmos de código de línea y compresión de datos, además, de contribuir en el desarrollo de un prototipo que aproveche su espectro al usar el código de línea B6ZS.

Para medir el tamaño de los datos transmitidos en banda base y transmisión de señal codificada se usó el osciloscopio Agilent que se encuentra en el laboratorio de Comunicaciones Avanzadas, este osciloscopio tiene propiedades que permiten medir el espectro de la señal directamente.

Se analizaron los resultados obtenidos al transmitir la señal en banda base y señal codificada, para lo cual se tomaron en cuenta los parámetros de velocidad y distancia entre emisor y receptor, adicional se variaron los tiempos de bit entre 1L y 0L dentro del algoritmo implementado. Las pruebas se basaron en variar la distancia de 1 a 9 cm, a una velocidad constante, además, se mantiene una distancia constante de 4 cm puesto que es la distancia en la cual el prototipo es estable y se varía la velocidad.

Se compararon los datos obtenidos del tamaño de volumen de datos, en ambas transmisiones y se determinó que la aplicación del código B6ZS y aplicación de algoritmo de compresión RLE disminuye el volumen de datos transmitidos en un 62.4 % a 1200 bauds, 39.05% a 9600 bauds y 50.45% a distancia de 4 cm con respecto a la transmisión en banda base.

ABSTRACT

The purpose of this project is to reduce the volume of data transmitted using the line code algorithms and data compression also contribute to the development of a prototype that will take its spectrum when using the line code B6ZS.

To measure the size of transmitted data based transmission of encoded signal and the Agilent oscilloscope band found in Advanced Communications Laboratory was used, this oscilloscope has properties to measure the spectrum of the signal directly.

The results obtained by transmitting the signal in base band signal encoded, for which it took into account the parameters of speed and distance between transmitter and receiver, additional times bit between 1L and 0L were varied within the implemented algorithm were analyzed. The tests were based on varying the distance of 1 to 9 cm, at a constant speed, also a constant distance of 4 cm is maintained since it is the distance in which the prototype is stable and the speed is varied.

The data size of data volume in both transmissions were compared and it was determined that the application of B6ZS code and application algorithm RLE compression reduces the volume of data transmitted 62.4% at 1200 baud, 39.05% at 9600 baud and 50.45% of 4 cm distance with respect to the baseband transmission.

INTRODUCCION

El proyecto se basa en la comunicación óptica inalámbrica en el rango de luz visible, conocida como Visible Light Communication (VLC) o Li-Fi (Light Fidelity). Esta tecnología intenta dar una alternativa para aliviar la saturación que tiene la tecnología Wi-Fi (Wireless Fidelity), de esta manera aprovechar los espacios libres de radio frecuencia y dar uso a las luminarias instaladas en lugares de trabajo, recreación, hogar.

El primer capítulo describe la problemática, justificación, metodología, objetivos y la limitación del proyecto y de cómo la reducción del volumen de datos en Li-Fi puede aprovechar el canal en la transmisión de información.

El segundo capítulo describe las características, ventajas, desventajas y funcionamiento del sistema de comunicación visible y los elementos involucrados. Además menciona el uso de la plataforma de hardware y software libre llamada Arduino; la teoría y características del código de línea para su aplicación dentro de un sistema de comunicación.

El tercer capítulo enfatiza el uso del código de línea BnZS, explica los distintos casos que le pertenecen, y así ser implementado en un codificador y decodificador que permita al sistema de comunicación unidireccional reducir el tamaño de datos en la transmisión dentro del espectro de luz y de esta manera aprovechar el canal para aumentar el número de usuarios. Menciona también la compresión de datos, su teoría y aplicación en el proyecto. Para finalizar, se presenta el proceso que tiene el sistema de comunicación implementado con las tarjetas Arduino tanto en emisor y receptor, la lámpara Led y el fotodiodo.

En el cuarto capítulo, se muestran las pruebas de transmisión en banda base y transmisión con código de línea variando distancia entre emisor y receptor a distintas velocidades para la obtención de datos, y la variación de los tiempos de bit dentro de la programación, de esta manera determinar un porcentaje de reducción de la tasa de transferencia y así considerar la creación de un próximo prototipo que conste de una transmisión con compresión de datos de manera bidireccional.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 Planteamiento del problema

La tecnología Wi-Fi está presente en casi todas las formas de comunicación, y uno de los problemas a los que se enfrenta, es la limitación de espectro debido a varios factores externos como las atenuaciones en medios inalámbricos y a que las señales no se pueden propagar a través de paredes. Con estos antecedentes, aparece una nueva tecnología que pretende reemplazar en espacios reducidos a Wi-Fi, la misma que se denomina Light Fidelity (Li-Fi).

En la actualidad la inseguridad en los sistemas de comunicación es un factor que afecta a todos los usuarios que diariamente se conectan a distintos servidores mediante una red, por lo que se buscan mecanismo que contrarresten las violaciones a la seguridad.

Los costos para la implementación de un sistema de comunicación inalámbrica son elevados ya que requieren un espacio geográfico donde se puedan colocar circuitos de radio frecuencia, antenas, repetidoras, adicional, usa un espectro de radio frecuencia que en la actualidad está saturado debido a la demanda de usuarios.

Al transmitirse datos en banda base por Li-Fi y dependiendo de los dispositivos de transmisión - recepción, la velocidad, la distancia, se tiene un canal de transmisión no aprovechado ante lo cual se pretende utilizar códigos de línea para optimizar el volumen de datos transmitidos.

La transmisión de la señal en banda base no permite aprovechar el uso de canal para el envío de otras señales al mismo tiempo lo que limita el número de usuarios que usen este tipo de tecnología.

1.2 Delimitación del problema

El sistema de comunicación unidireccional a implementar está centrado en el rango de luz visible como medio de transmisión de datos. En este sistema, se configura un servidor web y un cliente que constan de una placa Arduino Mega y un Ethernet Shield cada uno, una lámpara led que es el medio de transmisión y como receptor un fotodiodo, además de un codificador y un decodificador en la transmisión y recepción respectivamente que serán implementados sobre otras placas Arduino Mega.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar e implementar el algoritmo de codificación de línea BnZS para optimizar el uso de canal de transmisión de Li-Fi

1.3.2 Objetivos específicos

- Investigar mediante documentación técnica redes Li-Fi y códigos de línea BnZS.
- Realizar el modelo del sistema unidireccional que involucre el emisor y receptor.
- Implementar el hardware y software de los códigos de línea BnZS para optimizar el volumen de datos a transmitir.
- Efectuar pruebas de optimización del volumen de los datos transmitidos al variar la velocidad y distancia entre emisor y receptor.
- Analizar y comparar los datos obtenidos en la transmisión de banda base y optimización del volumen de datos.

1.4 Justificación

Li-Fi es una tecnología relativamente barata y más segura, ya que la luminosidad no puede ser intervenida desde un punto exterior, los pulsos luminosos no pueden atravesar paredes, la red eléctrica no obstaculiza la comunicación de Li-Fi, además, de no ocupar las bandas de frecuencias.

El uso de códigos de línea en la transmisión digital, como el BnZS, disminuye el tamaño de datos a transmitir, por lo que se puede optimizar el uso del canal de transmisión.

Las lámparas que ya se encuentran en hogares, trabajos, parques, avenidas facilitan la implementación de Li-Fi por lo que las mismas lámparas luminosas servirán como router. Por esta razón los costos de esta tecnología son más baratos con respecto a otros sistemas inalámbricos como Wi-Fi

El propósito de este proyecto es contribuir con la sociedad para que los usuarios puedan experimentar con nuevas tecnologías de navegación a un bajo costo de inversión.

1.5 Metodología

El tipo de metodología a utilizar es la experimental, ya que se monta un escenario o diseño de investigación donde se realizaron distintas pruebas que involucran variación de velocidad, variación de distancia entre emisor y receptor, variación de tiempo de bit y donde se cambiaron parámetros de transmisión para determinar la diferencia que existe entre la comunicación de luz visible (VLC) en banda base y VLC aplicando un código de línea específico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El capítulo a tratarse aborda los conceptos fundamentales sobre la nueva tecnología en transmisión de datos que permitan la visión y ejecución del proyecto, teniendo en cuenta la descripción de cada una de sus características. Se describen también los elementos y dispositivos involucrados en el sistema de comunicación a implementarse.

2.1 Comunicación de Luz Visible

Esta tecnología ofrece una alternativa real a las comunicaciones tradicionales basadas en radio y con esta característica se tiene el libre espacio, espectro y ancho de banda para ser utilizado ya que no se necesita de licencias o espectro electromagnético para su uso (Dr. Areitio Bertolín & Conectrónica, 2016).

Se basa en la comunicación a través de luz visible que oscila en el rango espectral entre 400 y 800 THz / 750 - 375 nm. Utiliza lámparas fluorescentes comunes que logran transmitir señales de 10 Kbps y con lámparas led se transmiten señales de 500 Mbps a un máximo de distancia de 1 a 2 Km (Dr. Areitio Bertolín & Conectrónica, 2016). En la Figura 2.1 se observa cómo se transmite la señal de datos en la tecnología Wi-Fi y como se da la misma transmisión mediante Li-Fi.

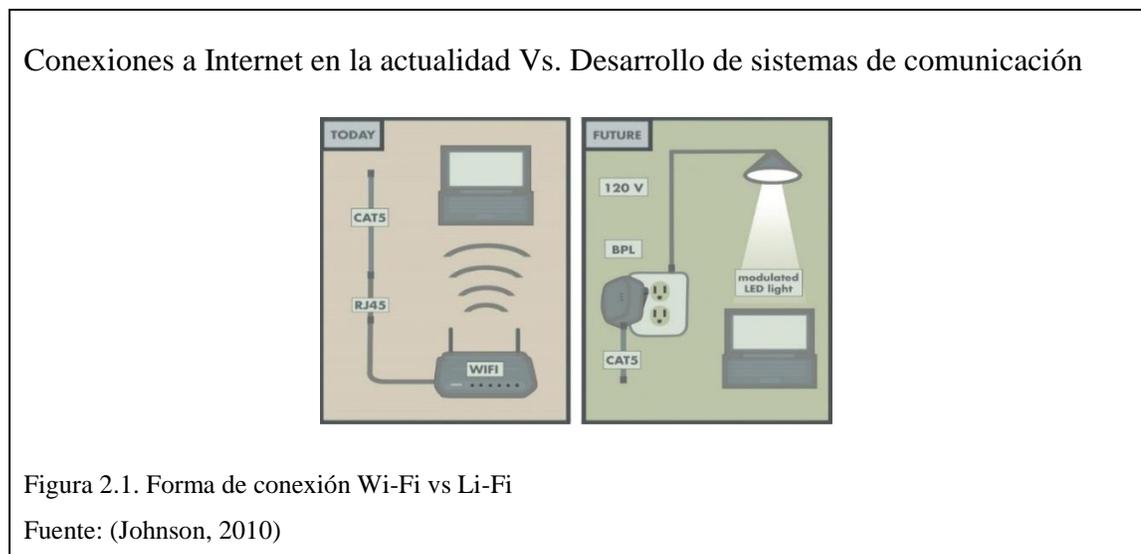
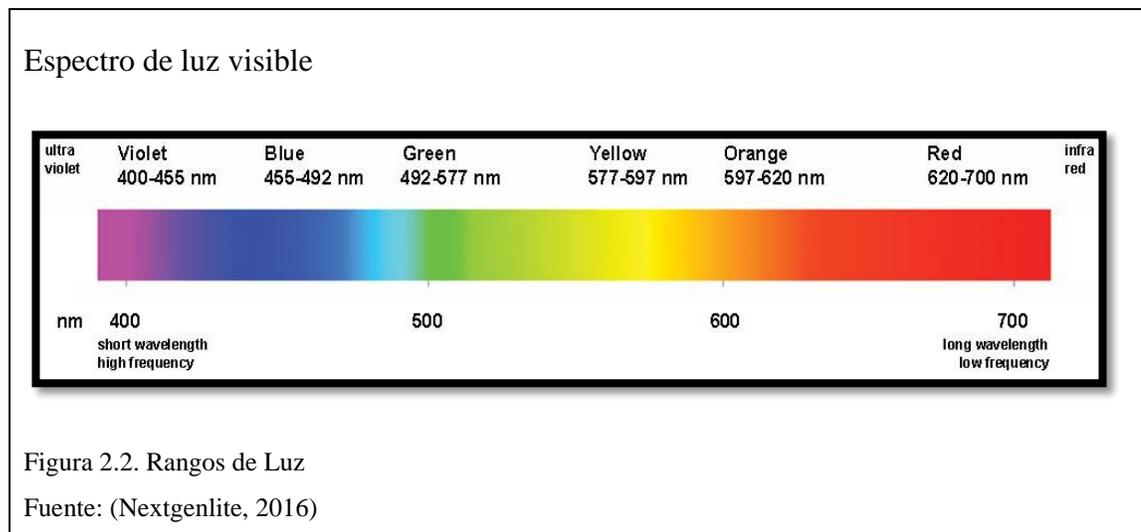


Figura 2.1. Forma de conexión Wi-Fi vs Li-Fi

Fuente: (Johnson, 2010)

2.2 Espectro visible de la luz

A diferencia del espectro electromagnético, este tipo de espectro es visible al ojo humano donde se observa una pequeña gama de radiaciones electromagnéticas con una longitud de onda que va en el rango de 380 a 770 nm como se observa en la Figura 2.2. (EcuRed, 2016)



2.3 Light Fidelity (Li-Fi)

2.3.1 Concepto

Nueva tecnología creada por el Profesor Harald Haas (Instituto Fraunhofer). Li-Fi se da como alternativa a Wi-Fi, es más segura por el medio en el que se transmiten los datos, ya que la luz al ser un medio no accesible la transmisión es más segura. (ITSitio Ecuador, 2016). Li-Fi es un término usado para describir la alta velocidad de VLC sobre escenarios de aplicación donde se podría utilizar Wi-Fi. En la Figura 2.3, se interpreta una tecnología que no contamina y no satura el uso de radio frecuencias ya existentes y que tienen gran demanda. Debido al desarrollo de la tecnología LED, tener una lámpara que no solo alumbrase sino también que proporcione datos a altas velocidades de transmisión de datos (10 Mb) hacia una PC es una manera práctica, barata, adaptable a los recursos existentes e ingeniosa para no desconectarnos del mundo. (AreaTecnologia, 2016)

Comunicación Li-Fi

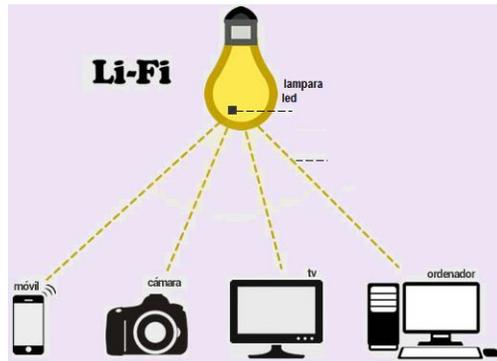


Figura 2.3. Forma de captación de datos

Fuente: (ITSitio Ecuador, 2016)

2.3.2 Funcionamiento

Esta tecnología basa su funcionamiento en la transmisión de datos mediante la luz, similar a la transmisión por cable de fibra óptica, exceptuando el medio físico, utilizando lámparas Led que trabajan con un flujo de corriente constante y que en este caso tendrían dos propósitos: iluminación y generación de 1 y 0 lógicos al variar su intensidad a una velocidad rápida por lo que el ojo humano no es capaz de percibir. (Peñañiel, 2016)

La lámpara Led recibe los datos desde un router o hotspot conectado a una red y la misma los envía a través del vacío donde un receptor de pulsos de luz se encarga de captar las variaciones de incidencia y luego se procesa dicha información y reproducirla en la PC. (Peñañiel, 2016)

La acción que efectúa el Led de conmutación (encendido - apagado) genera la frecuencia necesaria para la transmisión de información como se observa en la Figura 2.4.

Funcionamiento Li-Fi

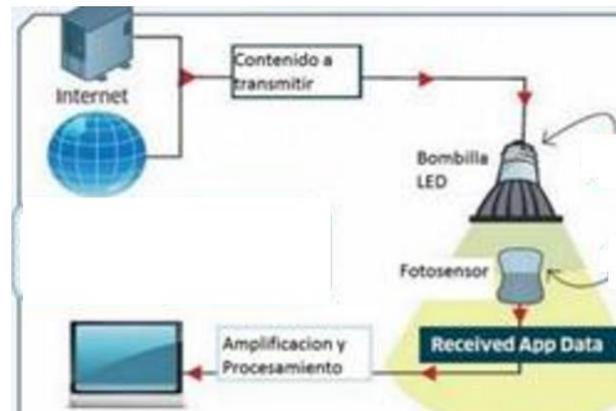


Figura 2.4. Proceso de transmisión de datos

Fuente: (ITSitio Ecuador, 2016)

2.3.3 Características

A continuación se indican las características de la tecnología:

- Capacidad.- Li-Fi al usar como medio de transmisión luz blanca, no restringe su ancho de banda o como en Wi-Fi, no se limita por el uso de una radio frecuencia, es decir, Li-Fi tiene un espectro 1000 veces más amplio que Wi-Fi. (Buenaño & Haro, 2016)
- Eficiencia.- Li-Fi usa diodos LED, mismos que son más económicos que un generador de ondas de radio frecuencia. Li-Fi puede transmitir datos en el orden de los Gbps y su transmisión es en paralelo, lo que aumenta la eficiencia. (Johnson, 2010)
- Saludable.- La luz visible no es un factor contaminante sobre la población, misma que está expuesta a este factor constantemente. La luz tampoco interfiere con ningún dispositivo electrónico. (Peñañiel, 2016)
- Seguridad.- Li-Fi no atraviesa paredes u objetos sólidos lo que permite seguridad y privacidad en la transmisión de datos. Además no necesita vinculación directa entre dispositivos como Bluetooth & WI-FI. (Buenaño & Haro, 2016)

- Accesibilidad.- Es accesible en cualquier lugar donde exista luz LED e incluso tener acceso bajo el agua. (Johnson, 2010)

2.3.4 Ventajas de Li-Fi

- Ofrece velocidades de 500 Mbps, más rápidas que las que ofrece Wi-Fi (11 Mbps, 54 Mbps, 300 Mbps). (AreaTecnologia, 2016)
- Todas las luminarias usadas en la actualidad pueden tornarse un router / hotspot con la colocación de un emisor Li-Fi. (AreaTecnologia, 2016)
- Li-Fi es más segura que Wi-Fi ya que la luz no atraviesa paredes. (AreaTecnologia, 2016)
- No usa bandas de frecuencias radioeléctricas como Wi-Fi por lo que no las satura. (AreaTecnologia, 2016)
- No interfiere con otros sistemas de comunicación. (AreaTecnologia, 2016)

2.3.5 Desventajas de Li-Fi

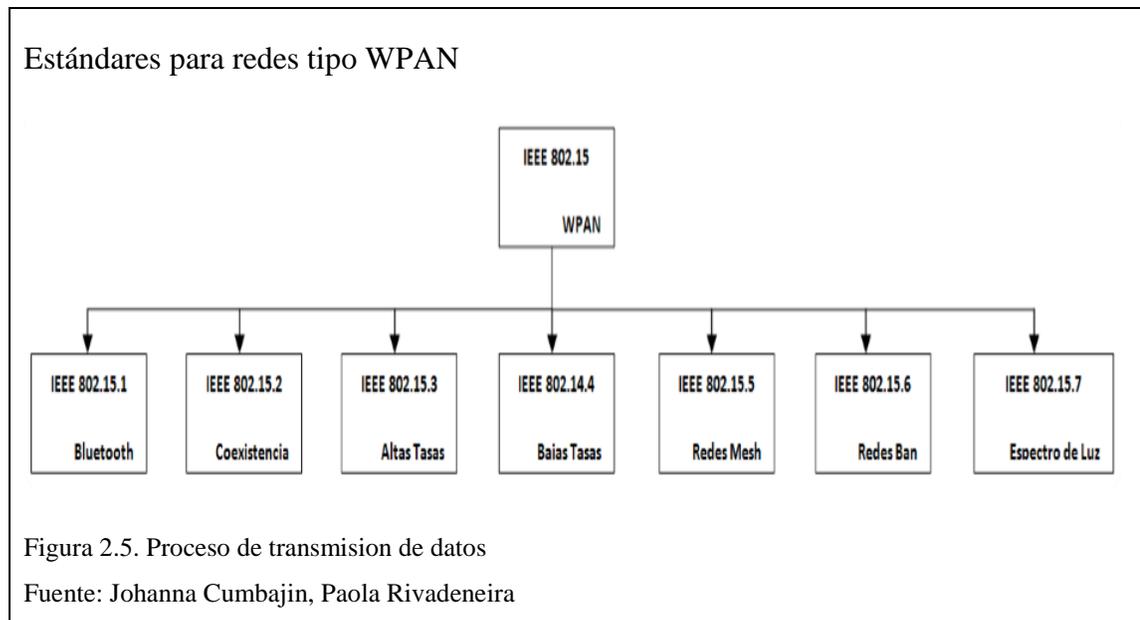
- Li-Fi al no atravesar paredes dificulta la recepción en distintos lugares, por lo que se necesitaría varios puntos de emisión y recepción en la misma instalación. (AreaTecnologia, 2016)
- Li-Fi necesita de una línea de visión directa de luz hacia el emisor y receptor, lo que aumentaría la tarifa del servicio básico. (AreaTecnologia, 2016)
- En caso de estar expuesto a la luz natural, se tendría interrupción en la transmisión de datos. (AreaTecnologia, 2016)
- Para el uso de Li-Fi es necesario que los dispositivos tengan receptores de luz, es decir receptores decodificadores de la señal luminosa. (AreaTecnologia, 2016)

2.4 Estándar de Comunicación IEEE 802.15.7

Si Wi-Fi utiliza el estándar IEEE 802.11, las VLC al ser un tipo de comunicación inalámbrica, de corto alcance y que tiene como principal elemento la luz visible en un rango de 380 a 780 nm tienen como estándar de comunicación IEEE 802.15.7 mismo que

permite comunicaciones de altas velocidades de datos de VLC de hasta 96 Mbps y trabaja a frecuencias de luz visible. (documents.mx, 2016)

Este estándar se aplica en las capas física (PHY) y capa de acceso (MAC) para comunicaciones en la banda de luz visible teniendo velocidades de datos capaces de soportar multimedia, audio y video. (Peñañiel, 2016)



En la Figura 2.5, se describe de qué manera está distribuida el estándar IEEE 802.15, Red de Área Personal.

Se presenta 3 tipos distintos de Capa Física PHY:

PHY I y PHY II: se tiene una transmisión con una entrada y una salida (SISO – Single In Single Out), teniendo una sola fuente de luz usando modulación OOK (On-Off Keying) y modulación VPPM (modulación por posición de pulso variable). (Peñañiel, 2016)

PHY I trabaja a velocidades de transmisión baja en un rango de 11.67 Kbps hasta 267.6 Kbps y PHY II trabaja a velocidades de transmisión media en un rango de 1.25 Mbps – 96 Mbps. (Peñañiel, 2016)

PHY III: se tiene una transmisión con múltiples entradas y múltiples salidas (SISO – Single In Single Out) y permite la influencia de múltiples fuentes ópticas con modulación CSK (modulación por desplazamiento de color). (Peñañiel, 2016)

2.5 Elementos involucrados en la transmisión y recepción Li-Fi

2.5.1 Diodo Led

LED con sus siglas Light Emitting Diode, es un Diodo Emisor de Luz. Elemento semiconductor que al ser polarizado en forma directa de la unión PN genera corriente eléctrica y como resultado de este proceso emite luz. Los LED operan en un rango de voltaje desde 1,8 hasta 3,8 V y a 10 y 20 mA. (Boylestad, 2011)

En la Tabla 2.1, se describen las características de funcionamiento de los posibles colores que puede tener el diodo led.

Tabla 2.1. Características de diodo led según su color

Color	Longitud de Onda [nm]	Luminosidad [mcd]	Frecuencia [THz]	Consumo [mA]	Tensión de Trabajo [V]
Infrarrojo	> 760		<400	10 - 20	1,9
Rojo	610 – 760	130 – 150	480 - 400	10 – 20	1,8
Naranja	590 – 610		510 - 480	10 – 20	2,0
Amarillo	570 – 590	130 – 150	530 – 510	10 – 20	2,0
Verde	500 – 570	510 – 525	580 - 510	10 – 20	3,0
Azul	450 – 500	455 -470	670 - 600	10 – 20	3,3
Morado	450 – 500	100	790 - 670	10 – 20	3,3
Ultravioleta	< 400		> 790	10 – 20	3,7
Blanco	Espectro completo	600 – 800	Espectro completo	10 - 20	3,4

Nota: Tabla de características de los led de colores. Fuente: www.asifunciona.com/tablas/leds/leds.htm

Entre las características más importantes de los Leds se tiene: mayor vida útil, ecológica para el medio ambiente, no emite demasiado calor por lo que no disipa energía. (Boylestad, 2011)

2.5.2 Fotodiodo

Es un dispositivo que conduce la corriente eléctrica dependiendo de la aumento de luz que recibe. Es utilizado también como detector de luz ya que al recibir luz la convierte en electricidad y esta variación eléctrica es la que indica el cambio de nivel de incidencia en el fotodiodo. Su funcionamiento es parecido al de un diodo semiconductor si su polarización es en directa por tal razón la luz que lo ilumine no ejercerá efecto alguno. El fotodiodo tiene más uso en circuitos con tiempo de respuesta más corto y una de las características de los mismos es que tiene pronta respuesta de velocidad a los cambios de ambiente: de oscuro a luminoso. (Bolaños, 2016)

2.5.3 Arduino

Es una plataforma electrónica libre que permite crear aplicaciones que usan microcontroladores de software y hardware fáciles de usar. Su lenguaje de programación es de Arduino, mismo que está basado C++ y con un ambiente de programación sencillo. (Arduino, 2016)

Tabla 2.2. Características de Tarjetas Arduino

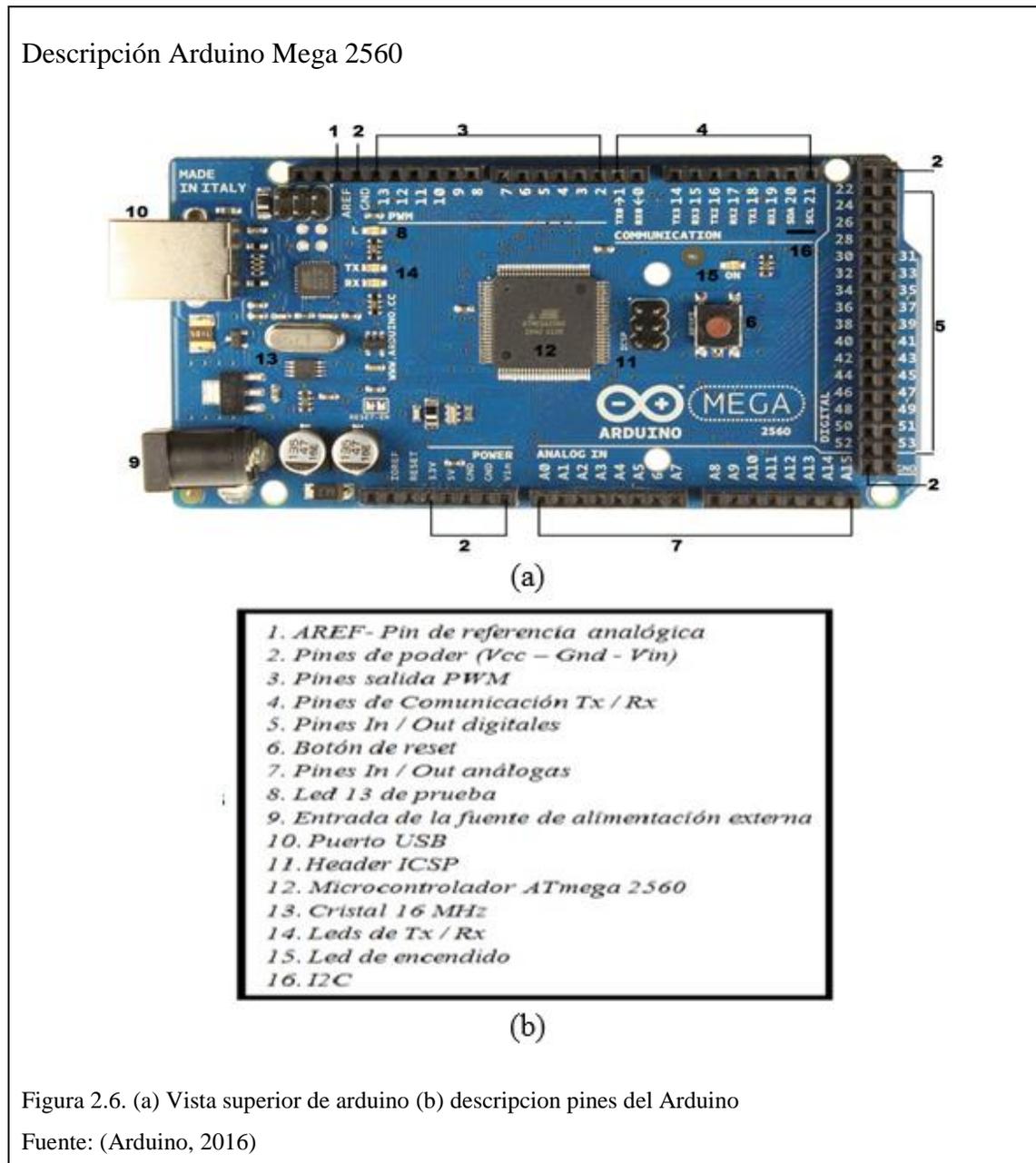
Gama Arduino	In / Out digitales / PWM	In / Out analógicas	UART	Compatibilidad Ethernet	Memoria / SRAM [Kb]
Mega	54 / 15	16 / 0	4	Si	256 / 8
Uno	14 / 6	6 / 0	1	Si	32 / 2
Micro	20 / 7	12 / 0	1	No	32 / 2.5
Pro Mini	14 / 6	6 / 0	1	No	32 / 2

Nota: Descripción tarjetas Arduino. Johanna Cumbajin, Paola Rivadeneira

En la Tabla 2.2, se indican ciertos tipos de placas Arduino y sus características de funcionamiento, entre ellas se mencionan dos aspectos importantes, sus puertos seriales (UART) y su compatibilidad con los Ethernet Shield por los cuales se toma en cuenta a la placa Arduino Mega, además que su capacidad de memoria y procesamiento es necesaria para el código de línea a implementar. (5Hertz ELECTRONICA, 2016)

Para la implementación del sistema de comunicación Li-Fi, se han utilizado las placas Arduino Mega 2560 mismas que están fundamentadas en el microcontrolador ATmega 2560 que facilita la programación constante del usuario.

En la Figura 2.6, se describirán las partes de la placa de circuito impreso.

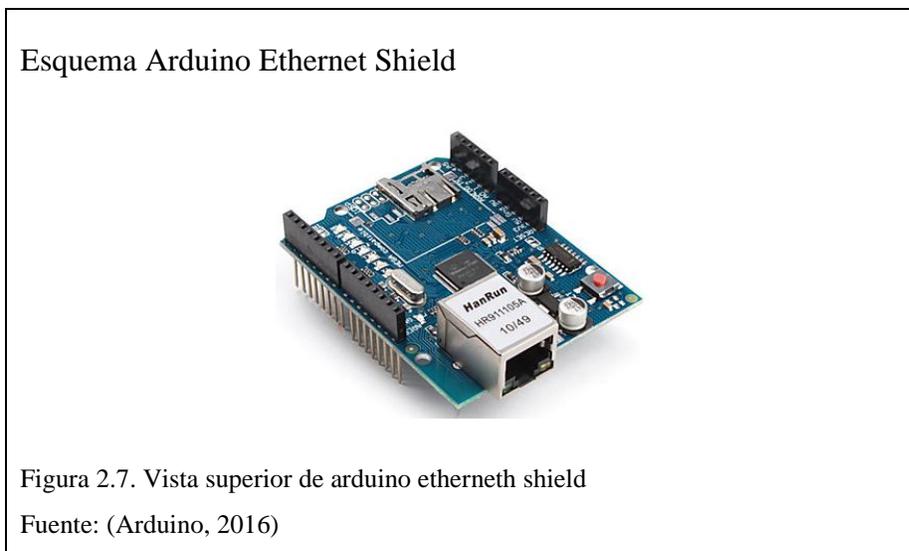


Donde:

- UARTs (Receptor / Transmisor Asíncrono Universal, utilizado para comunicaciones seriales, en caso de tratarse del receptor – entrada convierte los datos de serie a paralelo y convierte datos de paralelos a serie en caso de ser transmisor - salida). (Arduino, 2016)
- Conector ICSP (In Circuit Serial Programming, programa el cargador de arranque del microcontrolador ATmega). (Arduino, 2016)

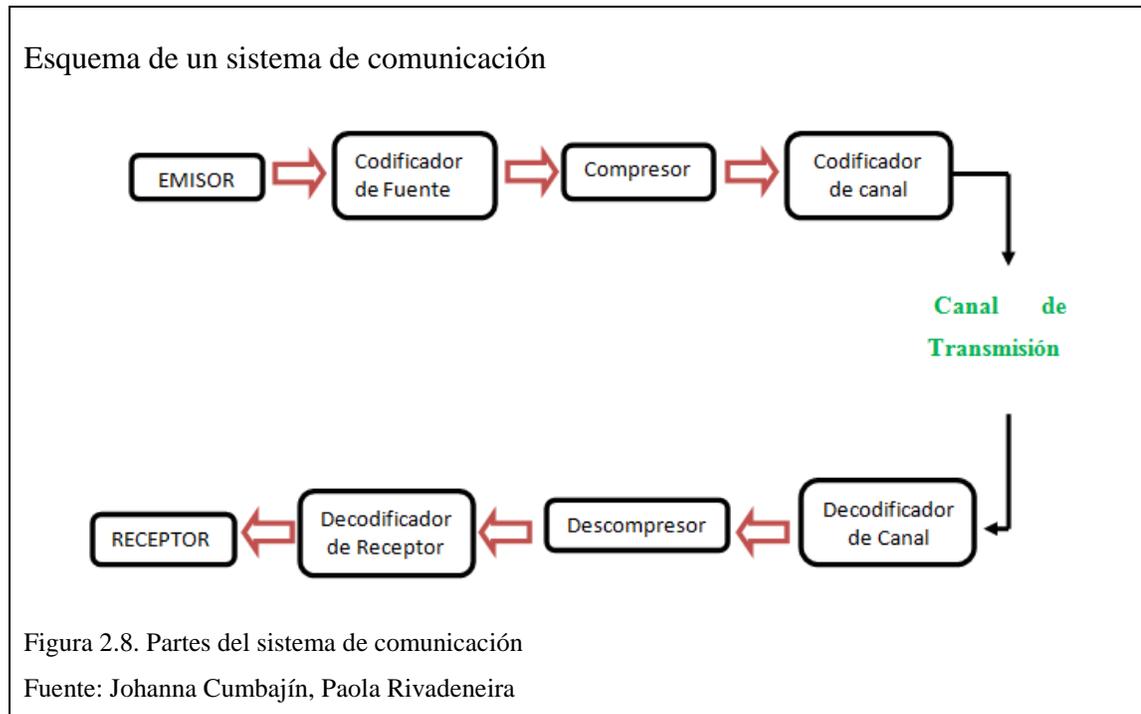
2.5.4 Arduino Ethernet Shield

Este dispositivo prediseñado es llamado también Escudo-Shield, se conecta directamente a la placa Arduino y da paso para que se conecte a internet. Consta de un chip Wiznet W5100 con memoria de 16 Kb, que da red IP utilizando librerías Ethernet y tiene la capacidad de soportar máximo hasta 4 conexiones simultáneas. Se conectan de esta manera, para tener un servidor web o a su vez un cliente. Shield tiene una velocidad de conexión de 10/100 Mb, un conector Ethernet RJ45 estándar, un conector lector de tarjeta Micro SD, botón de reset que aplica su funcionamiento para ambas placas, Leds de información como se observa en la Figura 2.7. Vista superior de arduino ethernet shield Figura 2.7. (Arduino, 2016)



2.6 Sistema de Comunicación

Un sistema de comunicación efectúa la transmisión de información desde su emisor hasta su receptor mediante un canal, como se muestra en la Figura 2.8.



2.6.1 Comunicación Serial

Comunicación en la cual se reciben y envían bytes que contienen información de manera secuencial y no en bloques en un proceso con características similares entre emisor y receptor, aunque el proceso sea más lento que la comunicación en paralelo, permite alcanzar mayores distancias. La comunicación serial transmite datos en formato ASCII. (Vergara Díaz, 2009)

Se usan tres líneas de transmisión: Tierra, Tx, Rx. Las características son su velocidad de transmisión, bits de datos, bits de parada, paridad. (Vergara Díaz, 2009)

2.6.1.1 Velocidad de transmisión

Medida en baudios – bauds, indica la cantidad de bits que están siendo transmitidos en una unidad de tiempo. Generalmente se toma en cuenta a los bauds como bps, en caso de requerir mayores velocidades, se debería reducir la distancia de transmisión, como se determina en las ecuaciones a continuación. (Galeon Hispavista, 2016)

$$V_m = \frac{1}{T} \quad (2.1)$$

$$V_t = \frac{1}{T} (\log_2 M) \quad (2.1)$$

$$V_t = V_m (\log_2 M) \quad (2.2)$$

Donde:

M: el número de niveles significativos (M= 2) en la transmisión

V_m: Velocidad medida en baudios (la cantidad de baudios coincide con la cantidad de bps transmitidos)

2.6.1.2 Bits de datos

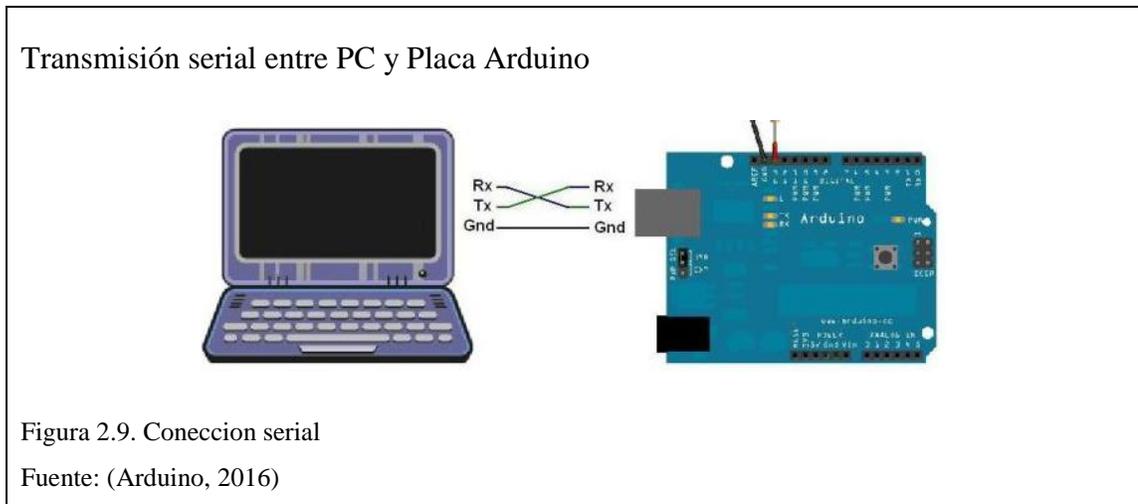
Son la cantidad de bits que se están transmitiendo. La cantidad de bits enviados en una transmisión depende en el tipo de lenguaje que se esté usando. (Catarina, 2016)

2.6.1.3 Bits de parada

Indica el fin de la comunicación de un paquete e indica el rango de tolerancia de diferencia entre los relojes de emisor y transmisor. La transmisión es más lenta cuando existen más bits de parada y mayor es la tolerancia a la sincronía del sistema de comunicación. (Catarina, 2016)

2.6.1.4 Paridad

Sirve para verificar la existencia de errores en la comunicación de este tipo. Existen 4 tipos de paridad: par, impar, marcada y espaciada. Estas paridades ayudan al receptor conocer el estado del bit y determinar si existe ruido que pueda afectar la comunicación o si no existe sincronización en la misma. La Figura 2.9, indica la forma en la que está conectado el puerto serial de la placa con el computador. (Catarina, 2016)



2.6.2 Trasmisión Síncrona

Transmisión en la cual la señal es enviada en un tiempo exacto e igual entre emisor y receptor, es decir, tienen un mismo reloj o clock. Necesita dos líneas, una para la transmisión donde actuaran los estados de los bits y otra para la señal clock. Para sincronizar al sistema, el emisor envía una señal de inicio que activa la señal del reloj para la sincronización del proceso. No existe ningún tipo de espacio en la información enviada, razón por la cual se pueden transmitir grandes cantidades de datos. (Comer, 1997)

2.6.3 Trasmisión Asíncrona

Esta transmisión no tiene señal de reloj por lo que la velocidad de transmisión de datos es convenida entre emisor y receptor. Es así que el funcionamiento del proceso inicia cuando el receptor percibe el primer cambio de estado, una línea que varía de estado de alto a bajo, tiene el conocimiento que luego de cierto corto tiempo (us) receptorá el primer bit

enviado por el emisor y luego de otra cantidad igual de tiempo llegará el segundo bits. (Comer, 1997)

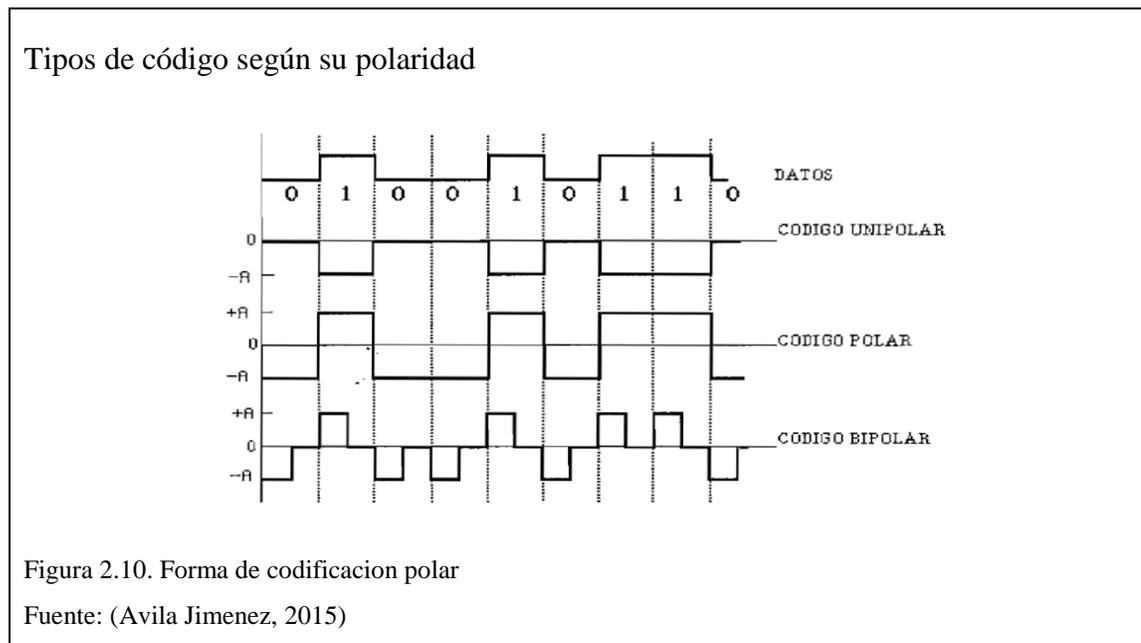
2.7 Códigos de Línea

Los códigos de línea representan una opción para la transmisión de cada dato binario en forma de pulsos donde su duración corresponde a su bit de representación. Los códigos de línea permiten a la señal tener una adecuada conformación de espectro de energía y de esta manera tener una respuesta optima del medio de transmisión. (Paz Penagos, 2009). Dichos pulsos o códigos pueden clasificarse:

2.7.1 Según su polaridad:

- Polar: señal dos niveles de amplitud, valores positivos en 1L y valores negativos en 0L. Los estados lógicos binarios son identificados según el signo. En este caso se excluye el nivel 0. (Paz Penagos, 2009)
- Unipolar: señal solo toma valores positivos o negativos y se incluye el nivel cero al tener un 0L. (Paz Penagos, 2009)
- Bipolar: señal que usa tres niveles: positivo negativo y cero. 0L tendrá un valor negativo y 1L valor positivo, pero a mitad de tiempo de bit retorna a cero en ambos niveles lógicos. (Paz Penagos, 2009)

En la Figura 2.10, se indica la codificación según la polaridad.

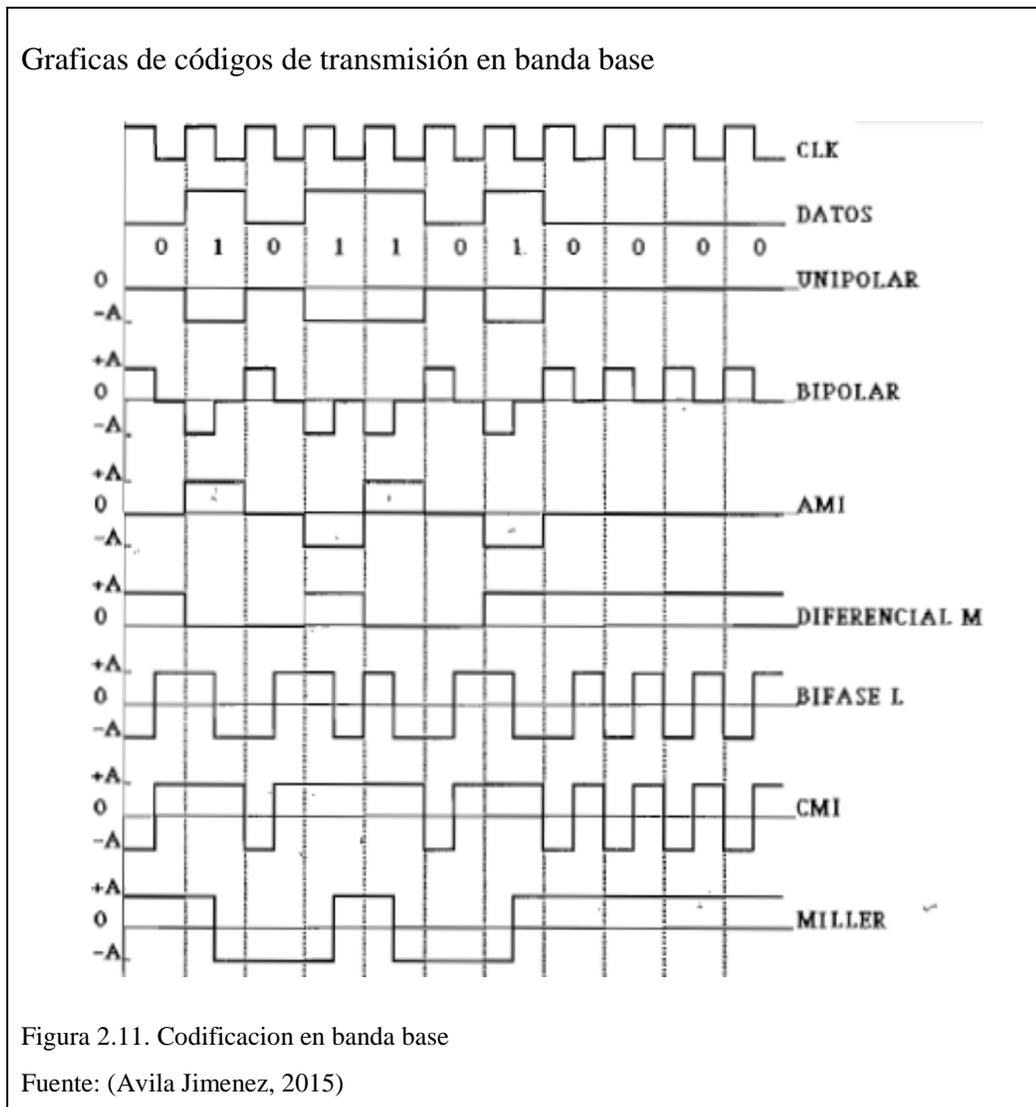


2.7.2 Según códigos de transmisión en banda base

- Código AMI (Alternante Mark Inversión).- se emplean pulsos de polaridad alternada (positivo - negativo) para la codificación de 1L y los 0L se codifican con ausencia de pulsos, en nivel 0L. (Paz Penagos, 2009)
- Códigos diferenciales.- uno de los dos símbolos binarios cambia el nivel de la señal, mientras el otro no lo hace. En caso que 1L produzca el cambio, se tendrá código M; en 0L se tendrá código S. (Paz Penagos, 2009)
- Códigos Bifase.- Se tienen transiciones ente dos niveles positivo y negativo, se excluye el nivel 0, dichas transiciones se dan a mitad de tiempo de bit. Si se dan las transiciones en 0L y 1L alternados, se denota la transición de un tiempo de bit completo, en cambio al tener los binarios continuos, se tienen mitad de tiempo de bit. (Paz Penagos, 2009)
- Modulación por retardo o código de Miller.- Se basa en la transiciones de dos niveles de distinta polaridad, los 1L cambian la polaridad de la señal a mitad del tiempo de bit, mientras los 0L toman la mitad del tiempo de bit del 1L; al tener 0L continuos, estos toman la posición de su bit anterior. (Paz Penagos, 2009)

- Códigos pseudoternarios.- este código asigna a las secuencias binarias de entrada una señal de salida de tres niveles. Se clasifica en pseudoternarios lineales y pseudoternarios no lineales. (Paz Penagos, 2009)
- Códigos entrelazados.- se basa en una técnica que varía las codificaciones entre sí, de tal manera que cambia la densidad espectral de potencia. (Paz Penagos, 2009)

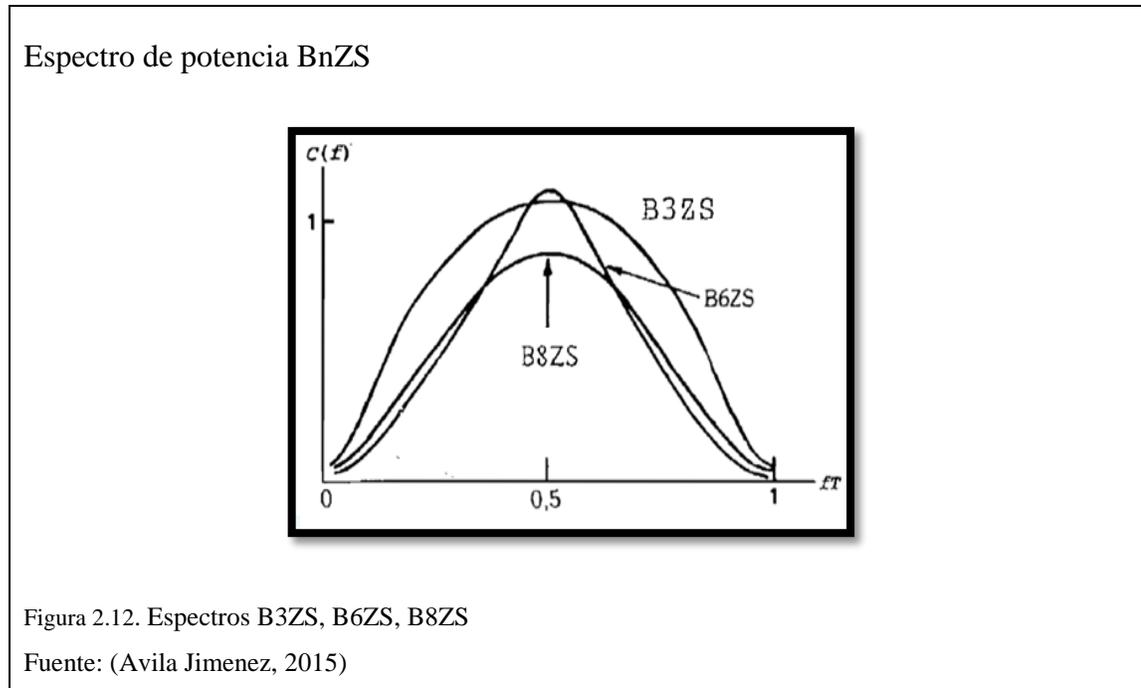
En la Figura 2.11, indica los códigos de línea en banda base.



2.8 Espectro de Potencia

Espectro de potencia es una función que indica de qué manera está distribuida la potencia o energía de una señal sobre las frecuencias que forman el espectro. (Avila Jimenez, 2015).

En la Figura 2.12, se observa el nivel de potencia y el tamaño del ancho de banda de cada uno de los casos del código de línea BnZS.



CAPÍTULO III

DESARROLLO E IMPLEMENTACION DEL ALGORITMO DE CODIFICACIÓN DE LINEA BnZS Y COMPRESION DE DATOS

Este capítulo describe el diseño y programación del algoritmo de línea para la disminución del ancho de banda de los bits a transmitirse, y de esta manera optimizar el uso de canal, además del diseño de un circuito comparador para la salida y entrada de señales en tres niveles. Las actividades a desarrollar en el proyecto son:

3.1 Código de línea BnZS

Este código mejora la sincronización, se obtienen pulsos positivos y negativos en el caso de tener 0L seguidos. Es un código que disminuye el volumen de datos, a pesar de ser más complejo en su implementación, BnZS tienen la capacidad de mejora en la exactitud de la recuperación del reloj. (Avila Jimenez, 2015)

3.1.1 Código B3ZS

El código B3ZS (Bipolar with three-Zero Substitution) código con sustitución de tres ceros (n).

La estructura del código es la siguiente:

- Usa el código AMI para los 1L, es decir, el estado binario varía entre niveles positivos y negativos y mientras no se cumpla con la condición de tener 3 0L seguidos, su señal se registrará en 1 nivel 0. (Avila Jimenez, 2015)
- Los 1L dan la paridad para aplicar las reglas del código en el tren de bits de los 0L. (Avila Jimenez, 2015)
- Al tener la secuencia de tres 0L continuos, se sustituye por BOV o OOV, donde B es un pulso que cumple la función de 1L y sigue la secuencia de los 1L que le preceden y V es un pulso que viola la regla bipolar. (Avila Jimenez, 2015)
- En caso de tener una cadena de más de tres 0L y que cumplan con la condición de 3 0L seguidos, se toma como si fuera un caso par ya que hay ausencia de 1L que determinen su paridad. (Avila Jimenez, 2015)

Con la Tabla 3.1, se puede definir la codificación en B3ZS:

Tabla 3.1. Regla de sustitución B3ZS

Polaridad del pulso precedente	Nº de 1 _L desde la última sustitución	
	Impar (OOV)	Par (BOV)
-	00-	+0+
+	00+	-0-

Nota: Casos de B3ZS. Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

En la Tabla 3.2, se observa un ejemplo de codificación B3ZS:

Tabla 3.2. Ejemplo de codificación para caso par e impar B3ZS

Entrada Binaria	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
Caso Par	-	0	+	-	+	0	+	-	+	-	0	-	+	0	+	0	0	-	0	0	-	+
Entrada Binaria	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Caso Impar	+	-	0	+	0	0	+	-	+	-	0	-	+	0	+	0	0	-	0	0	-	+

Nota: Ejemplo de codificación B3ZS. Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

3.1.2 Código B6ZS

La base de la codificación B6ZS es similar a B3ZS, al tener secuencia seguida de 6 0L se reemplaza en base a las reglas dadas y según el signo que le antecede. (Avila Jimenez, 2015). Con la Tabla 3.3, se puede definir la codificación en B6ZS:

Tabla 3.3. Regla de sustitución B6ZS

Polaridad del pulso que precede inmediatamente a los 6 ceros a sustituirse	Sustitución
-	0-+0+-
+	0+-0-+

Nota: Casos para B6ZS. Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

En la Tabla 3.4, se observa un ejemplo de codificación B6ZS:

Tabla 3.4. Ejemplo de codificación para polaridad positiva y negativa B6ZS

Entrada Binaria	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Polaridad positiva	+	0	+	-	0	-	+	-	0	+	-	0	-	+	0	+	-	0	-	+	0	+	-
Polaridad negativa	-	0	-	+	0	+	-	+	0	-	+	0	+	-	0	-	+	0	+	-	0	-	+

Nota: Ejemplo de codificación B6ZS. Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

3.1.3 Código B8ZS

La codificación B8ZS es similar a B3ZS y B6ZS, al tener secuencia seguida de 8 0L en la cual se reemplaza en base a las reglas dadas y según el signo que le antecede. (Avila Jimenez, 2015)

Con la Tabla 3.5, se puede definir la codificación en B8ZS:

Tabla 3.5. Regla de sustitución B8ZS

Polaridad del pulso que precede inmediatamente a los 8 ceros a sustituirse	Sustitución
-	000-+0+-
+	000+-0-+

Nota: Casos B8ZS. Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

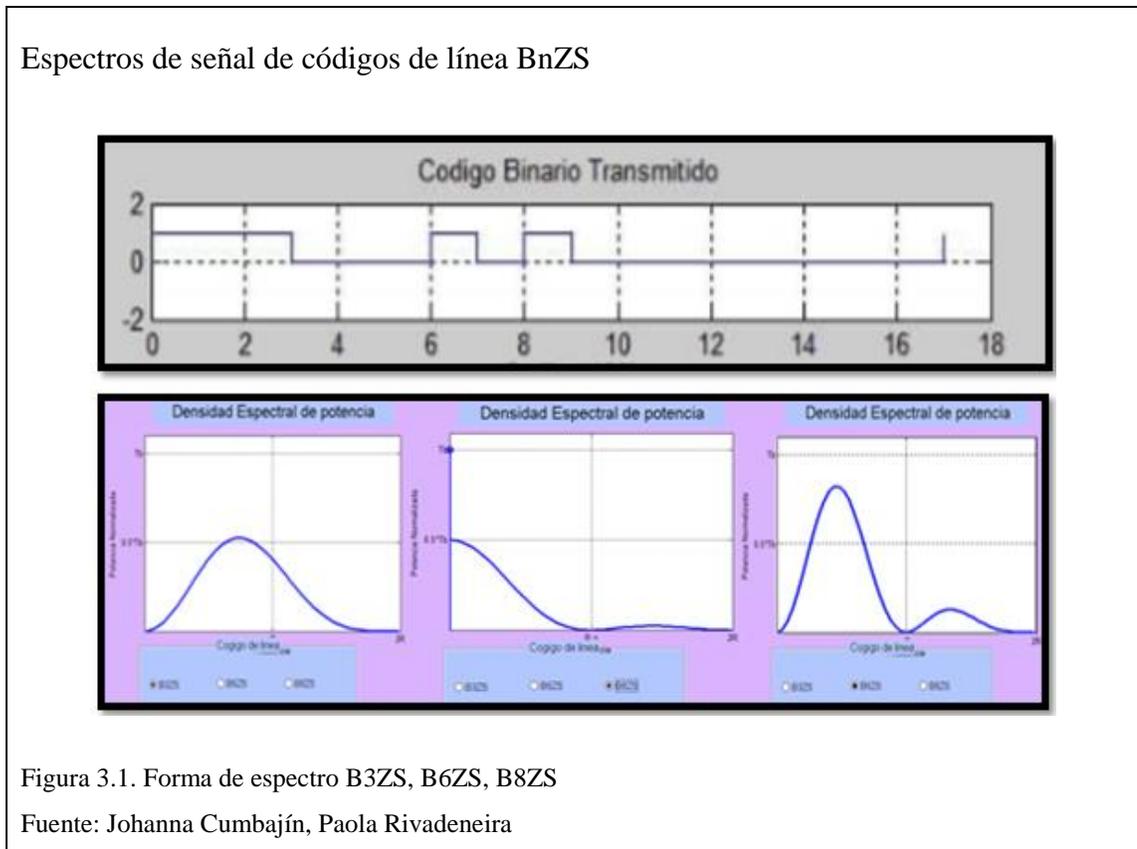
En la siguiente Tabla 3.6, se observa un ejemplo de codificación B8ZS:

Tabla 3.6. Ejemplo de codificación para polaridad positiva y negativa B8ZS

Entrada Binaria	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Polaridad positiva	+	0	0	0	+	-	0	-	+	-	+	0	0	0	+	-	0	-	+	0	+	-
Polaridad negativa	-	0	0	0	-	+	0	+	-	+	-	0	0	0	-	+	0	+	-	0	-	+

Nota: Ejemplo de codificación B8ZS. Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

La Figura 3.1, indica un ejemplo donde se aplican los tres códigos de línea BnZS para observar la forma de espectro de frecuencia y determinar que codificación disminuye el volumen de los datos transmitidos



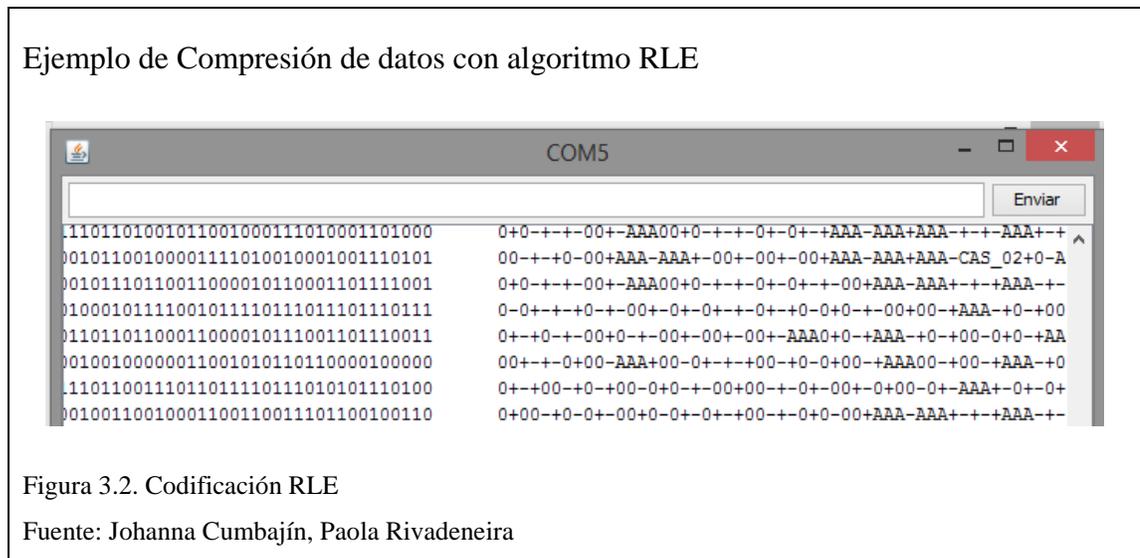
3.2 Compresión de datos

Para la reducción del volumen de datos transmitidos, adicional al código de línea planteado, se usa compresión de datos, que se basa en representar la misma información y ocupar menos espacio. Cuando se habla de compresión, se puede decir que se está codificando, porque la señal original que es enviada se reduce al aplicar cierta codificación. Para la compresión de datos, al igual que en la codificación, se necesita un códec en la emisión y recepción de la señal. (Robert, 1995)

El algoritmo de compresión de datos que se aplicará en el software implementado, es el conocido como RLE que se describe a continuación.

3.2.1 Algoritmo Run Length Encoding

Es un algoritmo simple de compresión sin pérdidas en la cual al detectar una cadena de repeticiones en serie de datos, los almacena solo en un dato seguido del número de veces que este se repite como por ejemplo en una cadena de 00000000 la compresión seria de 6-0. En el primer byte se indica el número de repeticiones del carácter y en el segundo byte el carácter (Morales Sandoval, 2016)



La Figura 3.2, indica la aplicación del algoritmo de compresión RLE sobre una cadena seguida de tres ceros lógicos, y los representa con una cadena de AAA, sin embargo, al pasar por la luz, está representado por un solo carácter.

3.3 Diagrama del Sistema Unidireccional

El diagrama del sistema unidireccional de este proyecto es una red punto a punto que se comunica de manera serial. Se usa como transmisor una tarjeta Arduino Mega conectada a un Ethernet Shield; seguida del codificador que es un Arduino, el cual, está conectado a una lámpara. Como receptor se usa un fotodiodo que envía la señal al decodificador que es un Arduino, conectado al receptor, es decir, al Arduino con el Ethernet Shield.

La conexión web se realiza mediante dos computadoras las que actúan como servidor y cliente respectivamente. En la Figura 3.3, se observa como está formado el sistema unidireccional con los materiales que se usan en el transmisor y receptor.

Diagrama del sistema unidireccional

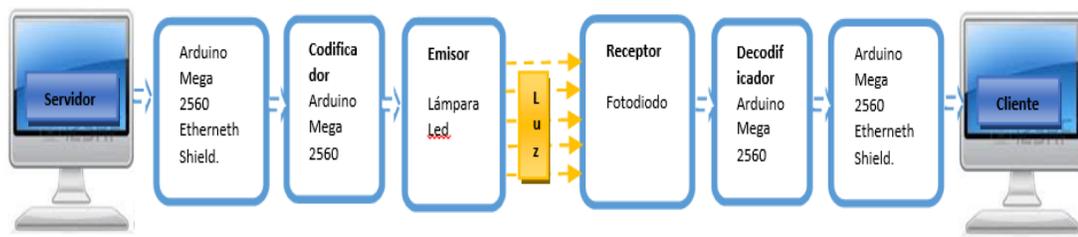


Figura 3.3. Partes del sistema unidireccional

Fuente: Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

3.4 Diseño del Sistema Unidireccional

En la plataforma Proteus se realizó el diseño de los circuitos que se conectan a las placas Arduino, tanto en transmisor como en receptor ya que facilita la visualización esquemática de los diseños realizados.

Diseño de emisor y receptor

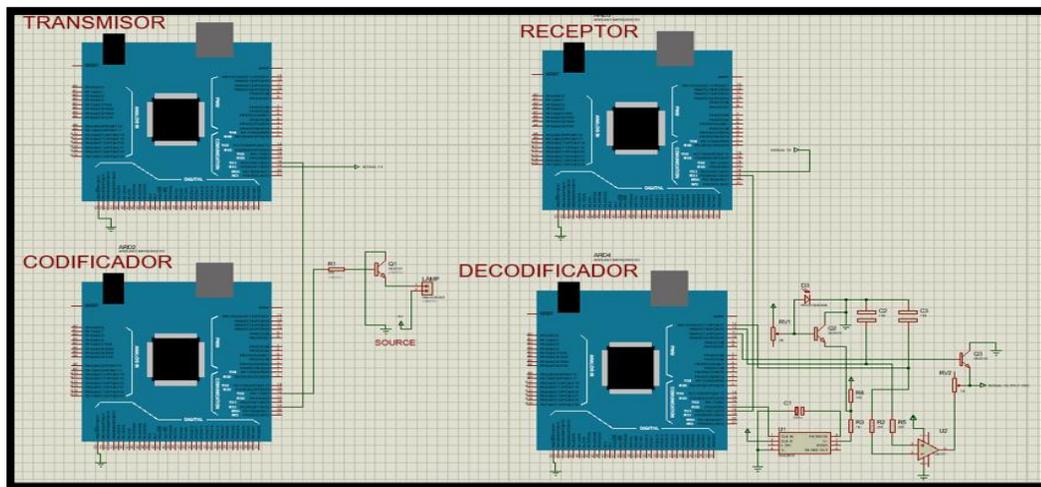


Figura 3.4. Diagramas del sistema VLC

Fuente: Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

En la Figura 3.4, se observa la simulación del sistema de comunicación unidireccional VLC. El transmisor consta de un Ethernet Shield acoplado al Arduino Mega 2560 conectados al codificador (Arduino Mega 2560), el cual, envía la señal digital a la lámpara led. El receptor está formado por un fotodiodo que recibe la señal de la lámpara, se conecta al decodificador (Arduino Mega 2560), conectado a un amplificador y a su vez a un comparador que indica los niveles de la codificación, por último conectado al receptor mediante el Arduino Mega 2560 al cual se acopla el Ethernet Shield.

3.4.1 Comparador

El comparador, es un circuito lineal que se usa para comparar señales, diferencia las tensiones variables teniendo una tensión fija como referencia.

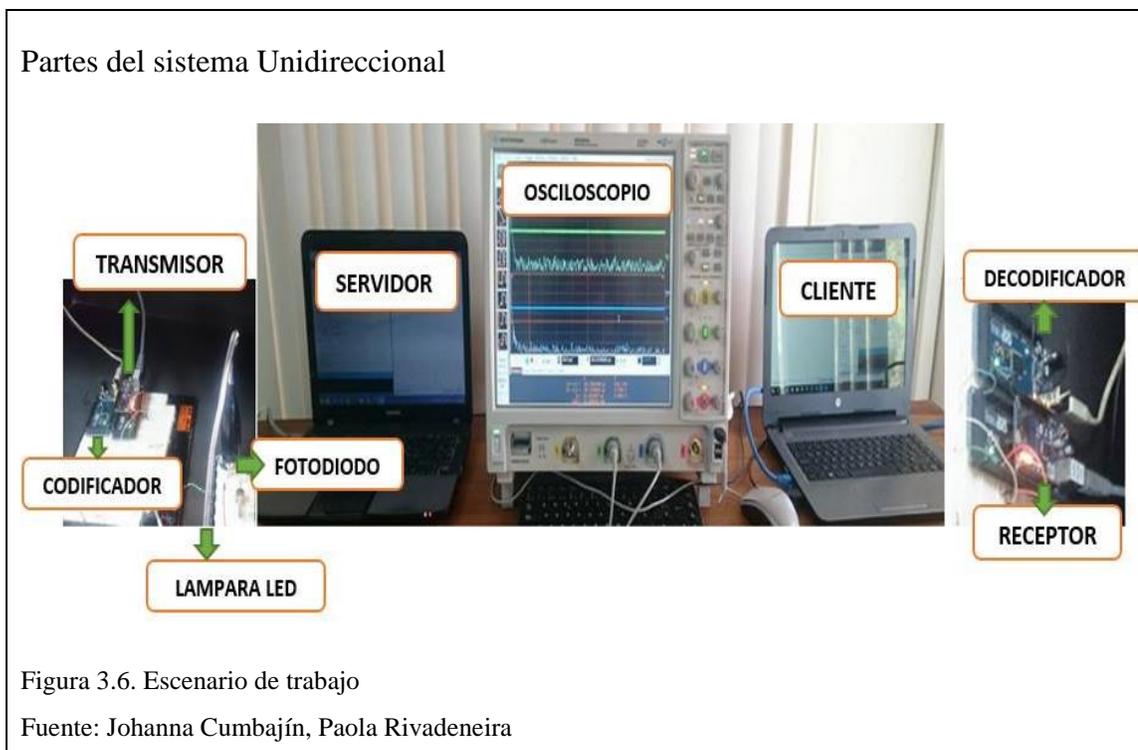
En el sistema de luz visible se usa un comparador, tiene la función de recibir la señal y comparar los pulsos codificados del B6ZS que tienen tres niveles: positivo, cero y negativo como se observa en la Figura 3.5.



3.5 Montaje del escenario

En la Figura 3.6, se observa el escenario de trabajo que consta en la parte del transmisor con: una computadora que funciona como servidor, 2 Arduino Mega 2560 con un Ethernet Shield y la lámpara led que envía los datos. El receptor está formado por: un fotodiodo que recibe los pulsos de luz, 2 Arduino Mega 2560 con un Ethernet Shield y la computadora que funciona como cliente.

El funcionamiento se basa en la petición del cliente, se pide una página web que está en el servidor, al recibir esa orden empieza la transmisión digital que es codificada y pasa por la lámpara, el fotodiodo recibe los pulsos de luz que se amplifican y pasan por el decodificador, empieza a recibir los datos el Arduino, se observa como la página solicitada empieza a reconstruirse en la computadora.



3.6 Diagrama de flujo del proceso

El diagrama de flujo explica el proceso general del funcionamiento de la comunicación mediante la luz, es decir, del transmisor como receptor.

3.6.1 Diagrama de flujo del receptor

En la Figura 3.7, se genera un flujograma que determina paso a paso el proceso del receptor al enviar una petición al servidor web.

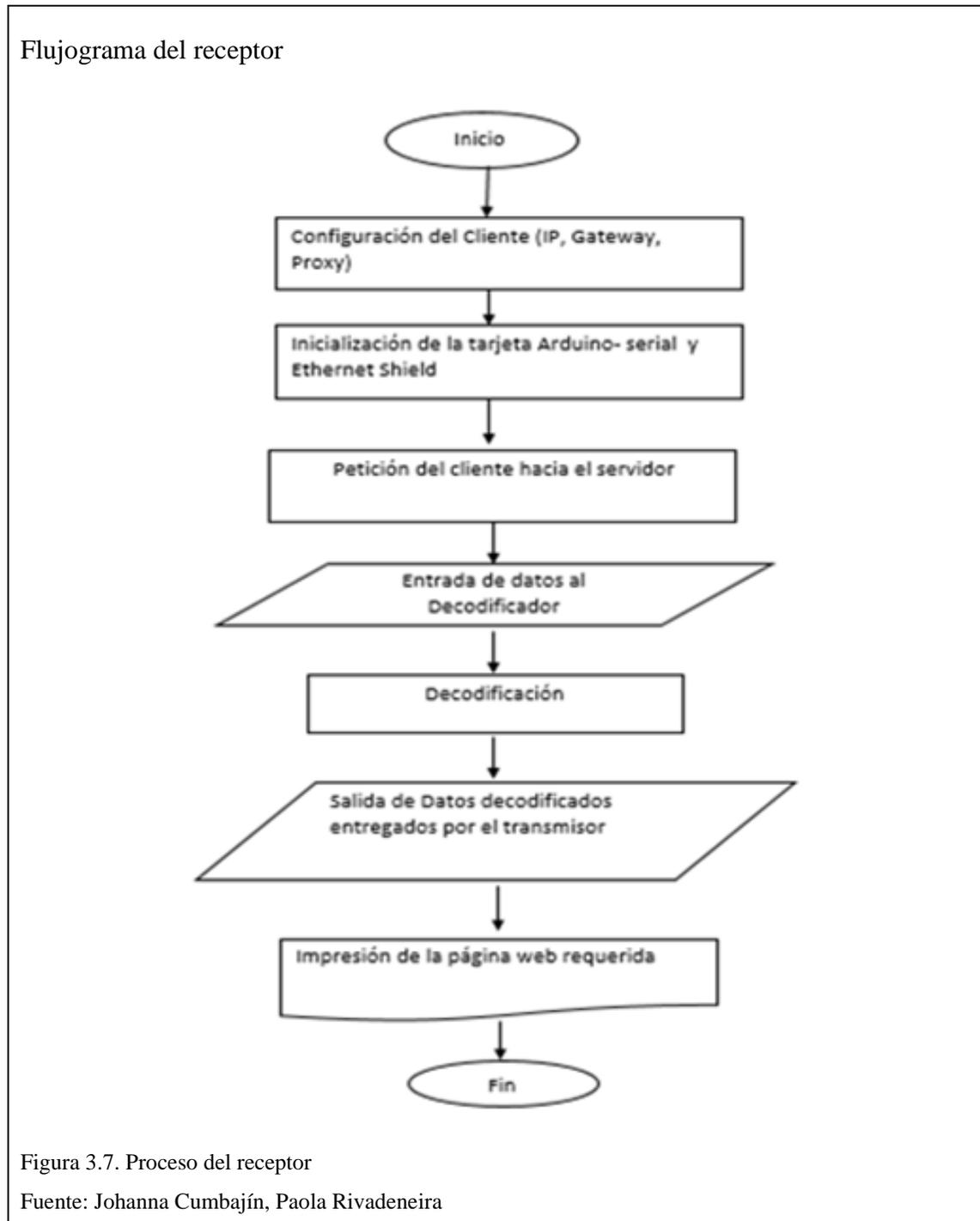


Figura 3.7. Proceso del receptor

Fuente: Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

Donde:

- Se inicia cargando las librerías que sean necesarias en el Arduino para la comunicación serial.
- Se configura la IP, Gateway, Proxy en la computadora que funciona como cliente para poder comunicarse con el servidor.
- Realizar una petición en el navegador web para que el servidor empiece a enviar los datos a transmitir.
- Ingreso de los datos mediante la luz, el puerto se activa para recibir los datos.
- Los datos se amplifican y pasan por el decodificador para volver a su configuración inicial.
- Por medio de la comunicación serial la página empieza a imprimirse en el navegador.

3.6.2 Diagrama de flujo del transmisor

En la Figura 3.8, se genera un flujo grama que determina paso a paso el proceso del transmisor al recibir una petición del cliente.

Donde:

- Se inicia cargando las librerías que sean necesarias en el Arduino para la comunicación serial.
- Se configura la IP, Gateway, Proxy en la computadora que funciona como cliente para comunicarse con el servidor.
- El instante que el cliente envía una petición el servidor procesa la información y empieza a enviar los datos necesarios.
- Los datos salen de forma binaria e ingresan al codificador el que se encarga de transformarlos al código de línea B6ZS.
- Los datos se transmiten por medio de la lámpara led en forma de pulsos.

Flujograma del Transmisor



Figura 3.8. Proceso del transmisor

Fuente: Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y MEDICIONES

Este capítulo consta de los resultados de pruebas y mediciones realizadas en el escenario implementado variando su velocidad y distancia, de esta manera, se podrán comprar los datos obtenidos en la transmisión de banda base y transmisión aplicando los códigos de línea.

4.1 Equipo usado para efectuar las pruebas

Para realizar las pruebas y mediciones se usa el osciloscopio Agilent de la Figura 4.1, este equipo se encuentra en el laboratorio de Comunicaciones Avanzadas, tiene funciones para medir el ancho de banda directamente.

Osciloscopio Agilent

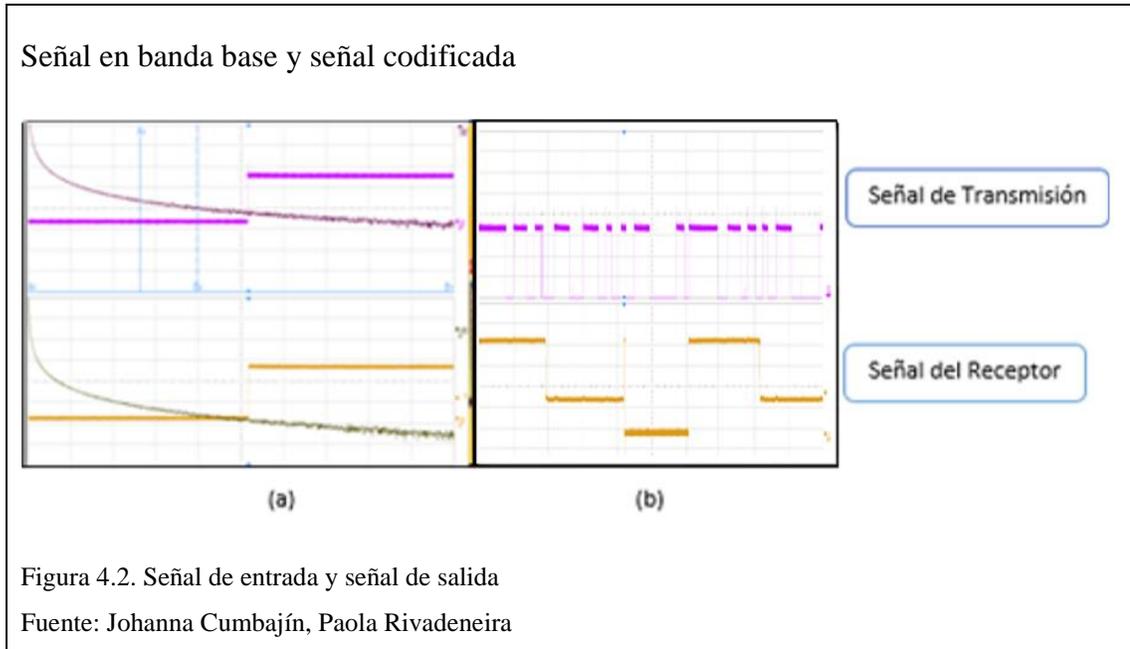


Figura 4.1. Vista frontal del osciloscopio

Fuente: Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

4.2 Funcionamiento del sistema

Al realizar la implementación del sistema de comunicación unidireccional se debe comprobar que la conexión se establezca, tanto en banda base como codificada.



En la Figura 4.2, se observan las dos señales de transmisión y recepción, eso indica que la comunicación se estableció satisfactoriamente, la figura (a) hace referencia a la transmisión de banda base, la figura (b) hace referencia a la transmisión de la señal codificada.

4.3 Pruebas de las señales en banda base y señal codificada

El objetivo de esta prueba es observar el comportamiento de la señal en banda base y la señal codificada, determinar sus características y espectro que serán visualizadas en el osciloscopio.

Para realizar esta prueba se varía la velocidad a una distancia constante, se observarán las señales codificadas y en banda base con su respectivo espectro como indica la Figura 4.3.

Señal transmitida en banda base y codificada

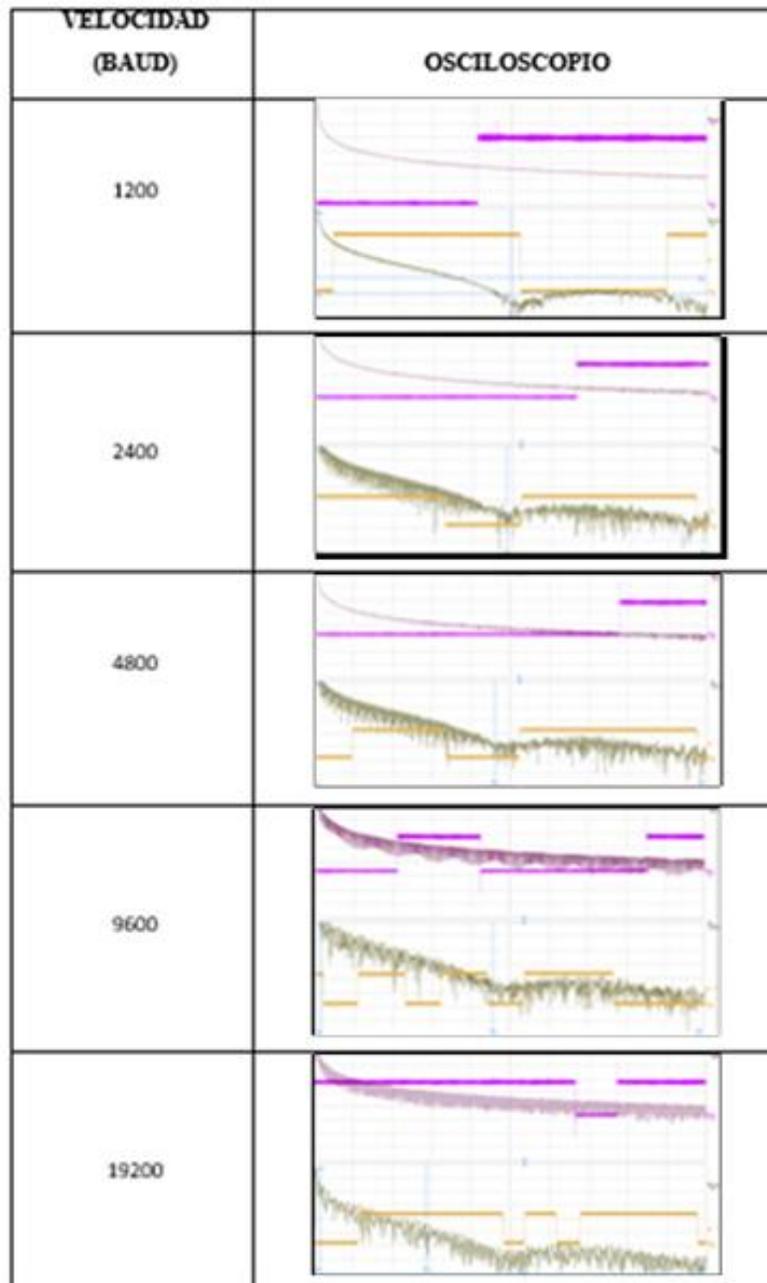


Figura 4.3. Señal con variacion de velocidades

Fuente: Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

4.4 Pruebas y funcionamiento

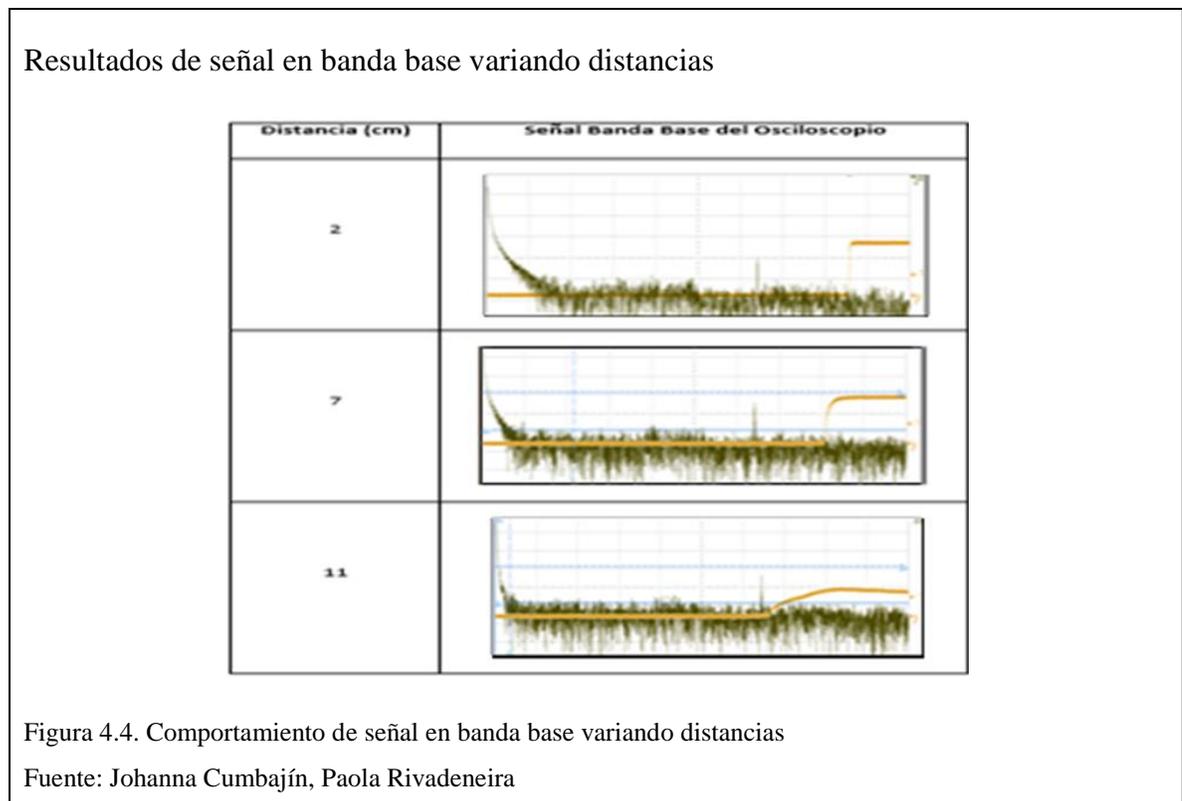
Para realizar las pruebas de funcionalidad del sistema se utilizó un módulo que no permite el paso de luz del medio ambiente de manera parcial. Para medir distancias se usó una regla. Además, se debe programar el sistema en banda base y codificada para realizar la comparación de distancia y velocidad.

4.4.1 Pruebas en Banda Base

Para realizar las pruebas en banda base se debe observar que la señal enviada sea igual a la señal recibida y se usa el espectro en su totalidad. En estas pruebas involucran el codificador y decodificador.

4.4.1.1 Comportamiento de la señal banda base al variar distancia a V_{tx} constante

El propósito al realizar estas pruebas es observar cómo se comporta la señal de salida al variar las distancias entre la lámpara y el fotodiodo, además determinar hasta qué distancia el sistema de comunicación VLC puede transmitir, como se indica en la Figura 4.4.



4.4.1.2 Análisis de espectro para velocidad 1200 bauds

Teniendo una velocidad constante, se procede a variar la distancia de la lámpara led (emisor) y fotodiodo (receptor) para determinar a qué distancia, el sistema unidireccional transmite sin problemas de interferencias.

Tabla 4.1. Variación de distancia en cm de señal banda base a velocidad de 1200 bauds

Distancia (cm)	Volumen de datos (Kbps)
2	14,82
3	16,24
4	18,64
5	19,53
6	20
7	21,94
8	22,89
9	23,67

Nota: Ancho de banda de señal banda base a velocidad de 1200 bauds. Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

En la Tabla 4.1, se varia la distancia medida desde receptor hasta la lámpara, donde se observa que los valores del volumen de datos van aumentando a medida que la lámpara aumenta su distancia, los datos a una distancia de 9 cm son de 23.67 Kbps, es decir, aumentan en un 37.4 % con respecto a los datos transmitidos a una distancia de 2 cm.

En la Figura 4.5, se observa que la curva tiene tendencia exponencial, además, se determina que a la distancia de 9 cm la señal se pierde y el volumen de datos aumenta (23.67 Kbps) debido al ruido que ingresa al sistema, razón por la cual la señal se degrada en su totalidad y en el control que se tiene dentro de Arduino demuestra la degradación de la señal al ser receptada.

Distancia vs. Volumen de datos de la señal banda base a velocidad 1200 bauds

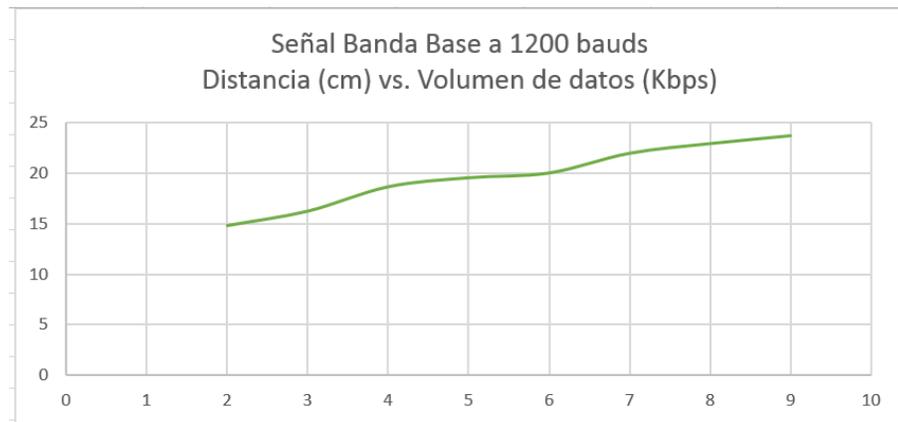


Figura 4.5. Señal banda base a velocidad constante de 1200 bauds

Fuente: Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

4.4.1.3 Análisis de espectro para velocidad 9600 bauds

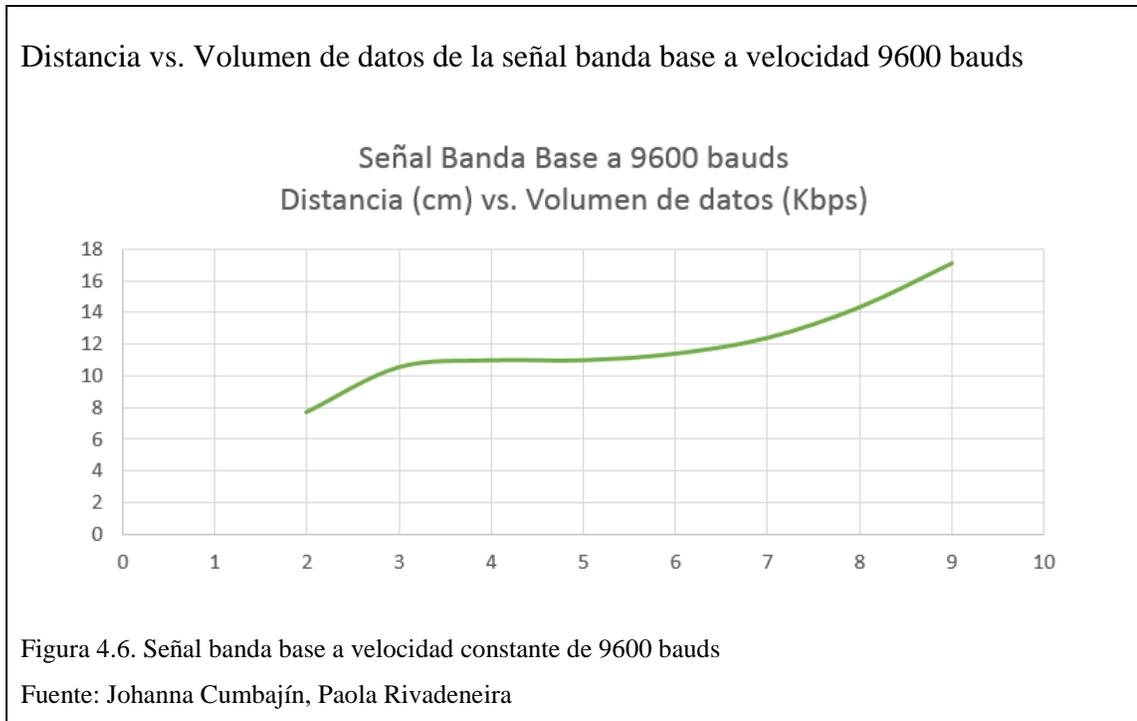
A velocidad constante, se procede a variar la distancia de la lámpara led (emisor) y fotodiodo (receptor) para determinar a qué distancia máxima el sistema unidireccional es apto para transmisión.

Tabla 4.2. Variación de distancia en cm de señal banda base a velocidad de 9600 bauds

Distancia (cm)	Volumen de datos (Kbps)
2	7,72
3	10,56
4	11,00
5	11,00
6	11,42
7	12,42
8	14,36
9	17,14

Nota: Ancho de banda de señal banda base a velocidad de 9600 bauds. Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

En la Tabla 4.2, a una velocidad constante de 9600 bauds se determina que al variar la distancia, el tamaño de los datos transmitidos aumenta proporcionalmente debido al ingreso de ruido al sistema, el aumento del volumen de los datos de 2 a 3 cm es de 2.84 Kbps, sin embargo de 4 a 6 cm el incremento está dado en bps, esto se debe a que la lámpara no permite el paso de ruido al sistema; a partir de los 6 cm el sistema empieza a receptor entrada de ruido, por este motivo el incremento es en Kbps.



En la Figura 4.6, se observa que la gráfica desde 4 cm a 6 cm tiene una constante de 11 Kbps y desde este punto empieza nuevamente a aumentar el tráfico de datos, se indica que la transmisión de 9600 bauds permite que los microcontroladores trabajen de manera sincronizada y no se pierdan datos, de esta manera el servidor web y el cliente interactúan sin problemas.

A una velocidad de 9600 bauds y en el rango de 2 a 9 cm se tiene un aumento del volumen de datos en un 55% lo que indica que el canal se va saturando conforme la distancia entre emisor y receptor aumente.

4.4.1.4 Resultado y Análisis de espectro para una distancia 4 cm

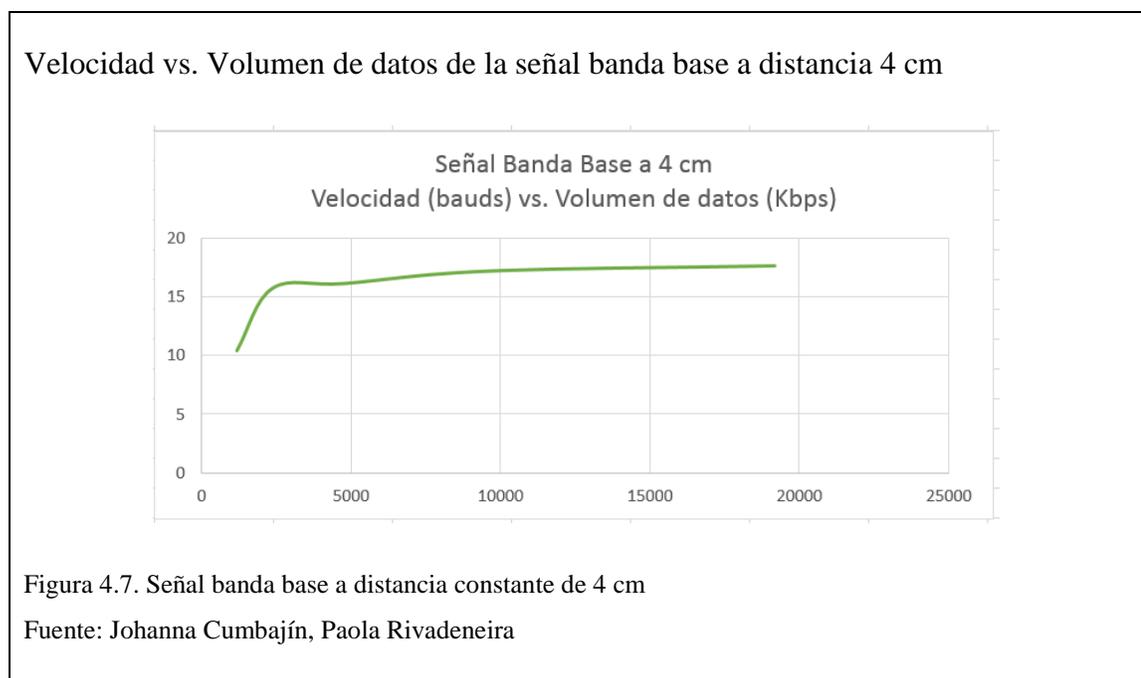
Según las pruebas efectuadas se determinó que la distancia de 4 cm existente entre emisor y receptor, trabaja de manera correcta ya que los datos son captados por el receptor sin pérdida de ninguno de ellos, además el canal no es interferido y la señal llega nítida.

Tabla 4.3. Variación de velocidad de señal banda base a distancia de 4 cm

Velocidad (Bauds)	Volumen de datos (Kbps)
1200	10,47
2400	15,75
4800	16,14
9600	17,19
19200	17,64

Nota: Ancho de banda de señal banda base a distancia 4 cm. Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

La Tabla 4.3, indica las diferentes variaciones de velocidad de canal que son otorgados por las tarjetas, en estas pruebas a 9600 bauds el volumen de datos transmitidos es de 17,19 Kbps, determinando que a esta velocidad la petición de cliente al servidor se realizó sin interferencias y de manera rápida con respecto al estándar que dan las tarjetas.



En la Figura 4.7, se observa que a una velocidad de 1200 bauds se tiene un tráfico de datos de 10.47 Kbps y a 19200 bauds se presentan datos a 17.64 Kbps lo que indica que al transmitirse a una velocidad de 19200 bauds su volumen de datos aumenta en un 40.6% con respecto a la velocidad de 1200 bauds. La velocidad de 19200 bauds indica que las tarjetas no procesan la información. Además que los datos necesitan ser procesados nítidamente por las tarjetas del emisor y receptor.

4.4.2 Pruebas de Optimización para el código de línea BnZS

Teniendo en cuenta que la optimización de un algoritmo puede darse mediante la modificación de sus recursos, en este proyecto, se variarán los parámetros de programación para reducir el tamaño de los datos a transmitir. (Valesani, 2016)

Para la realización de las pruebas de optimización, se determinó que la distancia en que el sistema implementado envía datos sin pérdida es de 4 cm, se toma en cuenta los tres casos del código de línea en mención, B3ZS, B6ZS, B8ZS y se efectúan variaciones de parámetros dentro del algoritmo de programación para determinar cuál optimiza el uso de canal de transmisión de los datos en Li-Fi.

4.4.2.1 Pruebas con Código de Línea B3ZS

En la Figura 4.8, se realizaron pruebas al variar los parámetros de codificación B3ZS como se describe a continuación: (a). Se observa la codificación con los parámetros dados en las reglas; (b). Se aplica el algoritmo de compresión RLE, adicional se usa codificación con Tb 0L>1L; (c). Codificación usando Tb 1L>0L; (d). Codificación usando Tb 1L>0L.

Al usar la codificación con algoritmo de compresión RLE el cliente no pudo visualizar la página web, esto se debe a que las tarjetas Arduino no procesan la información con los parámetros aplicados.

Pruebas de Optimización aplicando código de línea B3ZS

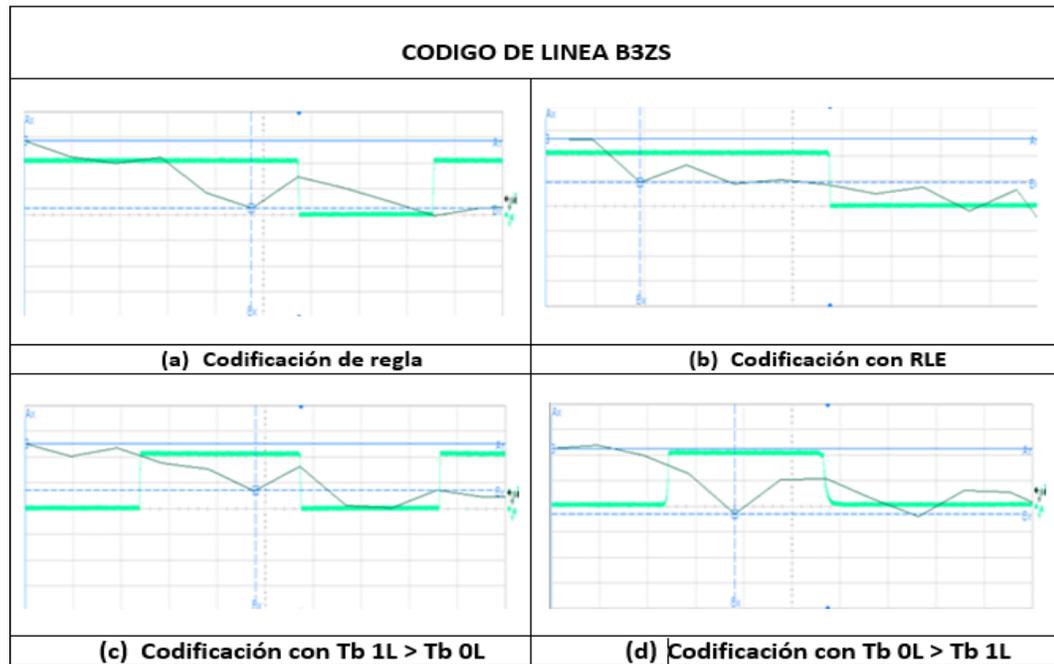


Figura 4.8. Pruebas de codificación B3ZS

Fuente: Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

4.4.2.2 Pruebas con Código de Línea B6ZS

En la Figura 4.9, se realizaron pruebas al variar los parámetros de codificación B6ZS como se describe a continuación: (a). Se observa la codificación con los parámetros dados en las reglas; (b). Se aplica el algoritmo de compresión RLE, adicional se usa codificación con $T_b 0L > 1L$; (c). Codificación usando $T_b 1L > 0L$; (d). Codificación usando $T_b 1L > 0L$.

Pruebas de Optimización aplicando código de línea B6ZS

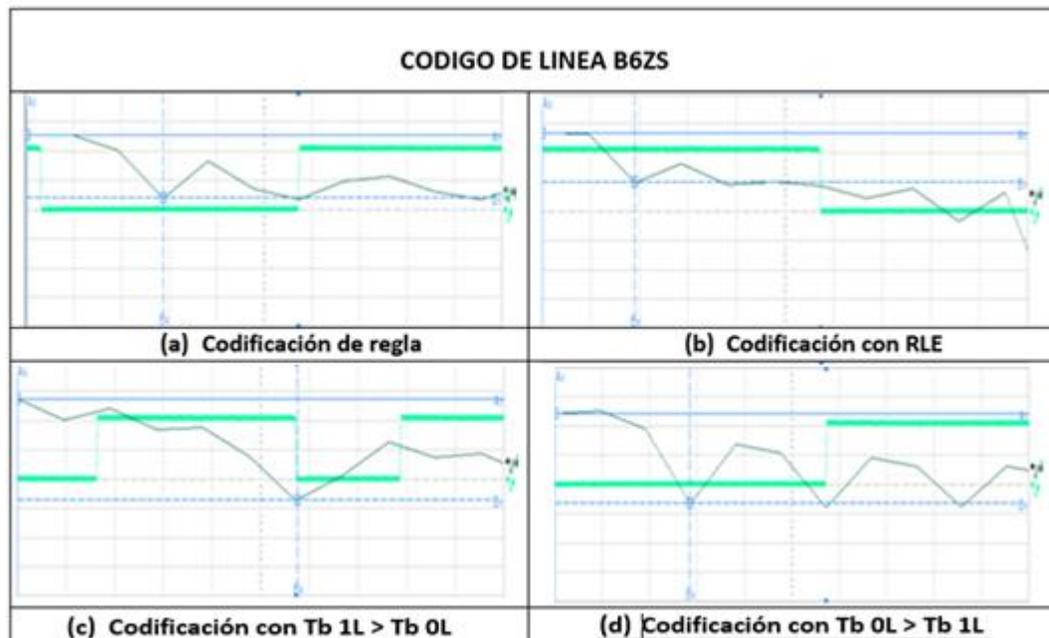


Figura 4.9. Pruebas de codificación B6ZS

Fuente: Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

4.4.2.3 Pruebas con Código de Línea B8ZS

Pruebas de Optimización aplicando código de línea B8ZS

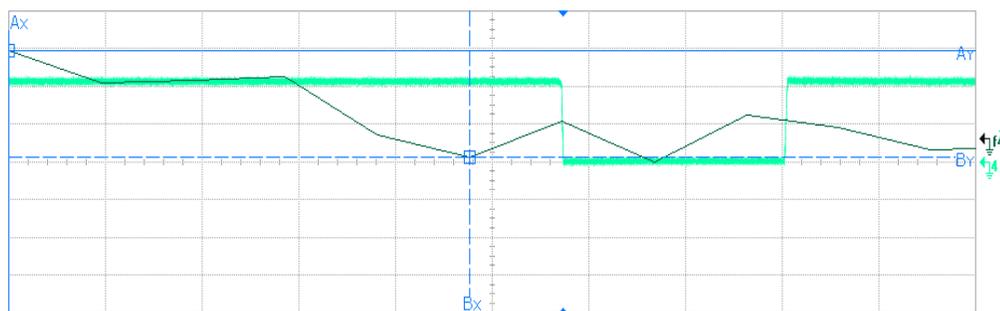


Figura 4.10. Pruebas de codificación B8ZS

Fuente: Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

En la Figura 4.10, se aplica la codificación B8ZS, en la cual una cadena consecutiva de 8 0L hace que se aplica la regla, sin embargo, en el sistema de transición Li-Fi, no se tiene dicha cadena, por lo que las reglas de codificación y modificación de la misma no se aplican.

4.4.2.4 Resultados de Optimización para el código BnZS

En la Tabla 4.4, se enumeran los valores del volumen de los datos transmitidos con el código BnZS efectuando los cambios en los parámetros del algoritmo de programación.

Para efectuar las pruebas de optimización se realizó lo siguiente:

- En la Tabla 4.4 columna (a), se generó el código de línea BnZS para cada uno de sus casos que vienen dados por regla. Se tomaron valores de volumen de datos.
- En la Tabla 4.4 columna (b), se aplicó en la programación la variación del tiempo de bit, en el cual el T_b del 1L es mayor al T_b del 0L. Teniendo un T_b 1L mayor, que es representado por un voltaje positivo, el sistema consume recursos, lo que se refleja en el espectro de la señal.
- En la Tabla 4.4 columna (c), se aplicó en la programación la variación del tiempo de bit, en el cual el T_b del 0L es mayor al T_b del 1L. Teniendo un T_b 0L mayor, que es representado por ausencia de voltaje, el sistema disminuye el consumo de recursos, y de esta manera el espectro de la señal disminuirá.
- En la Tabla 4.4 columna (d), se toma en cuenta el menor valor de la tabla con respecto a los tiempos de bit en cada una de las codificaciones; adicional se aplica el algoritmo de compresión RLE. Con lo que se espera la reducción del volumen de datos dentro de la transmisión.

Tabla 4.4. Valores de codificación BnZs

Volumen de datos (Kbps)				
Código de Línea	(a) Codificación de regla	(b) Codificación con $Tb_{1L} > Tb_{0L}$	(c) Codificación con $Tb_{0L} > Tb_{1L}$	(d) Codificación con RLE $Tb_{0L} > Tb_{1L}$
B3ZS	11.9	12	9.5	6
B6ZS	7.2	14.4	7.1	4.8
B8ZS	No existen casos para la codificación			

Nota: Valores del ancho de banda para los diferentes parámetros de codificación. Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

De acuerdo a los valores obtenidos en la tabla anterior, se determina que el código B8ZS es inválido para efectos de prueba. El código B3ZS presenta el menor valor de volumen de datos de 6 Kbps aplicando algoritmo de compresión RLE y $Tb_{0L} > Tb_{1L}$, mientras que en el código B6ZS presenta el menor valor de volumen de datos de 4,8 Kbps aplicando algoritmo de compresión RLE y $Tb_{0L} > Tb_{1L}$, por lo que se determina que éste último código reduce en su mayor parte la cantidad de los datos a transmitir en Li-Fi, de esta manera, se procede a efectuar pruebas de transmisión a una distancia y velocidad constante.

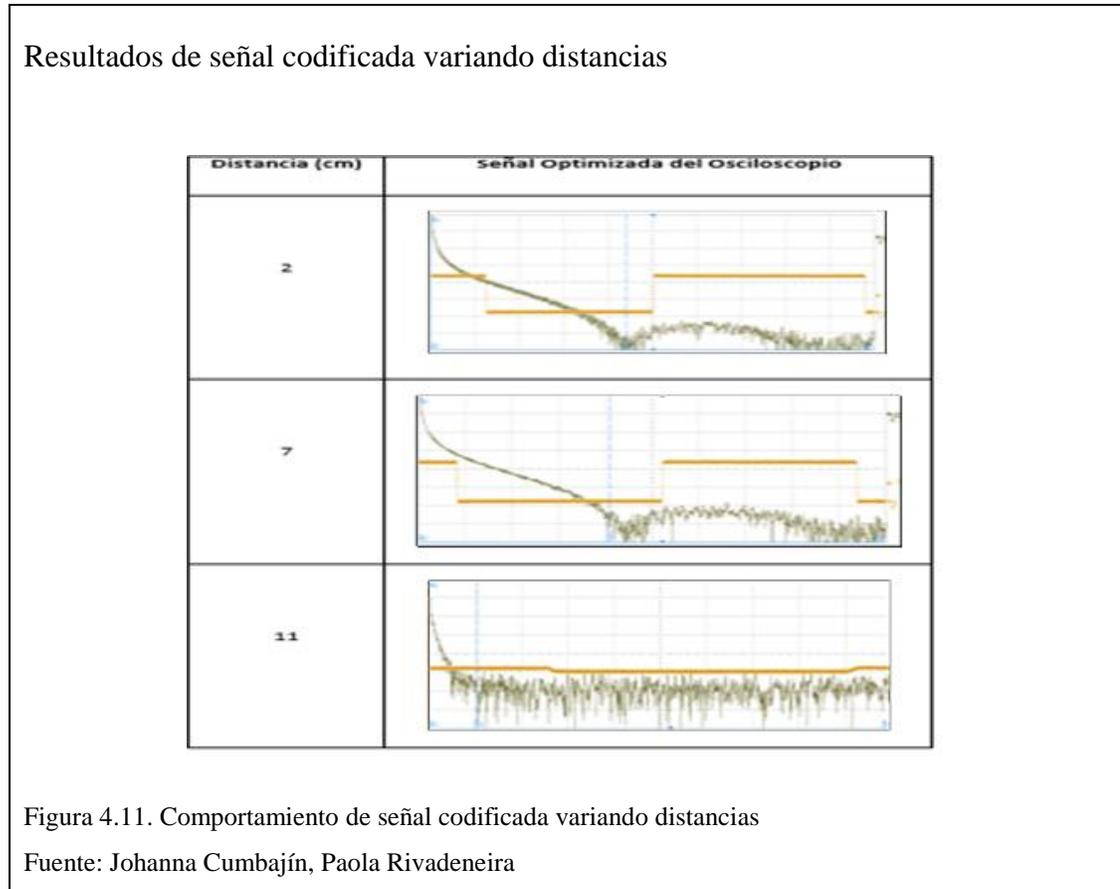
4.4.3 Pruebas con Código de Línea B6ZS

Para realizar las pruebas codificadas se debe observar que la señal de salida está en tres niveles al pasar por el comparador. En estas pruebas se observa en el sistema de comunicación el codificador y el decodificador.

4.4.3.1 Comportamiento de la señal codificada al variar distancia a V_{tx} constante

El propósito al realizar estas pruebas es observar cómo se comporta la señal de salida al variar las distancias entre la lámpara y el fotodiodo, además determinar hasta que distancia el sistema de comunicación VLC puede transmitir.

En la Figura 4.11, se muestra la señal captada en el osciloscopio, la que indica que a una distancia de 11 cm se pierde la señal por completo, la señal se mantiene transmitiendo hasta los 7 cm.



4.4.3.2 Análisis de espectro para velocidad 1200 bauds

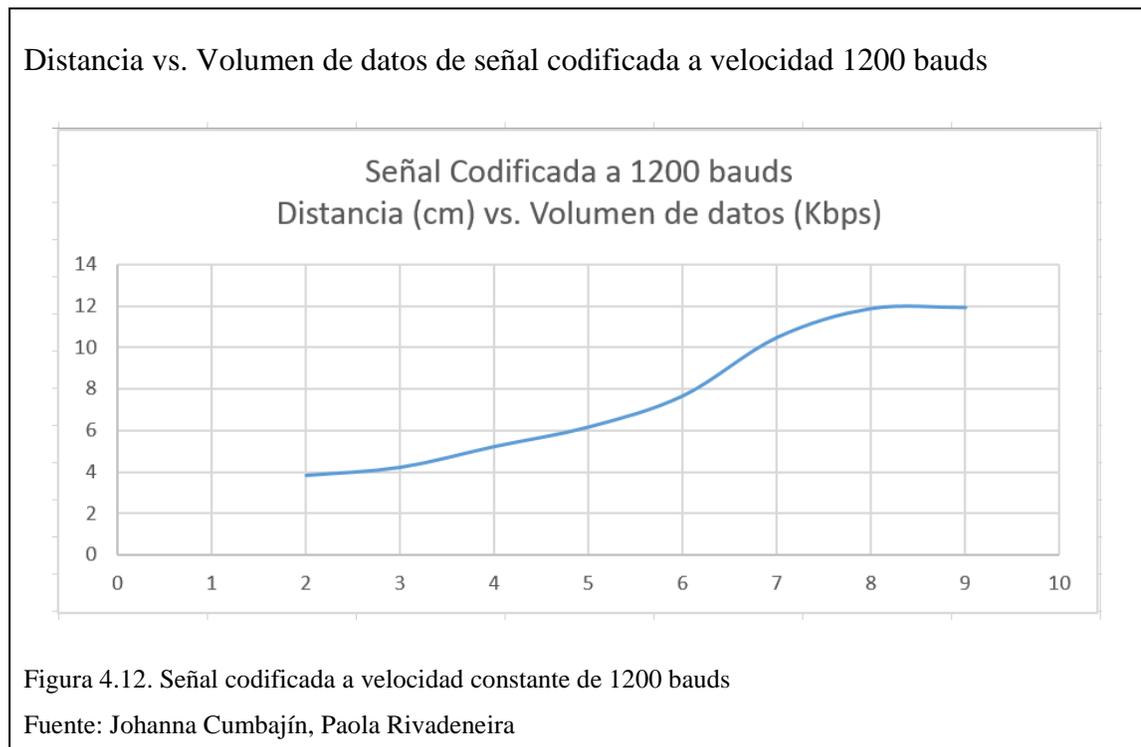
Teniendo una velocidad constante, se procede a variar la distancia de la lámpara led (emisor) y fotodiodo (receptor) para determinar a qué distancia el sistema unidireccional transmite sin problemas de interferencias.

Tabla 4.5. Variación de distancia en cm de señal codificada a velocidad de 1200 bauds

Distancia (cm)	Volumen de datos (Kbps)
2	3,86
3	4,25
4	5,25
5	6,19
6	7,69
7	10,50
8	11,89
9	11,94

Nota: Ancho de banda de señal codificada a velocidad 1200 bauds. Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

En la Tabla 4.5, se observa que desde 2 cm a 6 cm hay una variación en el aumento de transferencia de datos de 1 Kbps, sin embargo a partir de los 7 cm se tiene un aumento del doble de tráfico de datos enviados debido a la falta de precisión entre el emisor y receptor, además de los factores del medio ambiente, que al ser transmitido por luz inciden en la señal de transmisión.



En la Figura 4.12, se observa que el volumen de datos en el rango de 1 a 6 cm tiene tendencia lineal, mientras que a la distancia de 8 a 9 cm, éste se mantiene constante. Además, indica que a partir de los 9 cm el sistema empieza a tener problemas de reconstrucción de página web, sin embargo en el rango de 1 cm a 5 cm de distancia, el cliente tiene respuesta por parte del servidor, es decir, que el sistema no tiene interferencia de ruido que está dado por el medio.

4.4.3.3 Análisis de espectro para velocidad 9600 bauds

Teniendo una velocidad constante, se procede a variar la distancia de la lámpara led (emisor) y fotodiodo (receptor) para determinar a qué distancia máxima el sistema unidireccional es apto para la transmisión.

En la Tabla 4.6, se determina que al variar la distancia el volumen de los datos aumenta proporcionalmente, lo que indica que a la velocidad de 9600 bauds, el emisor y receptor trabajan coordinadamente para la transmisión de la señal, se tiene que de 2 a 4 cm la variación del tamaño de los datos está dado en bps, sin embargo desde los 5 cm el aumento es en Kbps debido a las interferencias que hay entre el emisor y receptor.

Tabla 4.6. Variación de distancia en cm de señal codificada a velocidad de 9600 bauds

Distancia (cm)	Volumen de datos (Kbps)
2	4,22
3	4,31
4	4,78
5	6,72
6	8,25
7	9,03
8	10,47
9	11,94

Nota: Ancho de banda de señal codificada a velocidad de 9600 bauds. Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

Distancia vs. Volumen de datos de señal codificada a velocidad 9600 bauds

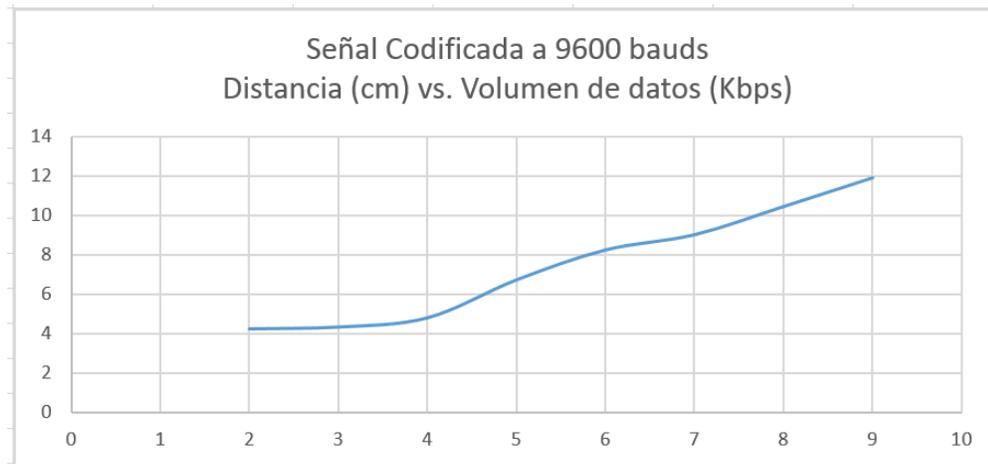


Figura 4.13. Señal codificada a velocidad constante de 9600 bauds

Fuente: Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

En la Figura 4.13, se observa que a la distancia de 2, 3 y 4 cm tienen una constante de 4 Kbps aproximadamente, desde la distancia de 5 cm el incremento es exponencial ya que al aumentar la distancia el tamaño de los datos enviados aumenta llegando a tener a una distancia de 9 cm un volumen de datos de 12 Kbps.

4.4.3.4 Resultado y Análisis de espectro para una distancia 4 cm

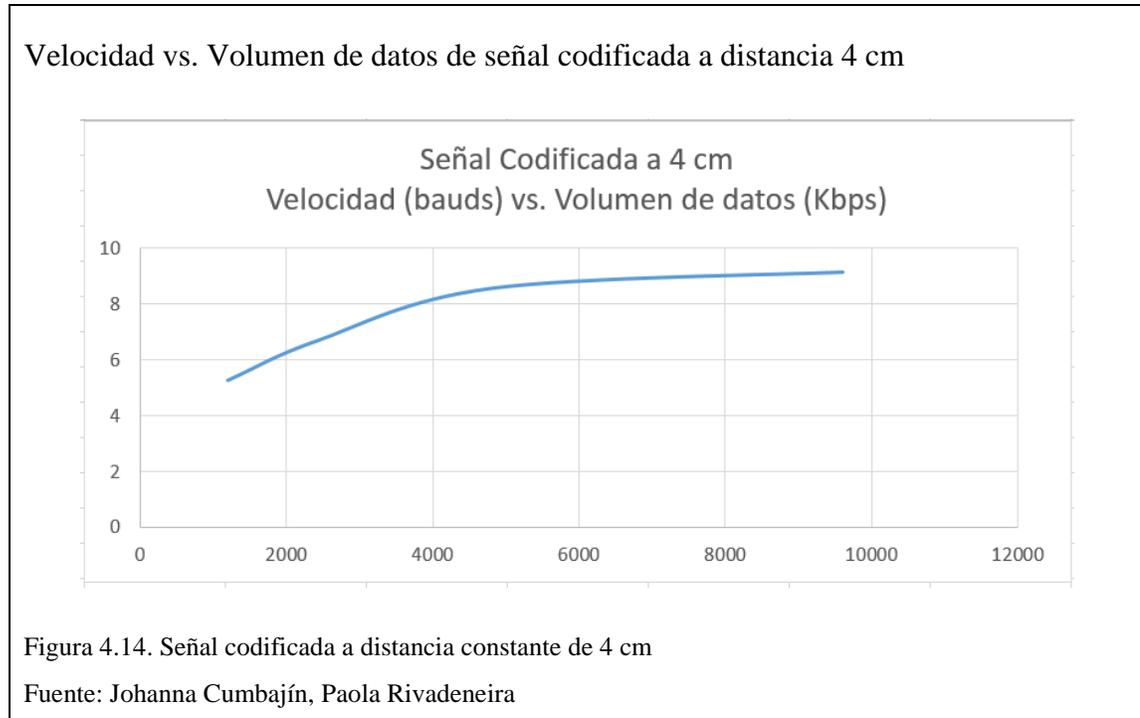
Según las pruebas efectuadas se determinó que la distancia de 4cm existente entre emisor y receptor trabaja en sincronización, ya que los datos son captados por el receptor sin pérdida de ninguno de ellos, además el canal no es interferido y la señal llega nítida, tanto en banda base como en codificada.

Tabla 4.7. Variación de velocidad de señal codificada a distancia de 4 cm

Velocidad (Bauds)	Volumen de datos (Kbps)
1200	5,25
2400	6,64
4800	8,53
9600	9,11
19200	Fallo en tarjetas

Nota: Ancho de banda de señal codificada a distancia 4 cm. Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

En la Tabla 4.7, se evidencia que el volumen de los datos no varía abruptamente a pesar de la variación de velocidad, por lo que se determina que la transmisión por código de línea B6ZS es estable hasta una velocidad de 9600 bauds. Según la variación de velocidad el tamaño de los datos incrementa en 3.86 Kbps en el rango de velocidades de 1200 bauds a 9600 bauds. A la velocidad de 19200 bauds las tarjetas no procesan la información ya que existe pérdida de datos al no reconstruir la página web.



Como se observa en la Figura 4.14, el aumento de volumen de los datos es menor ya que sus valores van desde 5.25 a 9.11 Kbps, tomando en cuenta que la variación es de las velocidades que se programan en las tarjetas.

4.4.4 Comparación de señal en banda base y señal codificada

En estas pruebas se determinan los valores promedio en los cuales se disminuye el volumen de los datos, al variar la distancia y velocidad.

4.4.4.1 Variación de distancia a una velocidad de 1200 bauds

Tabla 4.8. Comparación de resultados de señales al variar distancias a 1200 bauds

Vtx= 1200 bauds	Señal Banda Base	Señal Codificada	
Distancia (cm)	Volumen de datos (Kbps)	Volumen de datos (Kbps)	Porcentaje de reducción (%)
2	14,82	3,86	73,95
3	16,24	4,25	73,83
4	18,64	5,25	71,83
5	19,53	6,19	68,30
6	20	7,69	61,55
7	21,94	10,50	52,14
8	22,89	11,89	48,05
9	23,67	11,94	49,55
Promedio			62,4

Nota: Valores de señales con variación de distancia a 1200 bauds. Elaborado por Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

En la Tabla 4.8, se observa un promedio de reducción de la transferencia de datos del 62.4% de la señal codificada con respecto a la señal en banda base. Con estos resultados se sustenta la realización de este proyecto que es reducir el volumen de los datos transmitidos para optimizar el uso de canal Li-Fi con la implementación del código de línea B6ZS.

4.4.4.2 Variación de distancia a una velocidad de 9600 bauds

En la Tabla 4.9, se observa un promedio de reducción de los datos transferidos del 39.05% de la señal codificada con respecto a la señal en banda base, a partir de los 6 cm, es casi constante hasta los 8 cm, por tanto, se evidencia reducción del volumen de datos, a la velocidad de 9600 bauds y de esta manera, se valida la realización del proyecto.

Tabla 4.9. Comparación de resultados de señales al variar distancias a 9600 bauds

Vtx= 9600 bauds	Señal Banda Base	Señal Codificada	
Distancia (cm)	Volumen de datos (Kbps)	Volumen de datos (Kbps)	Porcentaje de reducción (%)
2	7,72	4,22	45,33
3	10,56	4,31	59,18
4	11,00	4,78	56,54
5	11,00	6,72	38,90
6	11,42	8,25	27,75
7	12,42	9,03	27,29
8	14,36	10,47	27,08
9	17,14	11,94	30,33
Promedio			39,05

Nota: Valores de señales con variación de distancia a 9600 bauds. Elaborado por Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

4.4.4.3 Variación de velocidad a una distancia de 4cm

En la Tabla 4.10, se denota la proporcionalidad directa de los datos transmitidos al aumentar la velocidad en el sistema de transmisión, se reduce su volumen en un promedio de 50%. Al variar la velocidad de transmisión, el código de línea B6ZS reduce el tamaño de los datos en el sistema VLC implementado.

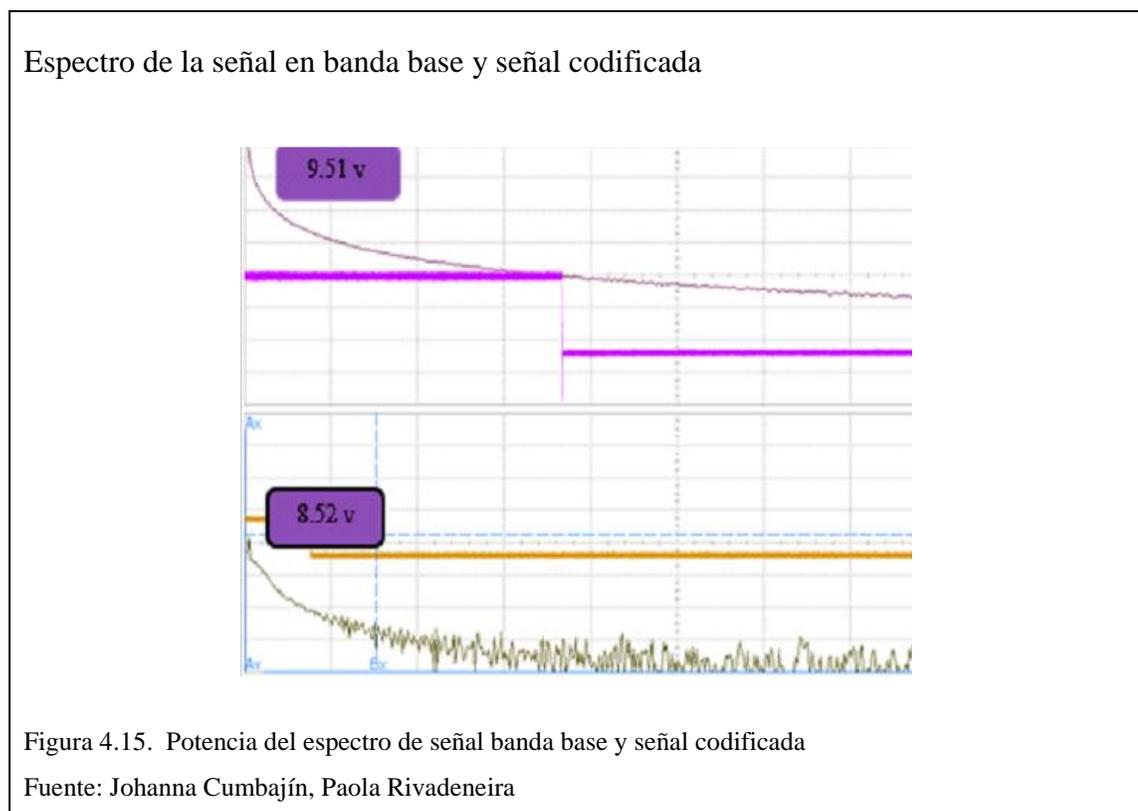
Tabla 4.10.Comparación de resultados de señales al variar velocidades a 4 cm

Distancia= 4 cm	Señal Banda Base	Señal Codificada	
Velocidad (bauds)	Volumen de datos (Kbps)	Volumen de datos (Kbps)	Porcentaje de reducción (%)
1200	10,47	5,25	49,85
2400	15,75	6,64	57,84
4800	16,14	8,53	47,14
9600	17,19	9,11	47,00
19200	17,64	Fallo en tarjetas	
Promedio			50,45

Nota: Valores de señales con variación de velocidad a 4 cm. Elaborado por Johanna Cumbajín, Paola Rivadeneira

4.4.4.4 Comparación de la potencia en banda base y codificada

En la Figura 4.15, se observa que la potencia del espectro de la señal codificada disminuye en 1v con respecto a la potencia de la señal en banda base.



Al comparar la potencia de la señal codificada y la señal en banda base se determinó que el código de línea B6ZS reduce en un 50% aproximadamente la potencia, sin embargo, la potencia de la señal codificada es 1V menor a la potencia en banda base, además, el sistema de comunicación funciona en un rango de distancia de 2 a 6 cm entre emisor y receptor sin permitir el paso de luz del ambiente y evita la degradación de la señal.

CONCLUSIONES

- La implementación de la codificación para optimizar el volumen de datos transferidos en las tarjetas Arduino requiere de procesamientos más complejos para su emisión y recepción ya que se da la saturación de las memorias internas, por lo que su implementación requiere de mayores recursos y costos para su funcionamiento.
- Para la aplicación del código de línea BnZS, se realizaron variaciones y pruebas en el algoritmo de codificación con lo que se determinó que el código B8ZS no puede ser aplicado en el sistema de comunicación implementado, ya que no cumple la regla de tener cadena seguida de 8 ceros lógicos, el caso B3ZS indica que el menor tamaño de datos transmitidos es de 6 Kbps al variar los parámetros de la programación, por lo que se tiene reducción en el tamaño de datos pero no en su totalidad, al aplicar código B6ZS el menor volumen de datos obtenido es de 4.8 Kbps ya que se emplea mayor tiempo de bit cero lógico que no consume recursos, por lo que para las pruebas se aplicó el código en mención.
- La implementación del algoritmo de código de línea B6ZS reduce el tamaño de los datos transferidos en un promedio de 62,4% en comparación a banda base al variar distancias de 2cm a 9cm a una velocidad de 1200 bauds, un promedio de 39,05% a una velocidad de 9600 bauds y un promedio de reducción de 50,45% a una distancia de 4 cm al variar velocidades de 1200 bauds a 19200 bauds, lo que indica que la optimización del uso de canal del sistema se da por la aplicación de un algoritmo código de línea y compresión.
- La variación de la distancia entre emisor y receptor incide en el aumento de un promedio de 1.467 Kbps de la tasa de transferencia en banda base, sin embargo, la señal codificada tiene un promedio de aumento de 1.18 Kbps. Lo que indica que una señal en banda base transmitida por luz es más propensa a la interferencia del medio debido a su vulnerabilidad.

- Se debe tener en cuenta que la distancia mínima entre emisor y receptor debe ser de 2 cm para no saturar al fotodiodo con los bits de información y a una distancia mayor a 7 cm el sistema es interferido por el ruido del ambiente. Por lo tanto el sistema implementado logra transmitir datos en un rango de distancia de 2 cm a 7 cm en ambas transmisiones.
- El uso del código de línea B6ZS aparte de disminuir el volumen de datos también disminuye la potencia a 8,52 V ya que al tener el tiempo de bit cero lógico mayor que se representa como ausencia de voltaje la potencia disminuye en comparación a la señal transmitida en banda base que tiene una potencia de 9.51 V
- El uso de un cono reflector ayuda a la incidencia de luz lo que permite al fotodiodo captar los datos y tener la recepción precisa para que el decodificador reconstruya la señal original.

RECOMENDACIONES

- En este prototipo se tiene un sistema unidireccional lo que limita la interacción entre cliente y servidor, por lo que se recomienda la implementación de un sistema bidireccional con la finalidad de tener un sistema Li-Fi completo.
- Usar un transmisor que confine la luz de tal manera que el receptor capte la señal directamente a mayores distancias.
- Al usar un fotodiodo común se tiene interferencias con el medio ambiente, se recomienda utilizar, un dispositivo con filtro por longitudes de onda, de esta manera evitar un receptor sensible a la incidencia de la luz.
- En el caso de transmisión de datos extensos como video, imágenes, utilizar algoritmos de compresión que permitan la transmisión de esta información.

REFERENCIAS

- 5Hertz ELECTRONICA. (29 de Abril de 2016). *www.5hertz.com*. Obtenido de <http://5hertz.com/tutoriales/?p=571>
- Arduino. (15 de Marzo de 2016). *www.arduino.cc*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Arduino. (10 de Febrero de 2016). *www.arduino.cc*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoEthernetShield>
- Arduino. (10 de Febrero de 2016). *www.arduino.cl*. Obtenido de <http://arduino.cl/arduino-mega-2560/>
- AreaTecnologia. (10 de Marzo de 2016). *www.areatecnologia.com*. Obtenido de <http://www.areatecnologia.com/nuevas-tecnologias/li-fi.html>
- Avila Jimenez, N. H. (01 de Diciembre de 2015). *www.bibdigital.epn.edu.ec*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9711>
- Bolaños, D. (15 de Abril de 2016). *www.bolanosdj.com*. Obtenido de www.bolanosdj.com.ar/TEORIA/SENSORESOPOTICOS.PDF
- Boylestad, R. L. (2011). *Introducción al análisis de circuitos*. Mexico, D.F.: Cengage Learning .
- Buenaño, J., & Haro, K. (15 de Mayo de 2016). *www.dspace.ups.edu.ec*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12393>
- Castro, A., & Fusario, R. (1999). *Teleinformática para Ingenieros en Sistemas de Informacion*. Barcelona: REVERTÉ, S.A.
- Catarina. (15 de Mayo de 2016). *www.catarina.udlap.mx*. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/morales_h_oe/capitulo3.pdf

Comer, D. E. (1997). *Redes de computadoras, internet e interredes*. Mexico, D.F.: Prentice Hall Hispanoamericana.

documents.mx. (25 de Abril de 2016). *www.documents.mx*. Obtenido de <http://documents.mx/documents/ieee-80215.html>

Dr. Areitio Bertolín, J., & Conectrónica. (17 de Mayo de 2016). *www.conelectronica.com*. Obtenido de <http://www.conelectronica.com/tecnologia/seguridad/identificacion-y-analisis-de-la-tecnologia-vlcli-fi-desde-la-perspectiva-de-su-ciberseguridad-ciberprivacidad>

EcuRed. (2016 de Marzo de 2016). *www.ecured.cu*. Obtenido de http://www.ecured.cu/Espectro_de_la_luz

Galeon Hispavista. (17 de Abril de 2016). *www.galeon.com*. Obtenido de <http://www.galeon.com/senales/aficiones1350204.html>

Gálvez Castillo, J. C., & Morocho Vallejo, L. R. (8 de Julio de 2016). *www.dspace.ups.edu.ec*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4396/1/UPS-ST000173.pdf>

ITSitio Ecuador. (15 de Marzo de 2016). *www.ecuador.itsitio.com*. Obtenido de <http://ecuador.itsitio.com/espana-ya-prueban-lifi-cien-veces-mas-rapida-que-wi-fi/>

Johnson, R. C. (2010). Visible light illuminates a new approach for wireless comms . *endedded*, 1-3.

Morales Sandoval, M. (5 de Julio de 2016). *www.tamps.cinvestav.mx*. Obtenido de <http://www.tamps.cinvestav.mx/~mmorales/documents/Compre.pdf>

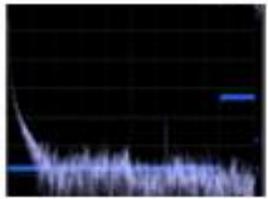
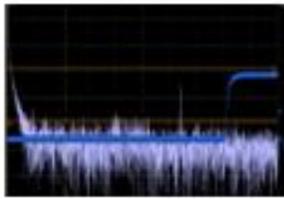
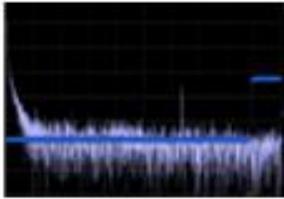
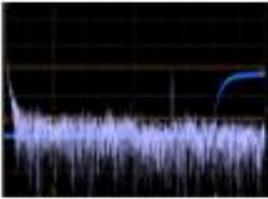
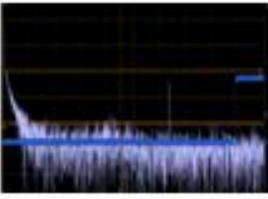
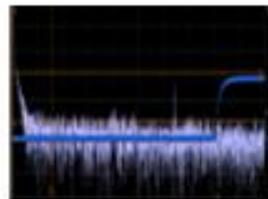
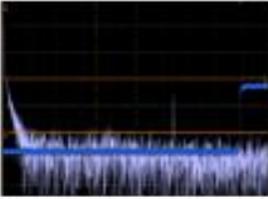
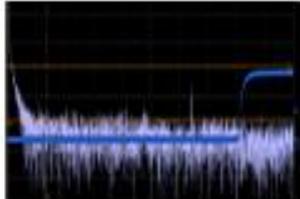
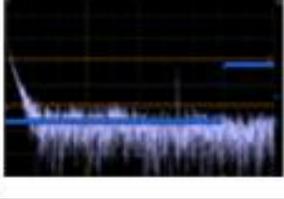
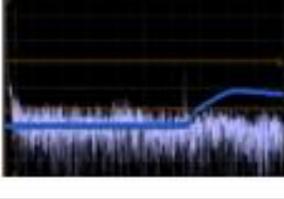
Nextgenlite. (7 de Abril de 2016). *www.nextgenlite.com*. Obtenido de <http://nextgenlite.com/images/VisibleLightSpectrumGradientForWeb.jpg>

Paz Penagos, H. (2009). *Sistemas de comunicaciones digitales*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

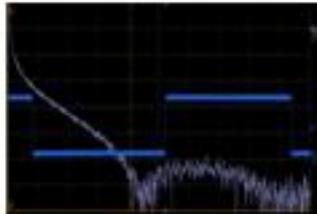
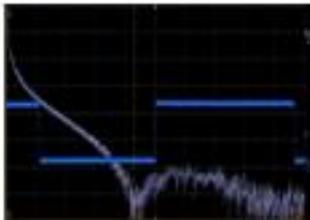
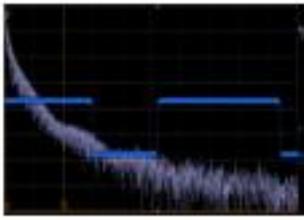
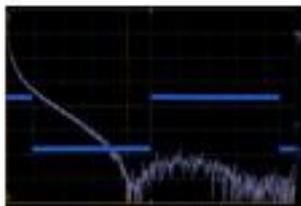
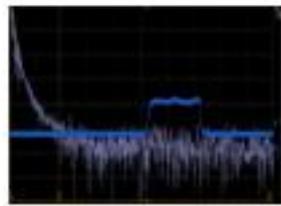
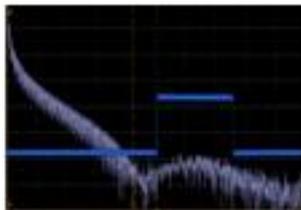
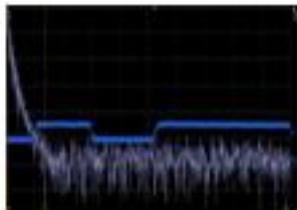
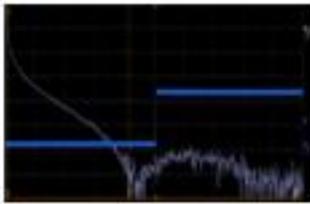
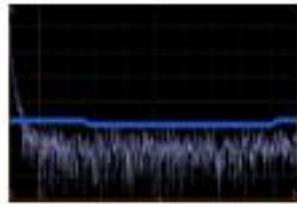
- Peñañiel, J. (28 de Febreo de 2016). *www.dspace.ups.edu.ec*. Obtenido de dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7770/1/UPS-CT004629.pdf
- Robert F., C. (1999). *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. Mexico: Prentice Hall.
- Robert, S. (1995). *Algoritmos en C++*. Iberoamericana S.A: Addison- Wesly.
- Stallings, W. (2004). *Redes e Internet de alta velocidad, rendimiento y calidad de servicio*. Madrid: Pearson.
- Valesani, M. E. (15 de 09 de 2016). *www.exa.unne.edu.ar*. Obtenido de http://www.exa.unne.edu.ar/informatica/programacion1/public_html/archivos/Tema7Optimizacion.pdf
- Vergara Díaz, J. M. (2009). *Microcontroladores PIC*. Medellín: Sello.

ANEXOS

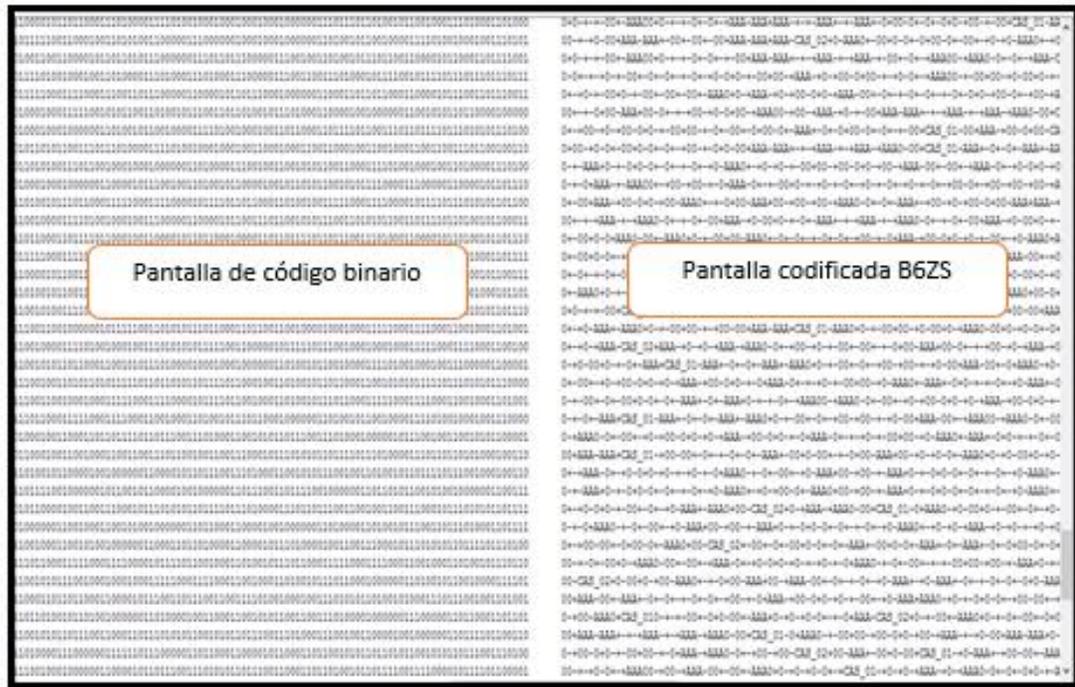
Anexo 1. Señal en Banda Base

Distancia (cm)	Señal Banda Base del Osciloscopio	Distancia (cm)	Señal Banda Base del Osciloscopio
2		7	
3		8	
4		9	
5		10	
6		11	

Anexo 2. Señal con código de línea B6ZS

Distancia (cm)	Señal Optimizada del Osciloscopio	Distancia (cm)	Señal Optimizada del Osciloscopio
2		7	
3		8	
4		9	
5		10	
6		11	

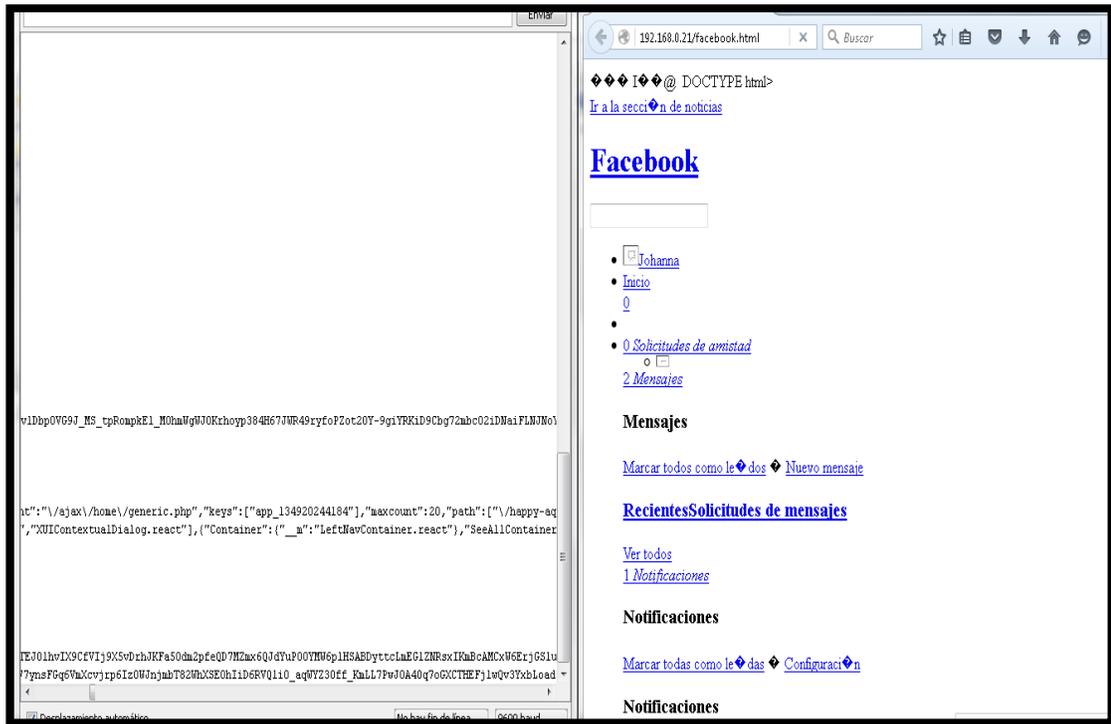
Anexo 3. Pantallas seriales del Transmisor



Anexo 4. Pantallas seriales del receptor



Anexo 5. Respuesta del Servidor al Cliente



Anexo 6. Página web entregada por el servidor

