



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA EN REDES Y  
COMUNICACIÓN DE DATOS**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
EN ELECTRÓNICA REDES Y COMUNICACIÓN DE DATOS**

**TEMA: ANÁLISIS Y ESTUDIO DEL DESPLIEGUE DE REDES DE  
DATOS POR MEDIO DE LA LUZ VISIBLE, BAJO EL ESTANDAR  
802.15.7 (Li-Fi).**

---

**AUTOR: ALVARO GABRIEL BENÍTEZ BRAVO.**

**DIRECTOR: DR. NIKOLAI ESPINOSA PHD.**

**CODIRECTOR: ING. DARWIN AGUILAR MSC.**

---

**SANGOLQUÍ – ECUADOR**

**2015**

## CERTIFICACIÓN

Por medio de la presente certifico que el proyecto de grado para la obtención del título de Ingeniero Electrónico en Redes y Comunicación de Datos, titulado "ANÁLISIS Y ESTUDIO DEL DESPLIEGUE DE REDES DE DATOS, POR MEDIO DE LA LUZ VISIBLE BAJO EL ESTANDAR 802.15.7 (Li-Fi)", fue desarrollado en su totalidad por el señor ALVARO GABRIEL BENÍTEZ BRAVO.

Dr. Nikolai Espinosa PHD.

Ing. Darwin Aguilar MSc.

## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

El presente proyecto titulado "ANÁLISIS Y ESTUDIO DEL DESPLIEGUE DE REDES DE DATOS, POR MEDIO DE LA LUZ VISIBLE BAJO EL ESTANDAR 802.15.7 (Li-Fi)" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado el derecho intelectual de terceros considerándolos en citas, y como fuentes en el registro bibliográfico.



Alvaro Gabriel Benítez Bravo

## AUTORIZACIÓN

Yo, Alvaro Gabriel Benítez Bravo, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" a publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo " ANÁLISIS Y ESTUDIO DEL DESPLIEGUE DE REDES DE DATOS, POR MEDIO DE LA LUZ VISIBLE BAJO EL ESTANDAR 802.15.7 (Li-Fi) " cuyo contenido ideas y criterios de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, Agosto del 2015



Alvaro Gabriel Benítez Bravo.

## DEDICATORIA

La presente Tesis lo dedico de manera especial a mis padres Víctor Hugo y Mercy Elizabeth, por permanecer junto a mi incondicionalmente, siendo ejemplo a seguir de superación y perseverancia, durante toda mi vida han sido mi guía y orientación para conseguir todos los objetivos propuestos, además me han brindado una buena formación que me ayudado a que sea una persona de bien con principios y valores firmes.

Dedico también a mis abuelitos, Segundo Salvador y Gladys Fabiola, quienes con su amor y dulzura me han brindado la fuerza necesaria para afrontar las adversidades y seguir adelante.

A mis hermanos Víctor Hugo y Carolina Elizabeth por aconsejarme y ayudarme en los momentos necesarios de mi vida y pueda culminar con éxito el presente proyecto de grado.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios y a la Madre Dolorosa del Colegio por llenar mi vida de dicha y muchas bendiciones.

A mis maestros quienes han sido mi guía y apoyo en esta etapa universitaria, de manera muy especial a mi Director de Tesis el Dr. Nikolai Espinosa PHD, así como también a mi Codirector Ing. Darwin Aguilar MSC, gracias a su disposición y sus sabios conocimientos han sabido guiarme y orientarme para la realización y culminación del presente trabajo.

A todos quienes me dirijo anteriormente mi eterna gratitud de todo corazón.

## ÍNDICE GENERAL

### Contenido

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	xiv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1    Presentación.....	2
1.2    Antecedentes.....	3
1.3    Objetivos.....	4
1.3.1    Objetivo General.....	4
1.3.2    Objetivo Específico.....	4
CAPÍTULO II.....	5
EL ESTANDAR 802.15.7 (Li-Fi).....	5
2.1    Introducción al Estándar 802.15.7.....	5
2.2    Arquitectura.....	7
Topologías.....	7
2.2.1    Capa Física.....	9
2.2.2    Capa MAC.....	10
2.2.3    Capas PHY.....	28
2.2.4    Seguridad.....	33
CAPÍTULO 3.....	36
HARDWARE 802.15.7.....	36
3.1    Fabricantes.....	36

3.2 Modelos Disponibles.....	40
3.3 Características de Operación .....	44
3.3.1 Modulación.....	44
3.3.2 Norma de diseño para 4-CSK .....	45
3.3.3 Norma de diseño para 8-CSK .....	46
3.3.4 Norma de diseño para 16-CSK .....	47
3.3.5 Combinaciones de Bandas de Color válidas.....	48
3.3.6 Calibración de CSK.....	49
3.4 Costos Referenciales .....	51
3.5 Compatibilidad con otros Estándares .....	53
CAPÍTULO IV .....	61
MARCO LEGAL EN EL ECUADOR.....	61
4.1 Ley Especial de Telecomunicaciones .....	61
4.2 Frecuencias de Operación.....	67
4.3 Plan Nacional de Frecuencias.....	70
4.4 Asignación de Bandas de Transmisión .....	71
CAPÍTULO V .....	73
REQUERIMIENTOS DEL DESPLIEGUE DE Li-Fi .....	73
5.1 Disponibilidad y arreglo de canales .....	73
5.1.1 Propuesta de Marco Regulatorio para sistemas con Tecnología Li-Fi .....	76
5.1.2 Consideraciones .....	77
5.1.3 Desarrollo de la Norma Técnica .....	78
5.1.4 Generalidades .....	79
5.1.5 Términos y Definiciones.....	80
5.1.6 Atribución.....	80
5.1.7 Norma Técnica .....	80
5.1.8 Bandas de Frecuencias.....	81
5.1.9 Configuración de Sistemas a través de la Luz Visible (Li-Fi).....	81
5.1.10 Homologación de Equipos y Registro .....	82
5.1.11 Derechos y Obligaciones del Usuario.....	83
5.1.12 Control .....	83
5.1.13 Conclusiones acerca de la factibilidad legal para la operación Li-Fi .....	83
5.2 Aplicación de la Tecnología Li-Fi .....	84



CAPÍTULO VI.....	88
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
6.1 CONCLUSIONES.....	88
6.2 RECOMENDACIONES.....	89
BIBLIOGRAFÍA.....	90
DEFINICIONES, ACRÓNIMOS.....	93
ANEXOS.....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Constantes Sub-capa MAC.....	15
Tabla 2 PD-DATA Solicitud de Parámetro.....	20
Tabla 3 Formato de GTS.....	25
Tabla 4 de Colores, indicación de estado MAC.....	26
Tabla 5 Tabla de colores, indicación de la calidad del canal.....	26
Tabla 6 Modo de Operación capa física - PHY I.....	29
Tabla 7 Modo de Operación capa física - PHY II.....	29
Tabla 8 Modo de Operación capa física - PHY III.....	30
Tabla 9 Formato de la PPDU - PHY I.....	31
Tabla 10 Atributos MAC PIB relacionados con Seguridad.....	34
Tabla 11 Velocidades de Transmisión.....	39
Tabla 12 Coordenadas de color Li-Fi.....	45
Tabla 13 Combinación de Bandas de Color válidas para CSK.....	48
Tabla 14 Valor de símbolo para (110, 010, 000) en 4-CSK, 8-CSK y 16-CSK.....	49
Tabla 15 Precio aproximado Dispositivo Li-Fi.....	53
Tabla 16 Precio aproximado varios APs.....	53
Tabla 17 Características Wi-Fi.....	56
Tabla 18 Tasa de transmisión de acuerdo a la modulación en 802.11n.....	57
Tabla 19 Convivencia entre estándares.....	60
Tabla 20 Bandas de Transmisión de longitud de onda.....	72
Tabla 21 Arreglo de canales en nanómetros.....	73
Tabla 22 Tabla de conversión nanómetros a teraherzios.....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Funcionamiento Li-Fi.....	5
Figura 2 Topologías Compatibles.....	7
Figura 3 Modulación espectro-dominio.....	8
Figura 4 VPAN Arquitectura de Dispositivo.....	10
Figura 5 Adaptación ciclo de datos.....	12
Figura 6 RX modos de funcionamiento.....	13
Figura 7 Espacio entre Tramas.....	13
Figura 8 VPAN Inicialización.....	17
Figura 9 Diagramas de Bloques PHY tipo I, II, III.....	18
Figura 10 OOK estructura.....	21
Figura 11 Ejemplo de uso de múltiples canales.....	21
Figura 12 Configuración de movilidad en múltiples celdas.....	23
Figura 13 CVD uso de marco para la indicación de reconocimiento.....	26
Figura 14 Cooperación arreglo de LEDs.....	27

Figura 15 Adaptación Li-Fi ciclo de datos.....	28
Figura 16 FDM separación de capas físicas PHY tipos de modulación.....	28
Figura 17 Estructura PPDU .....	31
Figura 18 Formato de la PPDU - PHY I.....	32
Figura 19 Versatilidad Li-Fi.....	36
Figura 20 Prototipo Li-Fi.....	37
Figura 21 Usos Comunicación por Luz visible .....	38
Figura 22 Li-Fi Prototipos pureLi-Fi, pure VLC.....	40
Figura 23 Li-1st, primer sistema Li-Fi.....	41
Figura 24 Li-Fi Prototipo, Unit Driver Li-1st.....	41
Figura 25 Li-Fi Prototipo, convivencia Li-1st.....	42
Figura 26 Li-Fi Prototipo, lámpara LED .....	42
Figura 27 Li-Fi Prototipo, unidad de escritorio.....	43
Figura 28 Li-Fi Prototipo, unidad de techo Li-Flame .....	43
Figura 29 Infraestructura Li-Fi indoor segundo prototipo.....	44
Figura 30 Constelación Li-Fi.....	45
Figura 31 Diseño constelación y mapeo de datos para 4-CSK.....	46
Figura 32 Diseño constelación y mapeo de datos para 8-CSK.....	47
Figura 33 Diseño constelación y mapeo de datos para 16-CSK.....	47
Figura 34 Bandas de Color y Constelación CSK (110, 010, 000).....	48
Figura 35 Constelación CSK punto-coordenada.....	50
Figura 36 Codificación, decodificación CSK.....	50
Figura 37 Transmisión VLC demostración.....	51
Figura 38 Modelos de uso de la Luz visible .....	51
Figura 39 Descripción General Funcionamiento LiFi .....	52
Figura 40 Li-Fi, Wi-Fi, 3G, 4G.....	54
Figura 41 Li-Fi Pruebas de trasmisión en laboratorio, Harold Hass .....	55
Figura 42 Modulación- Ancho de Banda $802.11.ac / n$ .....	57
Figura 43 Tasa de trasmisión de acuerdo a la modulación en $802.11n$ .....	58
Figura 44 Estructura ARCOTEL .....	63
Figura 45 Características focos LED, ahorradores, incandescentes.....	65
Figura 46 Espectro Electromagnético.....	68
Figura 47 Espectro de Luz Visible Mayor que Espectro de Onda de Radio.....	69
Figura 48 Espectro de Luz Visible .....	69
Figura 49 Espectro de Luz Visible .....	71
Figura 50 CSK sin codificar, croma de colores en constelación. ....	72
Figura 51 Li-Fi iluminación adaptabilidad al medio.....	84
Figura 52 Li-Fi una opción dinámica.....	85
Figura 53 Li-Fi una opción para Hospitales.....	85
Figura 54 Li-Fi una tecnología versatil.....	86
Figura 55 Li-Fi en transporte vehicular.....	86
Figura 56 Vehículo submarino una opción para Li-Fi.....	87

## RESUMEN

El desarrollo de varias **tecnologías inalámbricas** basadas en **estándares internacionales** entre ellas en particular IEEE 802.11 (Wi-Fi "Wireless Fidelity"), IEEE 802.16 (WiMAX "Worldwide Interoperability for Microwave Access"), 802.20, y las más recientes lanzadas en el 2012 casi simultáneamente en el mismo año 802.22 (Wireless RAN) y **802.15.7 (Li-Fi)**, las que han conseguido unos altos niveles de performance por su manera especial de operar en lo desconocido e innovador, con expectativas de aplicación bastante grandes, para los cuales inicialmente fueron concebidos, además de ser un complemento a algunas tecnologías y presentar una competencia al desarrollo de otras, que requieren importantes infraestructuras y altos niveles de inversión.

El presente documento, tiene por objeto, la propuesta para el despliegue de redes de datos a través de la luz visible, bajo la tecnología Li-Fi ya que en nuestro país no existe una **normativa** que haga referencia al **espectro de Luz Visible**.

El ARCOTEL y el MINTEL entes regulatorios que en la actualidad no cuenta con una normativa, por lo que se hace necesario el presente análisis para el despliegue de redes en el espectro de luz visible, lo cual permitirá a nivel nacional en un futuro interactuar con tecnologías que trabajen en este espectro.

Este proyecto se ha estructurado en seis capítulos cuatro anexos y un conjunto de conclusiones y recomendaciones. En ellos se resumen las ideas más importantes y aquellas sugerencias que creo necesarias para que este proyecto se consolide e implante con éxito.

## ABSTRACT

The development of several based on international standards including in particular IEEE 802.11 (Wi-Fi Wireless Fidelity), IEEE 802.16 (WiMAX Worldwide Interoperability for Microwave Access), 802.20 wireless technologies, and the latest launched in 2012 almost simultaneously in the same year 802.22 (Wireless RAN) and 802.15.7 (Li-Fi), which have achieved high levels of performance by their special way of operating in the unknown and innovative, with expectations of fairly large application for which they were initially well as being a complement to some technologies and introduce competition to the development of others, which require substantial infrastructure and high investment levels designed.

This document is intended, the proposal for the deployment of data networks through visible light, under the Li-Fi technology because in our country there is no legislation relating to the spectrum of visible light.

The ARCOTEL and the MINTEL regulatory institute that currently can not have regulations, so this analysis for the deployment of networks in the visible light spectrum is necessary, allowing nationwide in future interact with technology working in this spectrum.

This project is structured in six chapters and four annexes a set of conclusions and recommendations. In them the most important ideas and suggestions that we needed for this project to consolidate and implement successful are summarized.

## SIGLAS Y ABREVIATURAS

<b>A/D:</b>	Convertidor analógico-digital.
<b>ACK:</b>	Acuse de recibo ACK.
<b>AES:</b>	Estándar de cifrado avanzado.
<b>AR:</b>	Solicitud de reconocimiento AR.
<b>BE:</b>	Exponente de retroceso.
<b>BI:</b>	Intervalo de beacom.
<b>BO:</b>	Orden beacom.
<b>BSN:</b>	Número faro-secuencia beacom.
<b>CAP:</b>	Período de acceso de contención.
<b>CC:</b>	Código convolucional.
<b>CCA:</b>	Evaluación de Clear Channel.
<b>CDR:</b>	Reloj y recuperación de datos.
<b>CFP:</b>	Periodo libre de contención
<b>CIE:</b>	Comisión Internacional de la Iluminación.
<b>CRC:</b>	Comprobación de redundancia cíclica.
<b>CSK:</b>	Incrustación de cambio de color.
<b>CVD:</b>	Visibilidad de color atenuado.
<b>D/A:</b>	Convertidor digital- analógico.
<b>D/L:</b>	Enlace descendente (downlink)
<b>DC:</b>	Corriente continua.
<b>DME:</b>	Entidad de gestión de dispositivos.

<b>DSN:</b>	Número de secuencia de datos.
<b>ED:</b>	Detección de energía.
<b>HCS:</b>	Secuencia de cabecera-check.
<b>HP:</b>	Patrón de salto.
<b>IFS:</b>	Espacio entre tramas.
<b>ID:</b>	Identificador.
<b>IE:</b>	Elemento de información.
<b>LD:</b>	Diodo láser.
<b>LED:</b>	Diodo emisor de luz.
<b>LIFS:</b>	Largo espacio entre tramas.
<b>LLC:</b>	Control de enlace lógico.
<b>LPDU:</b>	Control de enlace lógico, unidad de datos de protocolo.
<b>LOS:</b>	Línea óptica de servicio.
<b>MAC:</b>	Control de acceso al medio.
<b>MCPS:</b>	Control de acceso al medio-línea común de subcapa.
<b>MCS:</b>	Esquema de modulación y codificación.
<b>MD:</b>	Dispositivo móvil.
<b>MFR:</b>	Control de acceso al inicio.
<b>MFTP:</b>	Período máximo de tiempo de parpadeo.
<b>MHR:</b>	Control de acceso al medio por encabezado.
<b>MIC:</b>	Mensaje de código de integridad.
<b>MLME:</b>	Control de acceso al medio, entidad de gestión de enlace.
<b>MPDU:</b>	Unidad de acceso de control medio del protocolo-datos.

<b>MSDU:</b>	Unidad de servicio-datos de acceso de control de medio.
<b>NB:</b>	Número de retrocesos.
<b>OOK:</b>	Control de prendido y apagado.
<b>PAN:</b>	Red de área personal.
<b>PD:</b>	Datos de capa física.
<b>PHR:</b>	Cabecera de la capa física.
<b>PHY:</b>	Capa física.
<b>PIB:</b>	Capa física, información de área de red personal.
<b>PID:</b>	Identificador de zona de red personal.
<b>PLME:</b>	Entidad de gestión de capa física.
<b>PPDU:</b>	Unidad de datos de PHY.
<b>PSDU:</b>	Unidad de datos de servicio PHY.
<b>PWM:</b>	Modulación por ancho de pulsos.
<b>P2MP:</b>	Punto a Multipunto.
<b>P2P:</b>	Punto a Punto.
<b>QoS:</b>	Calidad de servicio.
<b>RIFS:</b>	Reducción de espacio entre tramas.
<b>RLL:</b>	Longitud de ejecución limitada.
<b>RS:</b>	Reed-Solomon.
<b>RX:</b>	Receptor.
<b>SAP:</b>	Punto de acceso a servicio óptico.
<b>SHR:</b>	Encabezado de sincronización.
<b>SIFS:</b>	Espacio corto inter-tramas.



<b>SPDU:</b>	Unidad de datos de protocolo de sesión.
<b>SO:</b>	Orden de supertrama.
<b>SSCS:</b>	Subcapa de convergencia específica de servicio.
<b>TDP:</b>	Topología de patrón dependiente.
<b>TX:</b>	Transmisor.
<b>U/L:</b>	Enlace ascendente.
<b>VPAN:</b>	Red de área personal con luz visible.
<b>VLC:</b>	Comunicación de luz visible.
<b>VPPM:</b>	Variable de modulación de posiciones de pulso.
<b>WPAN:</b>	Red de área personal inalámbrica.
<b>WQI:</b>	Indicación de calidad de red inalámbrica.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), luego del Censo de población de Noviembre de 2010, el 66,70% de la población ecuatoriana reside en zonas urbanas; la gran demanda poblacional de servicios eléctricos y de telecomunicaciones, frente a la cantidad de habitantes, en cuanto se refiere a ambientes de oficina, unidades educativas, universidades, edificios y viviendas, genera la necesidad de buscar soluciones que permitan optimizar no solo los espacios, sino también los servicios de redes y telecomunicaciones, propendiendo así a un eficaz y eficiente ahorro de energía eléctrica; sin que este ahorro de energía eléctrica implique que la prestación de servicios de banda ancha se vea afectado.

Según estos mismo datos y al hacer un análisis comparativo de las estadísticas expuestas por el INEC y el MINTEL observamos el incremento poblacional, así como de servicios de telecomunicaciones desde Enero del 2010 con una población de 14.021.963 que tienen un 97% en servicios de telecomunicaciones, frente a Diciembre del 2013 con una población de 15.774.749 que tienen un 111,10% en dispositivos de usuario final (celulares principalmente), donde claramente se observa el incremento de un 14,1%, los mismos que siguen en un constante crecimiento. (INEC-ECUADOR , 2014)

Existe un desafío importante en encontrar tecnologías apropiadas y de bajo costo para el acceso a servicios de banda ancha y telefonía, ya no solo en las zonas urbanas y urbano-marginales sino más bien en la expansión incluso a las zonas rurales. En este sentido, en la actualidad, existen varios esfuerzos que realizan tanto empresas públicas y privadas; sin alcanzar grandes logros.

Por lo anteriormente expuesto, es necesario investigar nuevas formas de optimizar los recursos, ampliando la cobertura a los usuarios y a la vez ahorrando energía eléctrica, obteniendo de este modo beneficios no solo para los habitantes ubicados en las zonas urbanas, urbano-marginales e incluso rurales.

## **1.1 Presentación**

### **Descripción del Problema**

La brecha digital se hace evidente en la sociedad ecuatoriana y es uno de los obstáculos para el desarrollo de nuestro país. Este fenómeno social se refiere a todos aquellos sectores que permanecen por diversas razones, al margen de los beneficios y ventajas asociados a las TIC, como las zonas urbano marginales, esto por la fragilidad organizacional de la población, el aislamiento en el que se mantienen, y lo difícil que significa para ellos relacionarse con instituciones del Estado. Todo esto obliga a plantearse modelos tecnológicos de alto performance y de bajo costo para garantizar una adecuada inclusión de las TIC con el fin de fortalecer la institucionalidad local y el “empoderamiento” de grupos tradicionalmente marginados. Esto significa fortalecer a los actores locales aplicando los enfoques de género, equidad e interculturalidad, que deben primar en cualquier proceso de cambio, esto encaminado en el Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV) en el que se trata de hacer posible una eficiente introducción de las TIC a todo nivel, bajo responsabilidad social, un entorno democrático, mecanismos de participación ciudadana.

## 1.2 Antecedentes

En la actualidad, el Ecuador tiene una densidad Nacional de líneas Activas de 113,12%, donde se distribuyen en Terminales Públicas con el 0,65%, Líneas Activas de Datos 5,4%, Líneas Activas de Voz 107.1 % a Enero del 2014, todos estos datos distribuidos en las distintas operadoras existentes. Sin especificar la distribución por provincias, pero se asume que la mayor demanda se concentra en las ciudades de Quito y Guayaquil.

Con una población total de 14.483.499 (INEC Diciembre 2010), de los cuáles el 66,7% está en zonas urbanas , es necesario identificar soluciones tecnológicas que permitan optimizar los servicios y que mejor si es el caso del ahorro de energía brindando dos servicios a la vez; tanto iluminación como redes de información, de modo que el acceso de la población urbana a las TICs sea más eficiente energéticamente y eficaz tecnológicamente, además de las ventajas que estas representan para el desarrollo local e inclusión de los ciudadanos, tal como lo señala la Constitución de la República del Ecuador, la Ley Especial de Telecomunicaciones al manifestar el derecho al Servicio Universal y el plan nacional del Buen Vivir. (SENATEL-ECUADOR, 2014)

El presente proyecto busca identificar las características técnicas del estándar IEEE 802.15.7 (Li-Fi), su coexistencia con otros estándares principalmente con el más comercial en la actualidad 802.11n (Wi-Fi), y porque no una futura migración de (Wi-Fi) a (Li-Fi) su aplicación en diferentes ambientes o medios de propagación.

El Estándar IEEE 802.15.7 aprobado en Septiembre del 2011, promete ser la herramienta que facilite el acceso a la banda ancha a través de la luz visible a la población que habita en lugares cerrados como domicilios, oficinas, edificios, instituciones educativas del país. Puesto que Li-Fi nos permite optimizar en un 50% el consumo de energía eléctrica, ya que usa una lámpara LED brindando mayor luminosidad y menor consumo de energía, evitando el calentamiento global, donde además de brindar los dos servicios de Luz y Datos, en teoría se

espera el acceso de usuarios ubicados a distancias de hasta 10m, con velocidades de 15Mbps a 96Mbps y en aumento, respetando la actual legislación de telecomunicaciones en Ecuador, para cumplir con el plan nacional del buen vivir del Ecuador. (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)

### **1.3           Objetivos**

#### **1.3.1   Objetivo General**

Realizar un análisis del estándar 802.15.7 (Li-Fi), mediante el estudio de bandas, frecuencias, zonas de cobertura, regulación vigente, a fin de posibilitar el acceso a las TICs acorde con el plan nacional del buen vivir.

#### **1.3.2   Objetivo Específico**

- Recopilar, procesar y sistematizar la información referente al estándar 802.15.7 (Li-Fi), protocolos, topologías, seguridades y otras que permitan sustentar la investigación.
- Analizar el marco legal y regulatorio vigente en el Ecuador y las iniciativas para el avance de la Sociedad de la Información.
- Identificar dispositivos que soporte el estándar IEEE 802.15.7, características técnicas, costos y disponibilidad en el mercado
- Establecer los requerimientos necesarios para la posible implementación y despliegue de la tecnología 802.15.7 (Li-Fi).

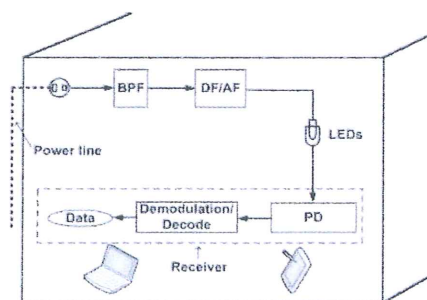
## CAPÍTULO II

### EL ESTANDAR 802.15.7 (Li-Fi)

#### 2.1 Introducción al Estándar 802.15.7

El desafío que se presenta actualmente es el cómo enfrentaremos tecnológicamente nuestros problemas, y cuán eficaces y óptimas serán las tecnologías para satisfacer las exigencias del mundo de hoy, lo que obliga en muchos casos a estandarizar las tecnologías para poder causar alto impacto y encontrar soluciones acordes a las exigencias de tiempo y calidad del mercado actual.

Li-Fi es un sistema de comunicación inalámbrica que utiliza el espectro visible de la luz como medio de transmisión de información. Es un tecnología muy nueva, ya que se dió a conocer en el 6 de Septiembre del 2011, en la conferencia de TEDGlobal en Edimburgo, donde Harald Haas PHD dió una conferencia sobre los beneficios de usar tecnologías que usen el espectro de luz visible, demostrando su uso, en un experimento en el cual con una linterna LED, logró transmitir datos a 10 Mbps a un computador. En esta misma charla el Doctor Hass bautizó a esta tecnología como Li-Fi, nombre con el que es conocida actualmente. (A la velocidad de la Luz, 2013)



*Figura 1 Funcionamiento Li-Fi*

**Fuente:** (Hao Ma, 2013)

Si bien aún no existe Li-Fi comercialmente, la empresa francesa Oledcomm planea lanzar al mercado los primeros dispositivos Li-Fi a mediados del 2014. A su vez, países como Japón, China, México, Estados Unidos y Francia, han invertido recursos en su investigación, para llegar a usarlo de manera práctica y real en lugares públicos, de modo de lograr ahorrar tiempo y energía.

Li-Fi define una capa PHY y MAC de corto alcance, con una cobertura de hasta los 10 metros, permitiendo comunicaciones ópticas inalámbricas en el rango de la luz visible (el espectro de luz visible se extiende desde 380nm a 790nm en longitud de onda) teniendo velocidades de transferencia muy altas que van desde los 15Mbps hasta de 3Gbps y en aumento (K.-D. Langer, 2012)

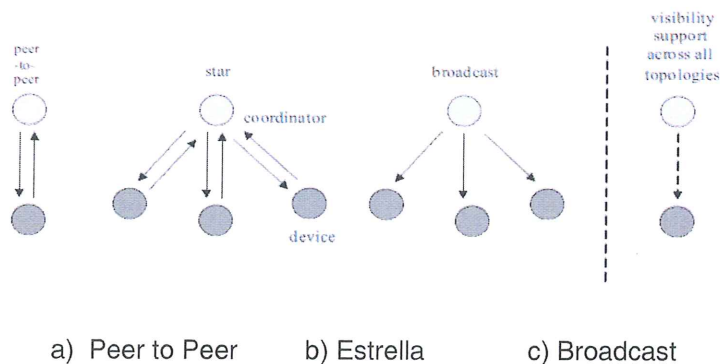
El propósito de esta norma es proporcionar un estándar global para la comunicación de corto alcance inalámbrico óptico usando la luz visible (VLC), ya que no se encuentra normado dicho espectro radioeléctrico por los órganos reguladores y tampoco se encuentra utilizado, pues Li-Fi es la pionera en ocupar el espectro de luz visible, para brindar servicios de transmisión de información, por ende proporciona:

- El acceso a varios cientos terahertz, desde 380THz a 790 THz de espectro sin licencia.
- La inmunidad a las interferencias electromagnéticas, así como la no interferencia con los sistemas de radiofrecuencia (RF).
- La seguridad adicional al permitir que el usuario vea el canal de comunicación y complementos adicionales en los servicios existentes (tales como iluminación, pantalla, indicación, decoración, etc.) de las infraestructuras de luz visible.

## 2.2 Arquitectura.

### Topologías

Para Li-Fi se han definido tres topologías de red: estrella, peer to peer, y broadcast permitiendo el uso de VLC (luz visible) para redes de área personal inalámbricas (WPAN), variando las características, según cada una de ellas. Cada dispositivo o coordinador tiene una dirección única de 64 bits. Cuando un dispositivo se asocia con un coordinador se permite que se asigne una dirección de 16 bits al dispositivo asociado. El coordinador a menudo puede ser conectado a la corriente, mientras que los dispositivos a menudo se alimentan de la batería.



*Figura 2 Topologías Compatibles*

**Fuente:** (Mohd Dani Baba, 2012)

#### a) Topología Peer to Peer

En la topología de punto a punto, uno de los dos dispositivos asume el papel del coordinador. La estructura básica de una topología de punto a punto se ilustra en la Figura a. Cada dispositivo es capaz de comunicarse con cualquier otro dispositivo dentro de su área de cobertura. En una topología de punto a punto, uno de los compañeros actúa como coordinador, en virtud de ser el primer dispositivo para comunicarse en el canal.



### b) Topología Estrella

En la topología en estrella, se establece la comunicación entre los dispositivos y un controlador central único, llamado coordinador. La estructura básica de una topología en estrella se ilustra en la Figura b. Todas las redes en estrella operan independientemente de todas las otras redes en estrella que se encuentren en funcionamiento. Esto se logra mediante la elección de un identificador VPAN que no se utiliza actualmente por cualquier otra red dentro del área de cobertura. Una vez elegido el identificador VPAN, el coordinador permite que otros dispositivos se unan a su red.

### c) Topología Broadcast

La estructura básica de una topología de emisión o más conocida como Broadcast se ilustra en la Figura c. El dispositivo se encuentra en modo de emisión, puede transmitir una señal a otros dispositivos sin formar una red, es decir la comunicación es unidireccional y no se requiere la dirección de destino, caso contrario en la topología en estrella en el cual es bidireccional cómo podemos observar en la Figura b. También se ilustra el concepto de la modulación de espectro-dominio.

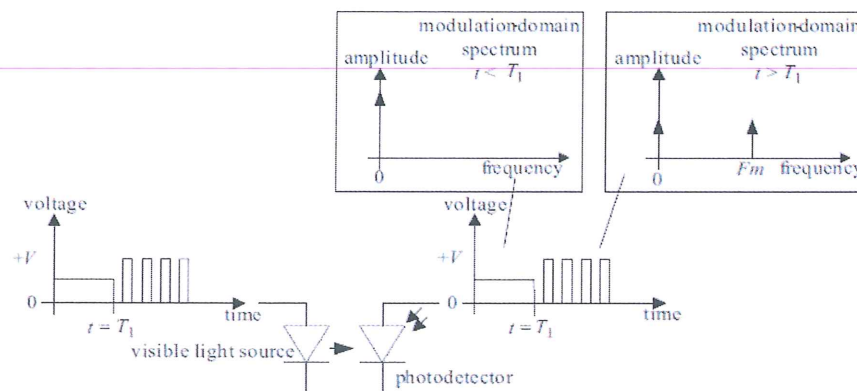


Figura 3 Modulación espectro-dominio

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)

Aparte del peer-to-peer y topologías en estrella, IEEE 802.15.7 también a los dispositivos se les permite operar en una emisión única topología sin ser parte de una red, es decir, sin estar asociado a cualquier dispositivo o tener cualquier dispositivos asociados a ellos.

En la Figura 3, la fuente de luz visible es "always on" es decir siempre encendida; por lo tanto, la salida del fotodetector se puede observar para llevar a cabo la evaluación de canal libre (CCA-Evaluación Clear Channel). Antes de tiempo  $t = T1$ . Después de  $t = T1$ , el espectro se divide entre la CC (código convolucional) y la señal moduladora.

### **2.2.1 Capa Física**

La arquitectura IEEE 802.15.7 se define en términos de un número de capas y subcapas con el fin de simplificar el estándar, a su vez cada capa es responsable de una parte de los servicios que se ofrece a las capas superiores.

La interfaz entre las capas sirve para definir los vínculos lógicos que se describen en esta norma como se puede observar en la Figura 4.

Un dispositivo VPAN (red de comunicación de luz visible de área personal) se compone de una capa PHY, que contiene el transceptor de luz, con su mecanismo de control de bajo nivel, y una subcapa de control de acceso al medio (MAC) que proporciona acceso al canal físico para todos los tipos de transferencias. En la siguiente Figura 4, se muestran estas capas en una representación gráfica.

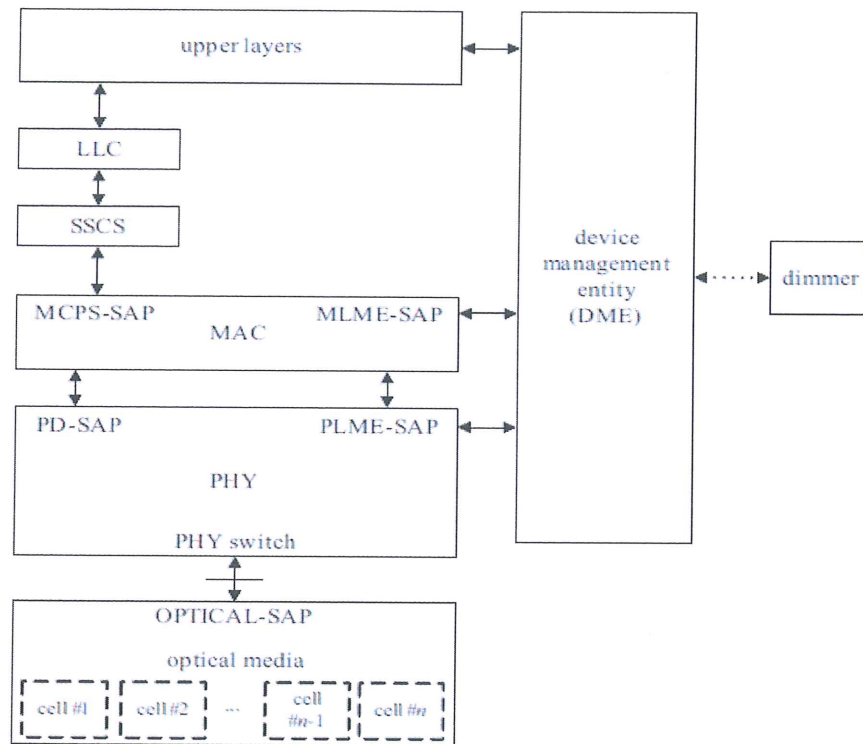


Figura 4 VPAN Arquitectura de Dispositivo

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)

Las capas superiores, que se muestran en la anterior figura, contienen una capa de red que proporciona la configuración de la red, así como el enrutamiento de mensajes, y una capa de aplicación, que proporciona la función prevista del dispositivo.

La capa de control de enlace lógico (LLC) puede acceder a la subcapa MAC a través del específico servicio de convergencia de subcapa (SSCS).

### 2.2.2 Capa MAC

La subcapa MAC proporciona dos servicios, a través de dos puntos de acceso al servicio (SAP), como se puede ver en la Figura 4. Se accede a los datos a través de la MAC parte común subcapa SAP (MCPS-SAP), mientras se accede a través

de la gestión de MAC entidad de gestión subcapa (MLME-SAP). El servicio de datos MAC permite la transmisión y recepción de MPDU en todo el servicio de datos PHY. Las características de la subcapa MAC son:

- La gestión de beacom
- Acceso al canal
- Intervalo de tiempo de gestión (GTS)
- Frame de validación
- Reconocimiento de entrega de frame
- Asociación y disociación.

La subcapa MAC también proporciona vínculos para la implementación de los mecanismos de seguridad de la aplicación apropiada. La subcapa MAC también proporciona la función de color, visibilidad, color-estabilización y el soporte de atenuación (dimming). (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)

### **2.2.2.1 Atenuación y Parpadeo (dimming and flicker-mitigation)**

Con estos términos nos referimos a los métodos para la regulación y el apoyo de parpadeo-desvanecido en la luz; Un patrón de inactividad se puede transmitir durante el reposo MAC o RX (es decir ilumina pero no trasmite información), recordemos que la luz se prende y se apaga a grandes velocidades que no son perceptibles para el ojo humano conocida como conmutación de ON-OFF, donde por poner un ejemplo 5V vendrían a ser el ON y 1V vendría a ser el OFF, en TTL a este OFF se lo conoce como cero vivo. Esto es importante ya que se desea mantener la visibilidad y el funcionamiento libre de parpadeo (flicker-mitigation) durante los períodos de inactividad o RX en la infraestructura. El patrón de reposo tiene el mismo ciclo de trabajo que se utiliza durante la comunicación de datos activo, de modo que no hay parpadeo visto durante los períodos de inactividad. Este patrón de reposo y su dependencia de la configuración de atenuación se muestra en la Figura 5.

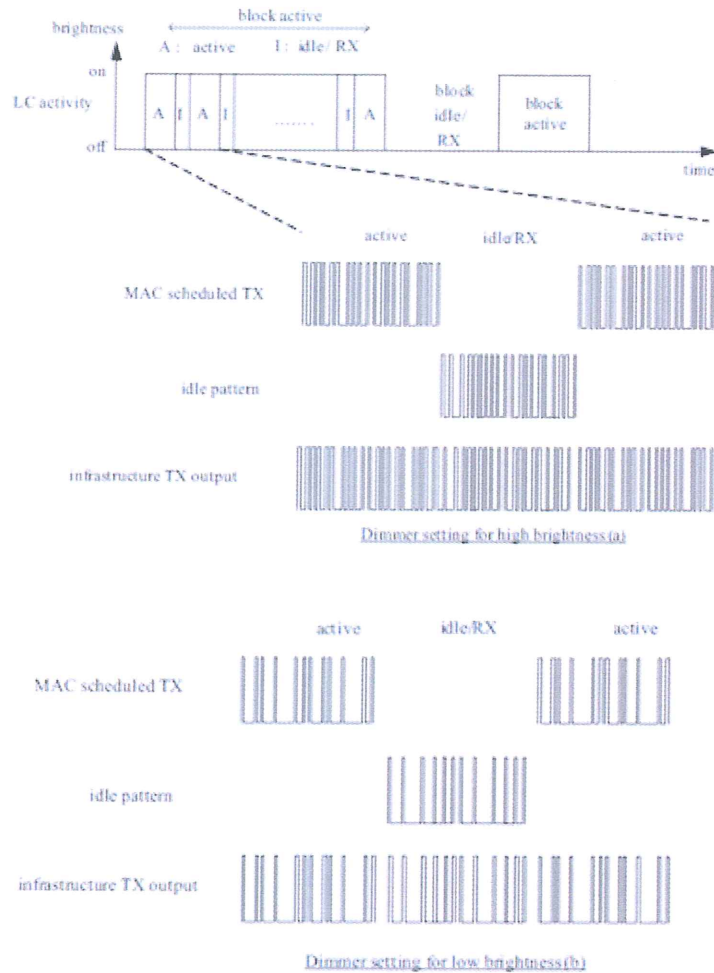


Figura 5 Adaptación ciclo de datos.

Fuente: (Richard D. Roberts I. , 2012)

La transición de la operación activa (ON) y marcha en vacío / RX puede ser en gran escala de tiempo (bloque activo / inactivo / RX) o en una escala de tiempo pequeño. En la gran actividad de la sesión, cuando la actividad VLC es "ON", como se puede observar en la imagen, no puede haber reducido el tiempo de transición a escala de modo activo y modo de espera / RX. En la imagen se puede distinguir dos configuraciones de atenuación de alto brillo (a) donde se ilustra un ciclo de trabajo mayor para un mayor brillo, así como la configuración Dimmer para baja luminosidad (b) ilustra un ciclo de trabajo menor para menor brillo. Los

datos y el patrón de reposo deben tener el mismo ciclo de trabajo con el fin de minimizar el parpadeo.

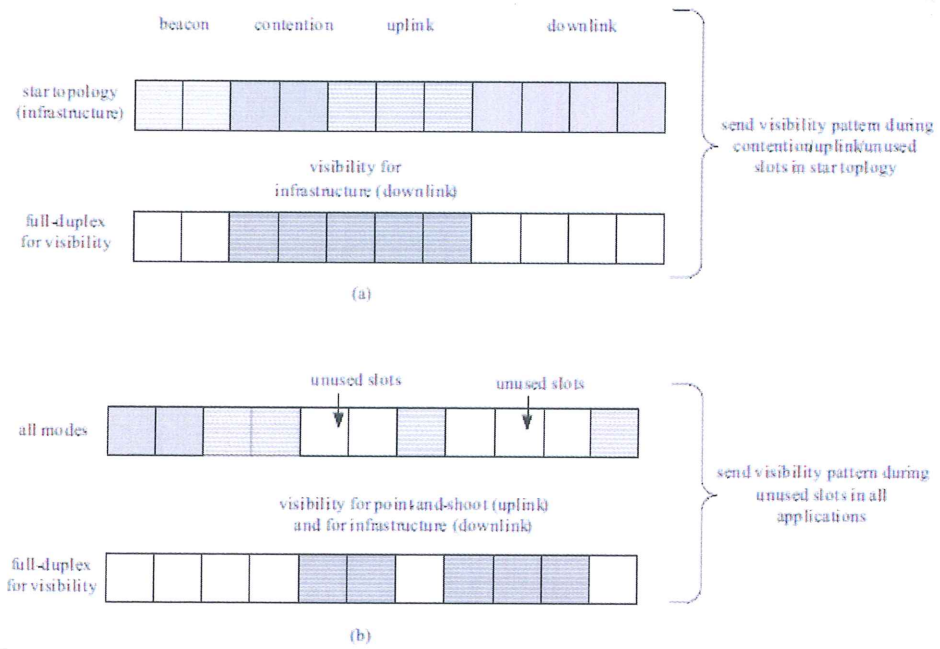


Figura 6 RX modos de funcionamiento.

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)

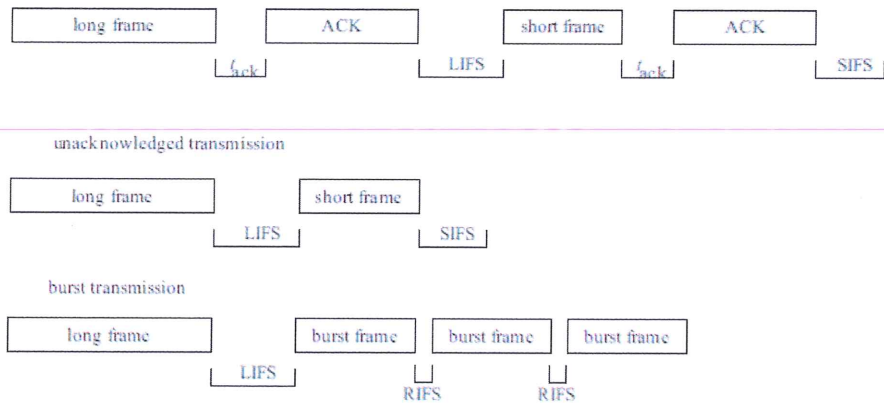


Figura 7 Espacio entre Tramas

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)

### 2.2.2.2 Especificaciones del protocolo MAC

Esta cláusula especifica la subcapa MAC de esta norma. La subcapa MAC se encarga de todos los accesos a la capa física y es responsable de las siguientes tareas:

- a) Generación de balizas de red (beacom) si el dispositivo es un coordinador
- b) La sincronización con balizas de red (beacom)
- c) Soportar la asociación y disociación VPAN
- d) Soportar la función del color
- e) Soportar la visibilidad
- f) Soportar la atenuación
- g) Esquema de parpadeo-desvanecido (Flicker-mitigation)
- h) Soportar la indicación visual del estado del dispositivo y la calidad del canal
- i) Soportar la seguridad del dispositivo
- j) Proporcionar un vínculo fiable entre dos entidades pares MAC
- k) Soportar la movilidad

Topologías Peer-to-peer, estrella y broadcast, como se muestra en la Figura 2, proporcionan una sola estructura de trama MAC. Todos estos diversos modos son apoyados a través de una única estructura de marco integrado de baja complejidad.

Constantes y atributos que se especifican por la subcapa MAC se definen, a las constantes con un prefijo general de "a", por ejemplo, *aBaseSlotDuration*, y se enumeran en la tabla siguiente:

Tabla 1 Constantes Sub-capa MAC

Constant	Description	Value
<i>aBaseSlotDuration</i>	The number of optical clocks forming a superframe slot when the superframe order is equal to 0 (see 5.1.1.1).	60
<i>aBaseSuperframeDuration</i>	The number of optical clocks forming a superframe when the superframe order is equal to 0.	$aBaseSlotDuration \times aNumSuperframeSlots$
<i>aExtendedAddress</i>	The 64-bit (IEEE) address assigned to the device.	Device specific
<i>aGTSDescPersistenceTime</i>	The number of superframes in which a GTS descriptor exists in the beacon frame of the coordinator.	4
<i>aMaxBeaconOverhead</i>	The maximum number of octets added by the MAC sublayer to the MSDU of a beacon frame.	75
<i>aMaxBeaconPayloadLength</i>	The maximum size, in octets, of a beacon payload.	$aMaxPHYFrameSize - aMaxBeaconOverhead$
<i>aMaxLostBeacons</i>	The number of consecutive lost beacons that will cause the MAC sublayer of a receiving device to declare a loss of synchronization.	4
<i>aMaxMACSafePayloadSize</i>	The maximum number of octets that can be transmitted in the MSDU field of an unsecured MAC frame that will be guaranteed not to exceed <i>aMaxPHYFrameSize</i> .	$aMaxPHYFrameSize - aMaxMPDUUnsecuredOverhead$
<i>aMaxMACPayloadSize</i>	The maximum number of octets that can be transmitted in the MSDU field.	$aMaxPHYFrameSize - aMinMPDUOverhead$

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)

Por el contrario los atributos tienen un prefijo general de "mac", por ejemplo, macAckWaitDuration, diferenciándose dos tipos:

- Los Atributos de prefijo general mac.
- Los atributos de prefijo mac de seguridad.

Con esta aclaración se comienza a citar cada uno de ellos (en la sección anexos) y los atributos de prefijo de seguridad los citaremos en la sección referente a la seguridad del estándar.

### 2.2.2.3 Descripción Funcional Capa MAC

Proporciona una descripción detallada de la funcionalidad MAC, se describen los dos mecanismos siguientes para el acceso de canal: contención base (contention



based) y libre de contención (contention free). El acceso basado en contención permite que los dispositivos para acceder al canal de una manera distribuida utilizando un algoritmo de backoff de acceso aleatorio. El acceso libre de contención está controlado en su totalidad por el coordinador a través del uso de GTS.

Los mecanismos utilizados para iniciar y mantener un VPAN con MAC también, informan del número de canales agregados así como los colores de guardia asociados para cada canal. A continuación, el otro dispositivo intenta recibir y sincronizar en todos los canales de K compartidos entre los dispositivos.

El segundo dispositivo recibirá al menos un canal con el fin de comunicarse. Los canales de K y las capacidades del dispositivo se obtienen a partir de la información mencionada (sobre la base de la energía de la interferencia de la luz ambiente y la energía recibida durante la transmisión, un WQI calcula la interferencia con la luz normal) se calcula para todos los canales de K). El segundo dispositivo transmite a continuación, en todos los canales comunes K al primer dispositivo. El segundo dispositivo también ofrece sus canales soportados, canales de guardia y los requisitos de aplicación como parte de su intercambio de capacidades de información, con esto el primer dispositivo intentan recibir y sincronizar en todos los canales de K.

Por lo tanto primer dispositivo informa a continuación los canales de comunicación al segundo dispositivo, al final de este intercambio, ambos dispositivos tienen una estimación de la ICA para sus transmisiones que es la más adecuada para la recepción en el otro extremo. A partir de ese punto, ambos dispositivos pueden comunicarse en el canal o canales acordados.

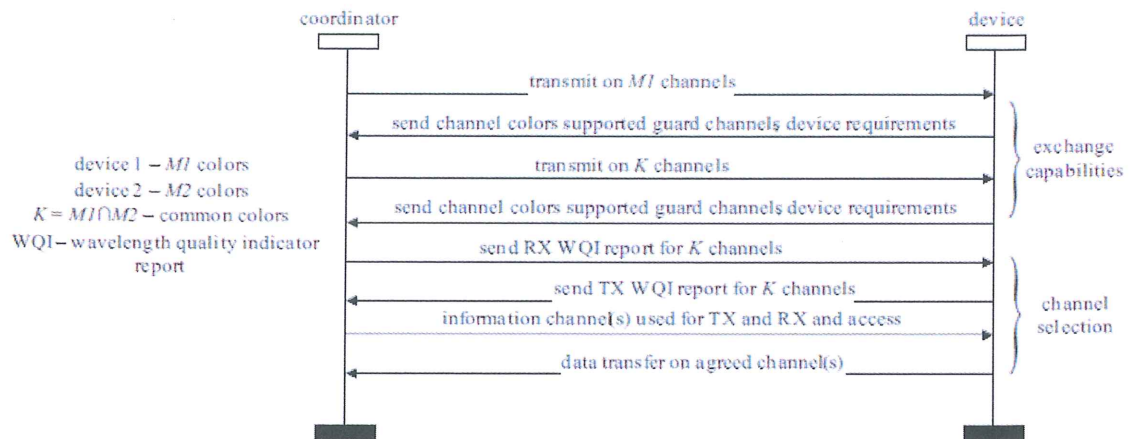


Figura 8 VPAN Inicialización.

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7; 2012)

Deja que el dispositivo 1 se apoye a canales de color  $M1$  y dejar que el dispositivo 2 de apoyos de canales de color  $M2$ . Sea  $K$  el número de canales compartidos entre el dispositivo 1 y el dispositivo 2, cuando  $k \geq 1$ . Para una red peer-to-peer, el primer dispositivo, que puede ser el dispositivo o coordinador, inicia las comunicaciones y transmite en todos los canales  $M1$  compatibles. Si no es independiente del hardware para cada color en el transmisor y el receptor, las transmisiones paralelas son posibles, siempre y cuando los canales de color guardia no se utilizan para cualquier elección de color particular. Cada dispositivo se comunica las capacidades de cada dispositivo y de aplicación requisitos través del elemento de MAC y la información de capacidades de PHY (IE) proporcionado. La MAC también informa del número de canales agregados soportados y los colores de guardia asociados para cada canal.

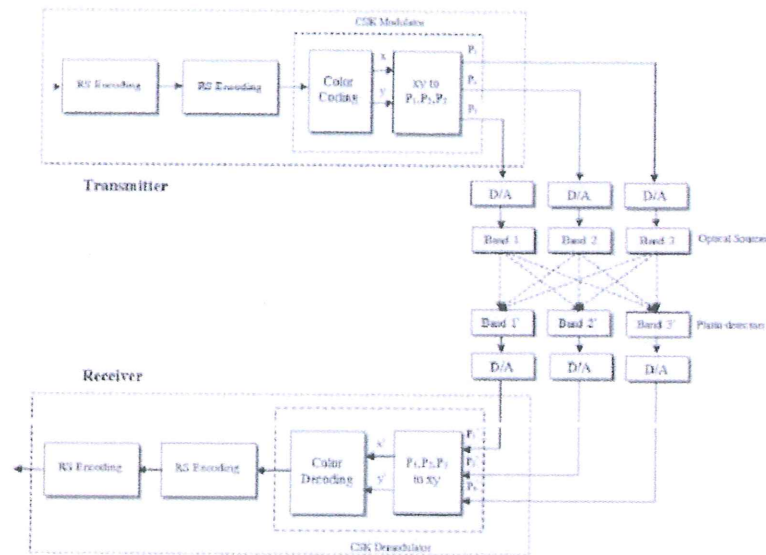


Figura 9 Diagramas de Bloques PHY tipo I, II, III

Fuente: (Elham Sarbazi, 2012)

A continuación, el otro dispositivo intenta recibir y sincronizar en todos los canales de  $K$  compartidos entre los dispositivos. Sin embargo, puede ser capaz de recibir sólo en los canales de 'x', donde  $1 \leq x \leq K$ , debido a la interferencia con otras fuentes de luz. El segundo dispositivo recibirá con al menos un canal con el fin de comunicarse. Los canales de  $K$  y las capacidades del dispositivo se obtienen a partir de la información mencionada. Sobre la base de la energía de la interferencia de la luz ambiente y la energía recibida durante la transmisión, un WQI se calcula para todos los canales de  $K$ . El segundo dispositivo transmite a continuación, en todos los canales comunes  $K$  al primer dispositivo. El segundo dispositivo también ofrece sus canales soportados, canales de guardia y los requisitos de aplicación como parte de su intercambio de capacidad de información. A continuación, el primer dispositivo intenta recibir y sincronizar en todos los canales de  $K$ . Puede recibir sólo en canales 'Y', en la que  $1 \leq x \leq K$ , debido a la interferencia. Desde VLC es muy direccional, es posible que la 'x' e 'y' puede ser diferente. Por ejemplo, si el primer dispositivo está más cerca de una ventana, puede recibir más interferencia de la luz ambiente que el segundo

dispositivo. El primer dispositivo calcula su RX WQI para todos los canales de K también y transmite el informe WQI de vuelta al segundo dispositivo. Simultáneamente, el segundo dispositivo calcula las métricas del ICA (indicación de calidad longitud de onda) sobre la base de la información recibida desde el primer dispositivo. Canales donde la recepción no es posible o donde se sabe que otras piconets para operar por el segundo dispositivo se etiquetarán inutilizable con un ICA recepción de 0.

El segundo dispositivo continuación, informa este RX ICA para todos los canales de K de nuevo al primer dispositivo. El dispositivo iniciador recoge la información para la transmisión, tales como la capacidad de transmisión y recepción de los dos dispositivos, los informes del ICA, los canales de color guardia seleccionados para cada canal y los requisitos de la aplicación. Basándose en esta información, el primer dispositivo determina un único o múltiple canal de comunicación. El primer dispositivo informa a continuación los canales de comunicación al segundo dispositivo.

Por lo tanto, al final de este intercambio, ambos dispositivos tienen una estimación de la ICA para sus transmisiones que es la más adecuada para la recepción en el otro extremo. A partir de ese punto, ambos dispositivos pueden comunicarse en el canal o canales acordados.

El soporte para ICA (indicación de calidad longitud de onda) se proporciona en el PHY y se pasa a la MAC a través de la interfaz de SAP-PD como se muestra en la siguiente Tabla 2.

Tabla 2 PD-DATA Solicitud de Parámetro.

Name	Type	Valid range	Description
psduLength	Unsigned Integer	0- <i>aMaxPHYFrameSize</i>	The number of octets in the PSDU to be transmitted by the PHY entity.
psdu	Set of octets		The set of octets forming the PSDU to be transmitted by the PHY entity.
bandplanID	Unsigned Integer	0-6	Color band channel of PSDU.

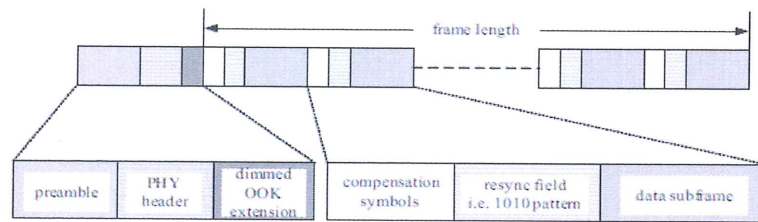
Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)

Inicio de una VPAN sólo es aplicable a los modos de comunicación bidireccional y no para la difusión.

#### 2.2.2.4 Descubrimiento de Dispositivo

El coordinador indica su presencia en un VPAN a otros dispositivos mediante la transmisión de tramas de señalización. Esto permite que los otros dispositivos puedan realizar la detección de dispositivos.

La detección de dispositivos se realizará a 11.67 Kbps con un reloj óptico 200 KHz para PHY I y al 1,25 Mbps con un reloj óptico 3,75 MHz para PHY II. PHY III. El modo de OOK atenuado se puede utilizar para apoyo de regulación en el proceso de descubrimiento de dispositivo. Este modo se indica mediante el atributo MAC PIB, `macUseDimmedOOKmode`. La MAC y PHY intercambian información en el proceso de detección de dispositivos. Las capacidades de apoyo a los tipos de reloj también se intercambian. Una vez que se intercambian las capacidades, el modo de transmisión periódica de datos se reanuda para los tres tipos de PHY. Detección de dispositivos requiere una comunicación bidireccional y no es aplicable a la difusión.



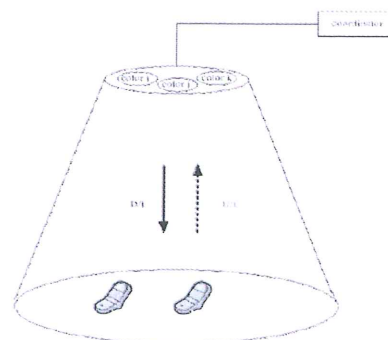
*Figura 10 OOK estructura.*

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)

### 2.2.2.5 Guardia y Agregación de Canales de Color

El plan de bandas proporciona soporte para siete canales lógicos en la MAC. Sin embargo, con el fin de apoyar la asociación de dispositivos sin conocimiento de las capacidades de recepción y para apoyar la difusión unidireccional, el receptor VLC apoyará recepción en todo el espectro de luz visible con cualquier tipo de fuente de luz óptica.

La agregación de canal se utiliza para indicar fuentes ópticas que abarcan múltiples (>1) bandas en el plan de bandas propuesto y están transmitiendo intencionadamente a múltiples bandas debido a la elección de la fuente de luz óptica. Estos canales de guardia se utilizan para indicar las fuentes ópticas que involuntariamente se filtran en otras bandas, cuya información puede ser descartado en el receptor para un mejor rendimiento.



*Figura 11 Ejemplo de uso de múltiples canales*

Fuente: (Hao Ma, 2013)

La exploración de canales es utilizado por un dispositivo para evaluar el estado actual de un canal (o canales), localiza todas las balizas (beacom) dentro de su campo de maniobra, o localizar a un faro en particular con el que ha perdido la sincronización. Antes de comenzar un nuevo VPAN, los resultados de una búsqueda de canales se pueden usar para seleccionar un canal lógico apropiado, así como un identificador de VPAN que no está siendo utilizado por cualquier otra VPAN en la zona. Debido a que todavía es posible que el espacio de operación de dos VPANs con el mismo identificador VPAN pueda superponerse, existe un procedimiento para detectar y resolver esta situación. Tras una búsqueda de canales y la selección identificador VPAN adecuado, la operación como coordinador comenzará. También se describe un método para permitir beacon coordinador para descubrir otros dispositivos durante las operaciones normales, es decir, cuando no se exploran.

El algoritmo para la selección de un VPAN adecuado con el que asociar de la lista de descriptores VPAN devueltos por el procedimiento de búsqueda de canales está fuera del alcance de esta norma.

Tras la selección de un VPAN con la que asociarse, las siguientes capas superiores deberán solicitar a través de la MLME-ASSOCIATE.request primitiva que la MLME configura el siguiente PHY y MAC PIB atribuye a los valores necesarios para la asociación:

- PhyCurrentChannel será igual al parámetro LogicalChannel de la primitiva MLMEASSOCIATE.request.
- MacVPANId será igual al parámetro CoordVPANId de la MLME-ASSOCIATE.request primitivo.
- MacCoordExtendedAddress o macCoordShortAddress, dependiendo de lo que se conoce de la trama de baliza del coordinador por el que deseen asociarse, será igual a la CoordAddress parámetro del MLME-ASSOCIATE.request primitivo.

Un coordinador deberá permitir la asociación sólo si `macAssociationPermit` se establece en `TRUE`. Del mismo modo, un dispositivo debe intentar asociar sólo con un VPAN a través de un coordinador que actualmente está permitiendo asociación, como se indica en los resultados del procedimiento de escaneo. Si un coordinador con `macAssociationPermit` establece en `FALSE` recibe una orden de petición de la asociación de un dispositivo, se ignorará el comando.

Con el fin de optimizar el procedimiento de asociación en un VPAN, faro habilitado, un dispositivo puede comenzar a rastrear el faro del coordinador por el que deseen asociarse. Esto se logra mediante la siguiente capa más alta que emite la `MLME-SYNC.request` primitiva con el parámetro `TrackBeacon` establecido en `TRUE`.

La subcapa MAC de un dispositivo no asociado iniciará el procedimiento de asociación mediante el envío de un orden de petición de asociación

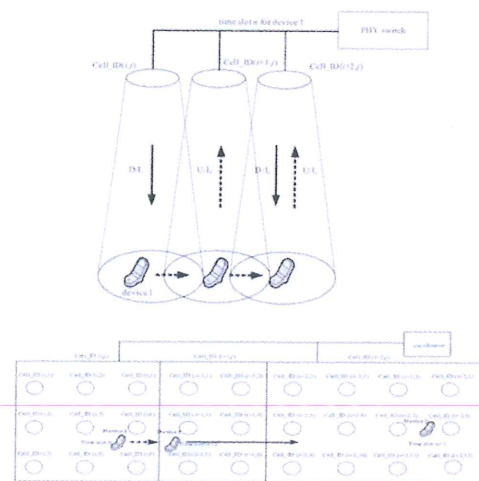


Figura 12 Configuración de movilidad en múltiples celdas.

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)

El procedimiento de asociación se describe con las condiciones en que puede unirse a una VPAN y las condiciones necesarias para que un dispositivo pueda unirse a un coordinador para permitir dispositivos. También se describe el



procedimiento de disociación, que puede ser iniciada por el dispositivo asociado o su coordinador.

Cuando un coordinador con uno de sus dispositivos asociados desean cerrar la sesión y salir del VPAN, la MLME del coordinador enviará el comando notificación-disociación de la manera especificada por el parámetro TxIndirect del MLME-DISASSOCIATE.request primitiva enviado previamente por la siguiente capa superior. Si TxIndirect es TRUE, el MLME del coordinador se envía, la notificación del comando de notificación-disociación al dispositivo mediante la transmisión indirecta, es decir, se añade la trama de comando notificación-disociación a la lista de operaciones pendientes almacenadas. Si la trama de instrucción no se extrae con éxito por el dispositivo, el coordinador debe considerar el dispositivo disociado. De lo contrario, la MLME enviará el comando notificación-disociación para el dispositivo directamente. En este caso, si el comando de notificación-disociación no se puede enviar debido a un fallo de acceso al canal, la subcapa MAC notificará a la siguiente capa superior.

En cuanto a la Sincronización en un VPAN faro habilitado se describe cuando un coordinador genera tramas de señalización. Tras esta explicación, se describe la sincronización en un VPAN con beacon habilitado. También se describe un procedimiento para restablecer la comunicación entre un dispositivo y su coordinador.

Esta norma ha sido diseñada de manera que las transferencias de datos de aplicación pueden ser controladas por los dispositivos de una VPAN en lugar del coordinador. Los procedimientos del coordinador utilizan para manejar múltiples transacciones.

Además, también se describen métodos para la retransmisión de tramas. Los mecanismos para asignar y desasignar GTS que es el mecanismo por el cual la dirección del subcampo GTS=0 envía, transmite tramas, GTS=1 recibe tramas. La dirección GTS se define en relación a la dirección de las transmisiones de tramas de datos por el dispositivo.

El proceso de cancelación de asignación puede dar lugar a la fragmentación del espacio GTS, es decir, los agujeros no utilizados o ranuras. También describe un mecanismo para resolver la fragmentación, por medio de la subcapa MAC que utiliza los mecanismos para todas las tramas entrantes y salientes. La recepción de una trama se define como la recepción exitosa de la trama por la PHY y la verificación con éxito de las FCS por la subcapa MAC.

*Tabla 3 Formato de GTS*

Bits: 0-3	4	5	6-7
GTS Length	GTS Direction	Characteristics Type	Reserved

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)

También existe el proceso de recuperación de rápida conexión, que también permite que los dispositivos inicien la recuperación enlace con un para ahorrar de energía.

Los mecanismos que permiten a los dispositivos usar múltiples canales en el caso de recursos limitados de tiempo o interferencia, se está trabajando para la asignación múltiple de recursos, en el cual el canal utiliza información sobre el soporte de múltiples canales y salto de banda con el fin de apoyar a más usuarios o mejorar el rendimiento.

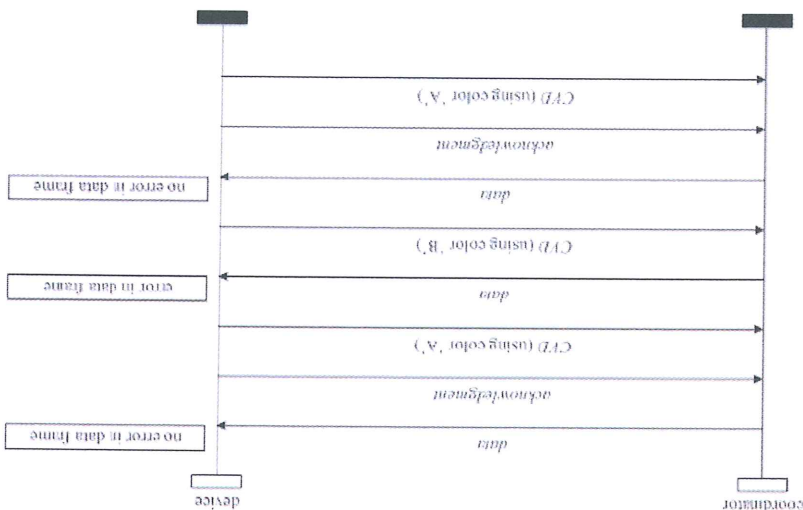
Los mecanismos de apoyo a la movilidad del dispositivo bajo una infraestructura que soporta múltiples elementos ópticos en una amplia área de cobertura. El concepto de una celda se introduce y el apoyo a la movilidad a través de múltiples celdas con el apoyo de la infraestructura se presenta.

Los mecanismos para indicar visualmente al usuario los distintos estados que utilizan varios colores se definen en la siguiente Tabla 4.

Los diversos estados, como la detección de dispositivos (exploración, asociación, disociación), el estado de transferencia de archivos, indicación de calidad de

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7, 2012)

Figura 13 CVD uso de marco para la indicación de reconocimiento



Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7, 2012)

Color of CVD frame	Channel quality
Color "A"	Current FER < FER #1
Color "B"	FER #1 ≤ FER < FER #2
Color "C"	Current FER ≥ FER #2

Tabla 5 Tabla de colores, indicación de la calidad del canal.

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7, 2012)

State	Color choice	Color resolution range
scan	Color "A"	0-255
association	Color "B"	0-255
disassociation	Color "C"	0-255

Tabla 4 de Colores, indicación de estado MAC.

onda y reconocimientos se pueden indicar visualmente al usuario para ayudar con la alineación dispositivo para la comunicación.

Los mecanismos para estabilizar el color óptica emitida por el transmisor se definen los marcos de CVD se utilizan para estimar el cambio de color y esta información se puede proporcionar como retroalimentación para el transmisor y estabilizar su color.

Los mecanismos de utilización de la visibilidad y el oscurecimiento de información en la MAC se definen para los siguientes fines:

a) Alineación (detección de dispositivos, la negociación, la conexión)

b) De guía visible para la alineación de usuario

c) Infraestructura salida de luz continua

d) Parpadeo de interferencia inesperada, avisos de desconexión

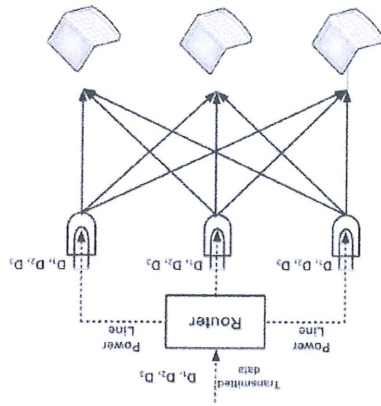


Figura 14 Cooperación arreglo de LEDs

Fuente: (Y. Tanaka, 2012)

El estándar proporciona una única estructura de trama MAC VLC que se puede configurar para múltiples modos. El marco se compone de un número variable de ranuras. Una ranura se puede definir como el tiempo mínimo necesario para comunicarse para enviar los datos más pequeños a un dispositivo y es fijo, se

proporcionan características tales como un modo de preámbulo ampliado para proporcionar visibilidad con un mejor rendimiento de la sincronización. En caso de atenuación, ajustar el tiempo de transmisión de capa MAC.

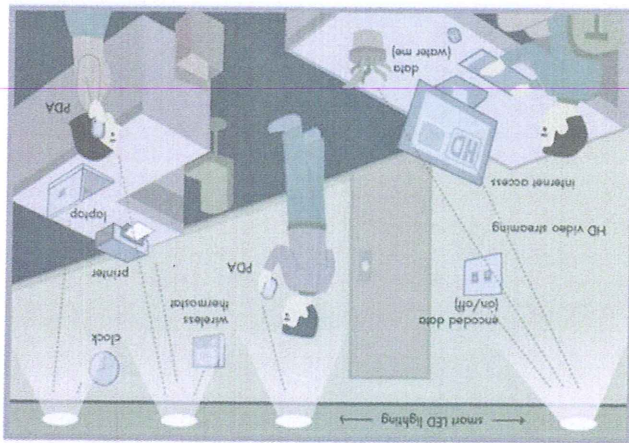


Figura 15 Adaptación Li-Fi ciclo de datos.

Fuente: (elecasoft.blogspot.com, 2014)

### 2.2.3 Capas PHY

La capa PHY soporta múltiples tipos de PHY.

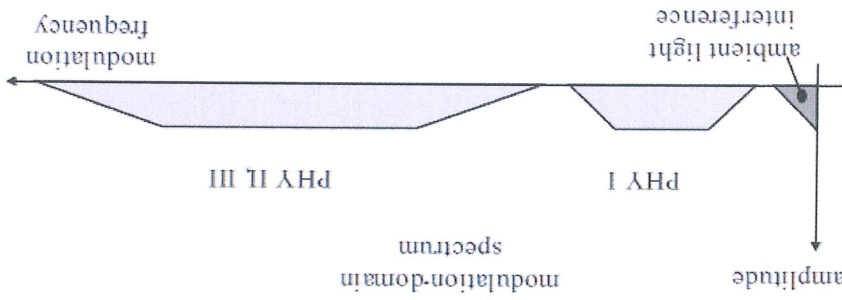


Figura 16 FDM separación de capas físicas PHY tipos de modulación

Fuente: (Richard D. Roberts S. R.-K., 2011)

### 2.2.3.1 Capa PHY I, Capa Física I

a) PHY I: Este tipo PHY está destinado para uso en exteriores con aplicaciones de baja velocidad de datos. Este modo utiliza claves on-off (OOK) y la posición

de modulación de pulso variable (VPPM) con velocidades de decenas a cientos de kbps, tal como se definen en la Tabla 6.

Tabla 6 Modo de Operación capa física - PHY I

Modulation	RLT. code	Optical clock rate	FEC		Data rate
			Outer code (RS)	Inner code (CC)	
OOK	Manchester	200 KHz	(15,11)	none	11.67 kb/s
			(15,11)	none	24.44 kb/s
			(15,11)	2/3	48.89 kb/s
			(15,11)	none	73.3 kb/s
VPPM	4B6B	400 KHz	(15,7)	none	100 kb/s
			(15,2)	none	35.56 kb/s
			(15,4)	none	71.11 kb/s
			(15,7)	none	124.4 kb/s
			none	none	266.6 kb/s

Fuente: (Richard D. Roberts S. R.-K., 2011)

### 2.2.3.2 Capa PHYII, Capa Física II

b) PHY II: Este tipo PHY está destinado para uso en interiores con aplicaciones de velocidades de datos moderadas. Este modo utiliza OOK y VPPM con velocidades de datos de decenas de Mb / s, como se define en la Tabla 7

Tabla 7 Modo de Operación capa física - PHY II

Modulation	RLT. code	Optical clock rate	FEC	Data rate
VPPM	4B6B	3.75 MHz	RS(64,32)	1.25 Mb/s
			RS(160,128)	2 Mb/s
		7.5 MHz	RS(64,32)	2.5 Mb/s
			RS(160,128)	4 Mb/s
	8B10B	15 MHz	RS(64,32)	5 Mb/s
			RS(160,128)	9.6 Mb/s
		30 MHz	RS(64,32)	12 Mb/s
			RS(160,128)	19.2 Mb/s
OOK	60 MHz	RS(64,32)	24 Mb/s	
		RS(160,128)	38.4 Mb/s	
	120 MHz	RS(64,32)	48 Mb/s	
		RS(160,128)	76.8 Mb/s	
			none	96 Mb/s

Fuente: (Richard D. Roberts S. R.-K., 2011)

### 2.2.3.3 Capa PHY III, Capa Física III

c) PHY III: Este tipo PHY está diseñado para aplicaciones que utilizan modulación por cambio de color (CSK) que tienen varias fuentes de luz y detectores. Este modo utiliza CSK con velocidades de datos de decenas de Mbps, como se define en la Tabla 8.

Tabla 8 Modo de Operación capa física - PHY III

Modulation	Optical clock rate	FEC	Data rate
4-CSK	12 MHz	RS(64,32)	12 Mb/s
8-CSK		RS(64,32)	18 Mb/s
4-CSK	24 MHz	RS(64,32)	24 Mb/s
8-CSK		RS(64,32)	36 Mb/s
16-CSK		RS(64,32)	48 Mb/s
8-CSK		none	72 Mb/s
16-CSK		none	96 Mb/s

Fuente: (S. Rajagopal, 2012)

La idea de promover sistemas ópticos inalámbricos de alta velocidad es con la finalidad de superar las limitaciones del espectro radioeléctrico Wi-Fi, explotando una parte completamente distinta del espectro electromagnético.

Se estima que es posible alcanzar velocidades de más de 10 Gbps, teóricamente permitiendo que una película en alta definición sea descargada en 30 segundos. Li-Fi tiene la ventaja de no causar interferencias con otros sistemas y puede ser usado en áreas sensibles como el interior de un avión. (A la velocidad de la Luz, 2013)

### 2.2.3.4 Estructura de trama PHY

La unidad de datos de protocolo MAC (MPDU) en la salida de la subcapa MAC pasa a través de la capa PHY y se convierte en la unidad de datos de servicio PHY (PSDU) en la salida de la capa PHY después de ser procesados a través de los diversos bloques PHY tales como la codificación de canal y codificación de línea. El PSDU está precedido de un encabezado de sincronización (SHR), que contiene el campo secuencia de preámbulo; y una cabecera de PHY (PHR), que, entre otras cosas, contiene la longitud de la PSDU en octetos. El SHR, PHR y PSDU juntos forman la unidad de bastidor PHY o capa PHY de datos (PPDU).

Tabla 9 Formato de la PPDU - PHY I

Preamble (see 8.6.1)	PHY header (see 8.6.2)	HCS (see 8.6.3)	Optional fields (see 8.6.4)	PSDU (see 8.6.5)
SHR	PHR	PHY payload		PHY payload

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7, 2012)

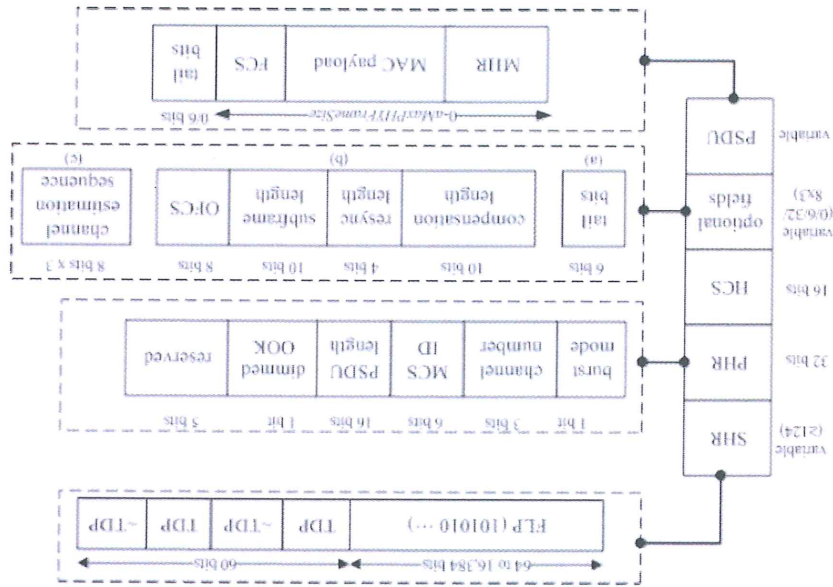
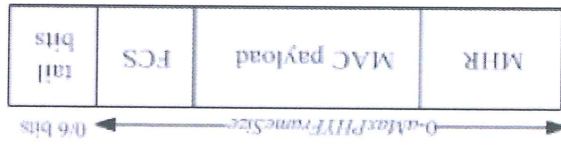


Figura 17 Estructura PPDU

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7, 2012)



El campo PSDU tiene una longitud variable y lleva los datos de la trama PHY. El FCS se añade si el PSDU tiene un byte de carga útil no es cero. Seis bits de cola de ceros se adjuntan a la final de la PSDU, si PHY I se utiliza con velocidades de datos de 1,67 kbps, 24,44kbps, o 48,89 kbps. La estructura del campo PSDU es como se muestra en la Figura 17.



*Figura 18 Formato de la PDU - PHY I*  
Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7, 2012)

Los tipos de PHY coexisten pero no interoperan. PHY I y II PHY ocupan diferentes regiones espectrales en el espectro de modulación de dominio, lo que permite la multiplexación por división de frecuencia (FDM) como un mecanismo de convivencia, como se muestra en la Figura 5. PHY I y III PHY también ocupan diferentes regiones espectrales en la modulación en el dominio espectro, con diferentes velocidades de datos y apoyo a los tipos diferentes ópticos, proporcionando la convivencia. Sin embargo, las frecuencias de reloj ópticos utilizados para PHY II y PHY III, causando un solapamiento significativo en el espectro de dominio de la frecuencia. Además, no todos los dispositivos son compatibles con múltiples bandas de frecuencia óptica necesarios para PHY III. Por lo tanto, todos los dispositivos PHY III utilizan un dispositivo PHY II para la detección de dispositivos para soportar la convivencia con PHY II.

## 2.2.4 Seguridad

Desde una perspectiva de seguridad, IEEE 802.15.7, para redes visibles de área personal, WPAN, es ligeramente diferente de otras redes inalámbricas, por la direccionalidad y la visibilidad debido al espectro óptico visible. Puesto que la direccionalidad y la visibilidad, si un receptor no autorizado está en el camino de la señal de comunicación, puede ser reconocido. Además, la señal no viajará a través de medio, como paredes, a diferencia de otras redes inalámbricas basadas en radiofrecuencia. Sin embargo, los algoritmos de seguridad se siguen prestando en el estándar para las características tales como:

- Confidencialidad de datos
- Autenticación
- Protección de Repetición.

Los dispositivos pueden ser de bajo costo y tienen capacidades limitadas en términos de poder de cómputo, almacenamiento disponible y fuga de energía; no siempre puede ser asumido que tienen una base informática de confianza ni un número aleatorio de alta calidad generador autenticación.

Estas restricciones limitan la elección de los algoritmos y protocolos criptográficos e influyen en el diseño de la arquitectura de seguridad debido a que el establecimiento y mantenimiento de relaciones de sesión entre los dispositivos deben abordarse con cuidado. Además, la vida útil y las limitaciones de costo pueden poner límites severos en el gasto de la seguridad que estas redes pueden tolerar, algo que es de mucho menos preocupación con las redes de ancho de banda superior. La mayoría de estos elementos arquitectónicos de seguridad se pueden implementar en las capas superiores y pueden, por lo tanto, ser considerado como fuera del ámbito de aplicación de esta norma.

El mecanismo criptográfico en esta norma se basa en la criptografía de clave simétrica y utiliza claves que son proporcionados por los procesos de capas superiores. El establecimiento y mantenimiento de estas teclas está fuera del

alcance de esta norma. El mecanismo supone una implementación segura de las operaciones de cifrado y almacenamiento seguro y auténtico de material clave. El mecanismo criptográfico proporciona combinaciones particulares de los siguientes servicios de seguridad:

a) La confidencialidad de los datos: La garantía de que transmite la información sólo se da a conocer a las partes para la que está destinada.

b) La autenticidad de los datos: Aseguramiento de la fuente de la información transmitida (y, de ese modo, que la información no se ha modificado en tránsito).

c) ~~La protección de repetición: se detecta Seguridad de que se duplica la información.~~

La protección del marco real proporcionada se puede adaptar sobre una base de fotograma a fotograma y permite ver diferentes niveles de autenticidad de los datos (para minimizar la sobrecarga de la seguridad en las tramas transmitidas cuando sea necesario) y para opcional confidencialidad de los datos. Cuando se requiera protección no trivial, siempre se proporciona protección contra la reproducción.

Se permite la protección del marco de cifrado para utilizar una clave compartida entre dos dispositivos pares (clave de enlace) o una clave compartida entre un grupo de dispositivos (clave de grupo), lo que permite una cierta flexibilidad y de aplicación específica compromiso entre el almacenamiento de claves y los costos de mantenimiento clave frente a la protección criptográfica proporcionada. Si una tecla de grupo se utiliza para la comunicación de igual a igual, se proporciona la protección sólo contra los dispositivos de afuera y no en contra de los posibles dispositivos maliciosos en el grupo de intercambio de clave. (IEEE-SA Standards 802.15.7, 2012)

Attribute	Identifier	Type	Range	Description	Default
<i>macSecurityLevelTable</i>	0x75	Table of Security Level Descriptor entries (see Table 70)	---	A table of Security Level Descriptor entries, each with information about the minimum security level expected depending on recurring frame type and subtype.	(empty)
<i>macSecurityLevelTableEntries</i>	0x76	Integer	non-specific	The number of entries in <i>macSecurityLevelTable</i> .	0
<i>macFrameCounter</i>	0x77	Integer	0x00000000-0x0FFFFFFF	The outgoing frame counter for this device.	0x00000000
<i>macAutoRequestSecurityLevel</i>	0x78	Integer	0x00-0x07	The security level used for automatic data requests.	0x06
<i>macAutoRequestKeyID</i>	0x79	Integer	0x00-0x03	The key identifier mode used for automatic requests. This attribute is invalid if the <i>macAutoRequestSecurityLevel</i> attribute is set to 0x00.	0x00
<i>macAutoRequestKeySource</i>	0x7a	As specified by the <i>macAutoRequestKeyID</i> parameter	---	The originator of the key used for automatic data requests. This attribute is invalid if the <i>macAutoRequestKeyID</i> attribute is set to 0x00.	All octets 0xFF
<i>macAutoRequestKeyIndex</i>	0x7b	Integer	0x01-0x1F	The index of the key used for automatic data requests. This attribute is invalid if the <i>macAutoRequestKeyID</i> attribute is set to 0x00.	All octets 0xFF
<i>macAutoRequestKeySource</i>	0x7c	Set of 8 octets	---	The originator of the default key used for key identifier mode 0x01.	All octets 0xFF
<i>macVLANCoordExtendedAddress</i>	0x7d	IEEE address	An extended 64-bit IEEE address	The 64-bit address of the coordinator.	---
<i>macVLANCoordShortAddress</i>	0x7e	Integer	0x0000-0xFF	The 16-bit short address assigned to the coordinator. A value of 0xFF indicates its 64-bit extended address is only using 0xFF. The 0xFF indicates that the coordinator is only using 0xFF. A value of 0xFF indicates that this value is unknown.	0x0000
<i>macKeyTable</i>	0x71	List of Key-Descriptor entries (see Table 67)	---	A table of Key-Descriptor entries, each containing keys and related information required for secured communications.	(empty)
<i>macKeyTableEntries</i>	0x72	Integer	Implementation on specific	The number of entries in <i>macKeyTable</i> .	0
<i>macDeviceTable</i>	0x73	List of Device-Descriptor entries (see Table 71)	---	A table of Device-Descriptor entries, each indicating a remote device with which this device securely communicates.	(empty)
<i>macDeviceTableEntries</i>	0x74	Integer	Implementation on specific	The number of entries in <i>macDeviceTable</i> .	0



Gbps en un entorno de laboratorio y 500 Mbps en condiciones atmosféricas menos que óptima durante una feria comercial.

Para aquellos que desconocen del tema, las funciones de VLC de una manera similar a Wi-Fi, con la diferencia que oscila un LED en lugar de un transmisor Wi-Fi y transmite la luz en lugar de radiación de microondas.

LIFI tiene un inmenso potencial, ya que puede convertir casi cualquier lámpara LED en una conexión de red. Puesto que opera en los cientos de terahertz gama, evita la "crisis de espectro inalámbrico" y sus problemas de licencia relacionados. Este último aspecto también permitirá que sea utilizada en áreas donde hay un amplio ruido de RF o en lugares donde se prohíbe el ruido de RF, como los hospitales, Fraunhofer es una empresa que está trabajando en prototipos para LIFI. (<http://www.tomshardware.com>, 2013)

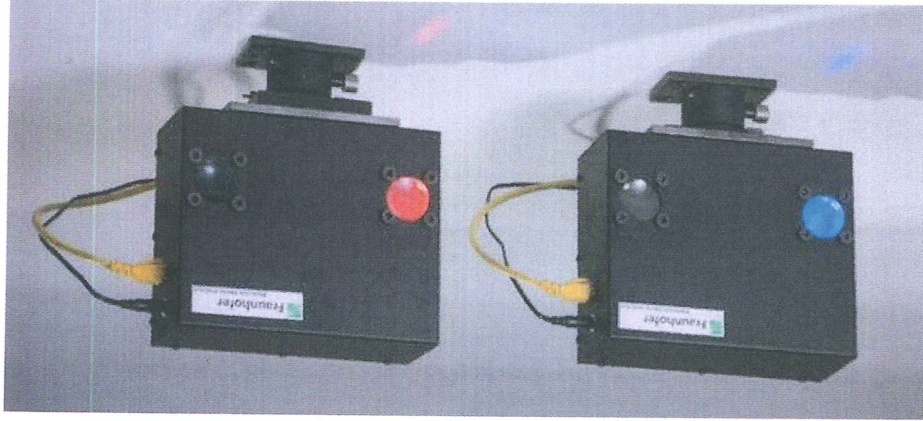
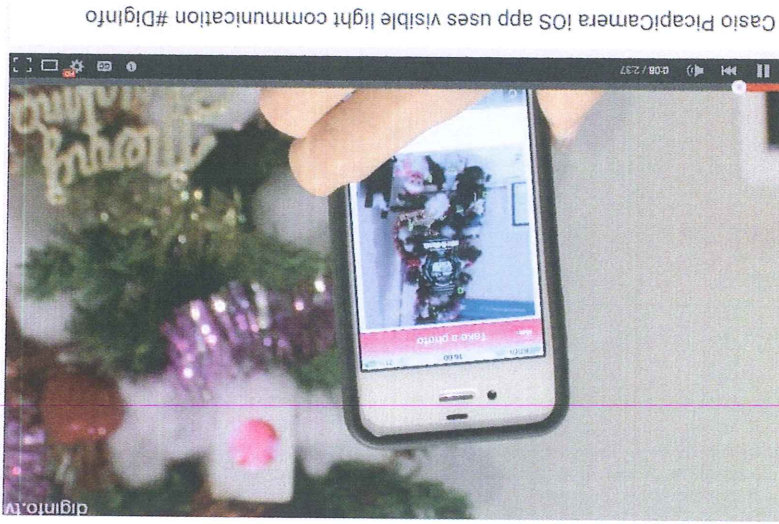


Figura 20 Prototipo LIFI

Fuente: (<http://www.tomshardware.com>, 2013)

Casio ha implementado una aplicación para iPhone que permite la transmisión de datos a baja frecuencia con LEDs RGB (rojo, verde, azul) de tres colores, que parpadean y envían información hacia la cámara del teléfono, mostrando diferentes imágenes. Esto ha supuesto un enorme avance, ya que permite el uso de hasta 5 teléfonos al mismo tiempo y un alcance de 100 metros.

Esto último se debe a que la cámara solo necesita captar una pequeña muestra de los colores y procesar el patrón de parpadeo. A pesar de esto, solo permite una velocidad de aproximadamente 1 byte por segundo, por lo que todavía necesita perfeccionarse. Sin embargo, no hay necesidad de usar un fotodiodo, cosa que lo hace más práctico. (Casio PicapiCamera iOS app uses visible light communication, 2012)



*Figura 21 Usos Comunicación por Luz visible*

**Fuente:** (Casio PicapiCamera iOS app uses visible light communication, 2012)

Otro uso parecido es el que desarrolló un estudiante del MIT en EE.UU. que usa una sucesión de colores, que según él son imperceptibles para el ojo humano, impresas en una pantalla de una tablet (iPad) para obtener una URL que redirige a una página o aplicación que está en el teléfono y permite ver las últimas noticias directamente en el smartphone.

Como toda tecnología tiende a ser mejorada con los diferentes laboratorios de las diferentes empresas, Li-Fi no es la excepción existen varios experimentos de laboratorio en los cuales se llega a velocidades de 3Gbps y en aumento en el

La Universidad de Strathclyde, que forma parte junto con otras universidades del proyecto "Conexiones de Luz Visible Ultra-paralelas", han desarrollado un nuevo tipo de micro LEDs hechos con nitruro de Galio que tienen la capacidad de parpadear a velocidades mucho mayores que los LEDs comerciales. La Universidad de Oxford, junto con la de Edinburgo han reportado velocidades de hasta 3Gbps de un solo micro LED con métodos experimentales.

Por último, pureVLC también ha desarrollado una aplicación aún más avanzada que ha demostrado poder enviar un mensaje de texto con una velocidad de 3Kbps mediante una fuente de luz indirecta. Claramente, esto es solo el comienzo de un gran futuro para multitud de aplicaciones de esta tecnología.

PURE VLC será la manufacturadora y marca bajo la que se comercialicen todos los productos que se diseñen, desarrollen y fabriquen con esta tecnología, de lo que se tiene planeado con el Doctor Harold Hass.

Fuente: (Frank DEICKE, 2012)

Organisation/ Comm. Type	Target Application	Link Distance	Data Rate	Year <sup>1</sup>	Remarks
IrDA legacy	12M, F2M	≤1 m	9.6 kbps - 1 Gbps	2009	Half duplex, point-to-point
IrSimple/IrSS	12M, 12M	several m	9.6 kbps - 1 Gbps	2008	Bi-/uni-directional, point-to-point, point-to-multipoint
	ITS	several m	1 - 128 Mbps	2006	Half duplex, point-to-point
ICSA	WLAN	several m	≤10 Mbps	n.a.	Half duplex, point-to-multipoint
VLC	12M, 12M	several m	≤10 Mbps	n.a.	Half duplex, point-to-multipoint
Samsung/TPMS	12M	≤1 m	120 Mbps - 320 Mbps	2008	Full duplex, WYSIWYS, point-to-point
IEEE 802.15.7	12M, 12M, F2M	several m	100 kbps - 96 Mbps	2011	Point-to-point, point-to-multipoint
	OMEGA	12M	125 Mbps	2009	Uni-directional, only PHY, proprietary
Siemens/Flig	12M	several m	500 Mbps	2010	Uni-directional, only PHY, proprietary
Flig IPMS	12M	<10cm	3 Gbps	2012	Full Duplex, point-to-point, proprietary

Tabla 11 Velocidades de Transmisión

referencia en la figura (Frank DEICKE, 2012)

espectro de luz visible, un ejemplo claro de ello es Samsung, LG, SIEMENS, Future Network y muchas Universidades del mundo que están buscando prototipos para poder en un futuro comercializar 805.15.7 Li-Fi, como se hace



En Octubre del 2011, varias compañías y grupos industriales se unieron bajo el nombre de LiFi Consortium cuya finalidad es unir esfuerzos y capitales, preparándose así para el futuro que nos deparan estas nuevas ideas. Se estima que es posible alcanzar velocidades de más de 10 Gbps, teóricamente permitiendo que una película en alta definición sea descargada en 30 segundos. Li-Fi tiene la ventaja de no causar interferencias con otros sistemas y puede ser usado en áreas sensibles como el interior de un avión. (A la velocidad de la Luz, 2013)

### 3.2 Modelos Disponibles

Los prototipo por de pureLiFi, liderado por el Profesor Harold Hass, padre de Li-Fi es el ente donde se están creando varios diseños con tendencia la mejora continua para un futuro despliegue de la tecnología que el mismo profesor Hass, ha investigado por varios años con un grupo de colaboradores.

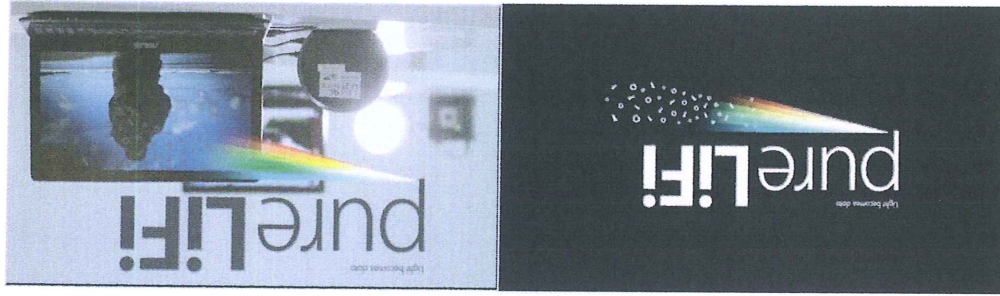
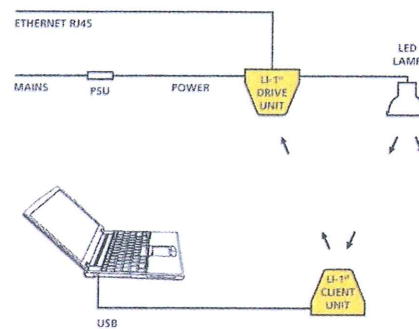


Figura 22 Li-Fi Prototipos pureLi-Fi, pure VLC

Fuente: (Informática-mente pureLiFi, 2014)

En su primer prototipo figura se conecta a Drive Unit un cable para la red eléctrica, así como un cable de Ethernet, siendo Drive Unit el que maneja la inteligencia de Li-Fi, encargándose de transformar toda la información a pulsos ópticos, de igual manera como vía tendríamos un Drive Unit para nuestro

ordenador o usuario conectado vía USB a Drive Unit, como se puede ver en la Figura 23.



*Figura 23 Li-1st, primer sistema Li-Fi*

Fuente: (www.xatakaon.com, 2013)

Básicamente se trata de un sistema construido con LEDs convencionales (es decir, por el momento nada de nanoleds capaces de alcanzar altas velocidades) que ofrece una comunicación full duplex de hasta 5 Mbps y un corto alcance de sólo 3 metros. (www.xatakaon.com, 2013)

Todo ello al mismo tiempo que ilumina la sala en la que lo instalemos. Al principio lanzará los primeros modelos sólo a grupos selectos de usuarios para que prueben a fondo el equipo y posteriormente al resto del mundo, para que continúen con las investigaciones para mejorar los dispositivos.



*Figura 24 Li-Fi Prototipo, Unit Driver Li-1st*

Fuente: (Informática-mente pureLiFi, 2014)

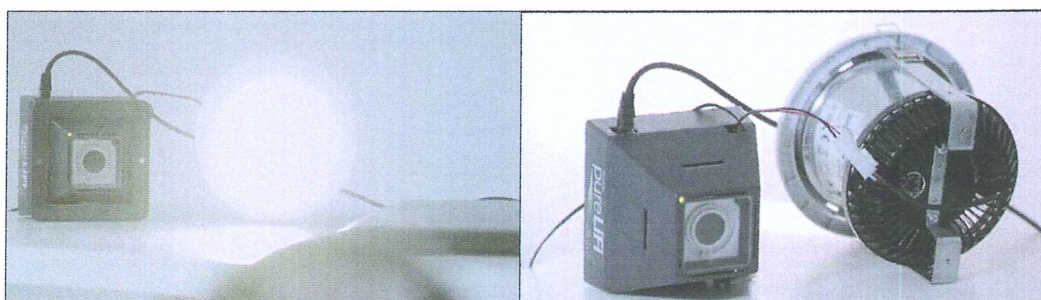
Los primeros pasos en la experiencia de Li-Fi, fueron de esta manera con Li-1st, en la Figura 25 podemos ver cómo se transmite información de un ordenador a otro bajo el estándar 802.15.7 con el primer prototipo, en todo comienzo lo importante es lograr primero que funcione la tecnología, para después buscar la manera de hacerlo más versátil a los cambios.



*Figura 25 Li-Fi Prototipo, convivencia Li-1st*

Fuente: (Informática-mente pureLiFi, 2014)

En la Figura 26 podemos ver como comenzaron los trabajos por parte de pureLIFI, con una lámpara LED, pero ya pensando como cliente como usuario final, haciendo referencia a temas de movilidad no podría llevar en su maleta a todas partes estos dos dispositivos para poder conectarse a la red, sería demasiado incómodo, he ahí la importancia de buscar la manera de hacer eficientes, eficaces y trasportables los dispositivos.



*Figura 26 Li-Fi Prototipo, lámpara LED*

Fuente: (Informática-mente pureLiFi, 2014)

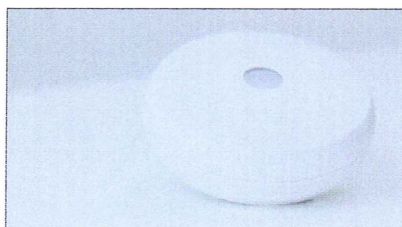
Este dispositivo permite conectarse a través de un puerto USB con nuestros ordenadores, teniendo características importantes por ser giratorio, pasar de un punto de acceso a otro, sin problemas, se podría considerar como una desventaja su tamaño, para tener una idea el equivalente a una batería de computadora portátil en proporción mas no en su peso. Como toda tecnología comienza con equipos grandes, en el trascurso del tiempo se ven sus resultados en cuanto a optimización en varios aspectos.



*Figura 27 Li-Fi Prototipo, unidad de escritorio*

**Fuente:** (Informática-mente pureLiFi, 2014)

Este dispositivo es la versión mejorada de Unit Drive, que adopta el nombre de Li-Frame, tiene varias mejoras, entre ellas las más importantes ya no permiten comunicaciones a 3Mbps sino que llega a distancias más o menos de 10 metros de cobertura, más compacto, más maniobrable, velocidades de transmisión que superan considerablemente los 5Mbps de Li-1st su primera versión, llegando a los 96Mbps y en aumento.



*Figura 28 Li-Fi Prototipo, unidad de techo Li-Flame*

**Fuente:** (Informática-mente pureLiFi, 2014)

En una de las demostraciones de los prototipos diseñados bajo pureLIFI, presenta al público como sería un ambiente indoor (interior), con dicha tecnología en su versión mejorada, con los dispositivos anteriormente mencionados, permitiendo una modulación imperceptible de la transmisión de datos a través de la luz, presentándose grandes beneficios al usar una lámpara LED (diodo emisor de luz).



*Figura 29 Infraestructura Li-Fi indoor segundo prototipo*

**Fuente:** (Informática-mente pureLiFi, 2014)

### 3.3 Características de Operación

#### 3.3.1 Modulación.

Las características de operación de Li-Fi las brinda su especial modulación CSK esta se genera mediante el uso de tres fuentes de color de luz de las siete bandas de color que se definen, los tres vértices del triángulo de la constelación CSK se deciden por la longitud de onda central de las tres bandas de color en coordenadas de color  $xy$ ; es posible que algunas de las fuentes ópticas tengan un pico espectral a una frecuencia diferente que el centro del plan de bandas; también es posible que el espectro de la fuente óptica se distribuye entre múltiples bandas de frecuencia. Tabla que muestra el color coordenada  $xy$

valores suponiendo que la fuente óptica se elige con el pico espectral se produce en el centro de cada una de las siete bandas de color. La función de calibración de color puede compensar la coordenada de color erróneas. (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)

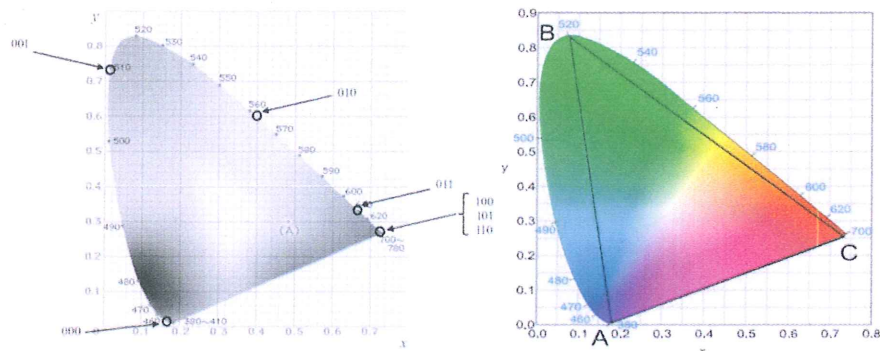


Figura 30 Constelación Li-Fi

Fuente: (Ravinder Singh, 2014)

Tabla 12 Coordenadas de color Li-Fi

Band (nm)	Code	Center (nm)	(x, y)
380–478	000	429	(0.169, 0.007)
478–540	001	509	(0.011, 0.733)
540–588	010	564	(0.402, 0.597)
588–633	011	611	(0.669, 0.331)
633–679	100	656	(0.729, 0.271)
679–726	101	703	(0.734, 0.265)
726–780	110	753	(0.734, 0.265)

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)

### 3.3.2 Norma de diseño para 4-CSK

Para 4-CSK se maneja cuatro símbolos en la constelación se definen por la regla de diseño en la Figura 31. Puntos I, J y K muestra el centro de las tres bandas de color en color de coordenadas XY en la Tabla 12. En la Figura 31, el eje X y el eje Y son el valor relativo. S0 a S3 son cuatro puntos, símbolo de 4-CSK. S1,

S2, y S3 son tres vértices del triángulo IJK. S0 es el centroide del triángulo IJK. Los valores absolutos para 4-CSK para múltiples combinaciones de las fuentes ópticas suponiendo que el pico espectral de la fuente óptica está en el centro del plan de bandas. (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)

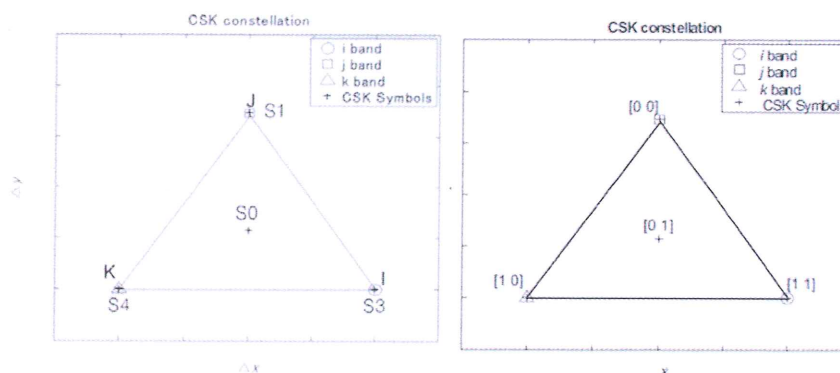


Figura 31 Diseño constelación y mapeo de datos para 4-CSK.

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)

### 3.3.3 Norma de diseño para 8-CSK

8-CSK se tiene ocho puntos, es decir ocho símbolos, se definen por la regla de diseño en la Figura 32. Puntos I, J y K muestra el centro de las tres bandas de color en coordenadas xy de color en la Tabla 12. S0 a S7 son 8 puntos símbolo de 8-CSK. S0, S4 y S7 son tres vértices del triángulo IJK. S1 y S2 son los puntos que dividen lado JK y el lado JI en la relación de 1:2.

El punto B y C son puntos medios de la línea AC y la línea de JK. S6 es un punto medio de la línea de KI. El punto A es el centroide del triángulo B-S6-I. El punto D es el centroide del triángulo C-K-S6. S3 es un punto que divide la línea AB en la proporción 1:2. S5 es un punto que divide la línea DC en la relación de 1:2.

Los valores absolutos para 8-CSK para múltiples combinaciones de las fuentes ópticas suponiendo que el pico espectral de la fuente óptica está en el centro del plan de bandas. (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)

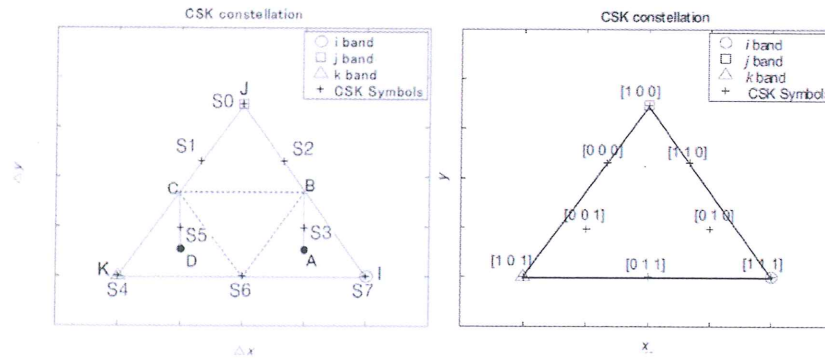


Figura 32 Diseño constelación y mapeo de datos para 8-CSK.

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)

### 3.3.4 Norma de diseño para 16-CSK

16-CSK puntos de símbolos se definen por la regla de diseño en la figura 33. Puntos I, J y K muestran el centro de las tres bandas de color en el color xy coordenadas en la Tabla 12. S0 a S15 son 16 puntos símbolo de 16-CSK. S5, S10, S15 y tres vértices del triángulo IJK. S2 y S8 son puntos que dividen lado JK en un tercio. S3 y S12 son puntos que dividen lado JI en un tercio. S11 y S14 son puntos que dividen lado KI en un tercio. S0 es el centroide del triángulo IJK. S1, S4, S6, S7, S9, y S13 son los centroides de los triángulos más pequeños. Los valores absolutos 16-CSK sirven para múltiples combinaciones de las fuentes ópticas suponiendo que la fuente óptica está en el centro.

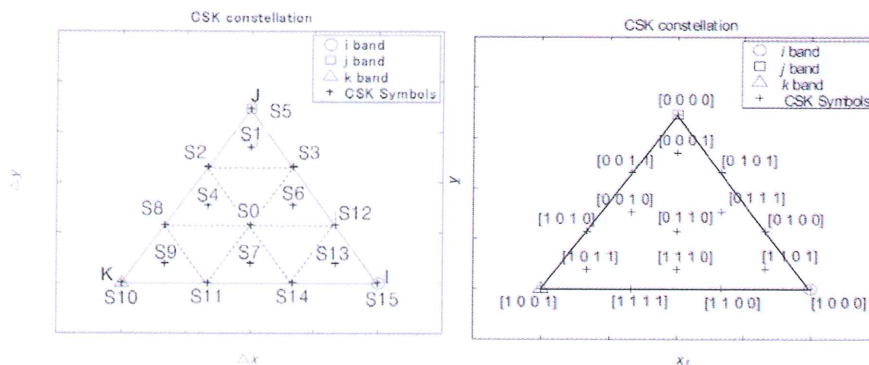


Figura 33 Diseño constelación y mapeo de datos para 16-CSK.

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)



### 3.3.5 Combinaciones de Bandas de Color válidas

La constelación CSK se decide por la combinación de las tres bandas de color, rojo, verde y azul. Ciertas combinaciones no pueden hacer un triángulo en las coordenadas de color xy están excluidos, tales como (110-101-100), por no cumplir con los 3 colores necesarios; Una tabla muestra combinaciones de bandas de color que pueden hacer triángulos de constelaciones CSK.

Tabla 13 Combinación de Bandas de Color válidas para CSK.

	Band <i>i</i>	Band <i>j</i>	Band <i>k</i>
1	110	010	000
2	110	001	000
3	101	010	000
4	101	001	000
5	100	010	000
6	100	001	000
7	011	010	000
8	011	001	000
9	010	001	000

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7; 2012)

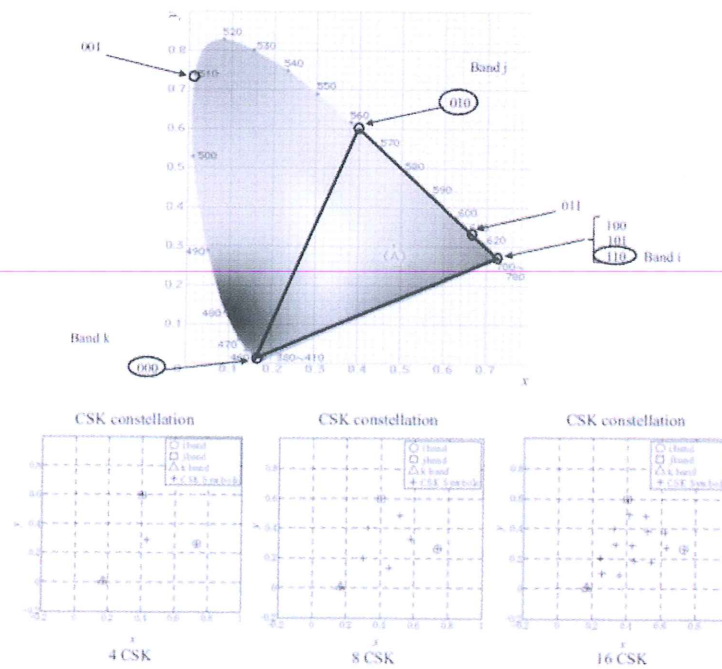


Figura 34 Bandas de Color y Constelación CSK (110, 010, 000)

Fuente: (Ravinder Singh, 2014)

En base a lo mencionado anteriormente podemos tener varias combinaciones para (110, 010, 100) en 4-CSK, 8-CSK y 16-CSK, en la siguiente tabla nos indica combinaciones posibles para estos tres tipos de modulaciones.

Tabla 14 Valor de símbolo para (110, 010, 000) en 4-CSK, 8-CSK y 16-CSK

Center of band (x,y)	xy coordinate values of symbols		
	4-CSK [data] - (xp,yp)	8-CSK [data] - (xp,yp)	16-CSK [data] - (xp,yp)
(0.734 0.265)	[0 0] - (0.402 0.597)	[0 0 0] - (0.324 0.400)	[0 0 0 0] - (0.402 0.597)
(0.402 0.597)	[0 1] - (0.435 0.290)	[0 0 1] - (0.297 0.200)	[0 0 0 1] - (0.413 0.495)
(0.169 0.007)	[1 0] - (0.169 0.007)	[0 1 0] - (0.579 0.329)	[0 0 1 0] - (0.335 0.298)
	[1 1] - (0.734 0.265)	[0 1 1] - (0.452 0.136)	[0 0 1 1] - (0.324 0.400)
		[1 0 0] - (0.402 0.597)	[0 1 0 0] - (0.623 0.376)
		[1 0 1] - (0.169 0.007)	[0 1 0 1] - (0.513 0.486)
		[1 1 0] - (0.513 0.486)	[0 1 1 0] - (0.435 0.290)
		[1 1 1] - (0.734 0.265)	[0 1 1 1] - (0.524 0.384)
			[1 0 0 0] - (0.734 0.265)
			[1 0 0 1] - (0.169 0.007)
			[1 0 1 0] - (0.247 0.204)
			[1 0 1 1] - (0.258 0.101)
			[1 1 0 0] - (0.546 0.179)
			[1 1 0 1] - (0.634 0.273)
			[1 1 1 0] - (0.546 0.179)
			[1 1 1 1] - (0.357 0.093)

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7;, 2012)

### 3.3.6 Calibración de CSK

El sistema VLC podría tener cierta degradación, por ejemplo, el desequilibrio de varios colores, la interferencia de varios colores, o cualquier otro error en el color de coordenadas XY causado por la luz ambiente o las características del dispositivo de luz; por lo tanto, un método de compensación CSK en el receptor se proporciona en el estándar utilizando la calibración de color para la mejora del rendimiento. Los puntos (xi, yi), (xj, yj), (xk, yk) muestra las coordenadas xy de tres fuentes de luz. El punto (xp, yp) muestra el uno de los puntos de color asignados en 4-CSK. El punto de color (xp, yp) se genera por la intensidad de las tres fuentes de luz Pi, Pj y Pk en la figura 35. Estos valores xy se transforman en intensidad Pi, Pj y Pk. En el lado del receptor, los valores de XY se calculan a partir de las potencias de luz recibidas de tres colores, y los valores de XY se decodifican en los datos recibidos.

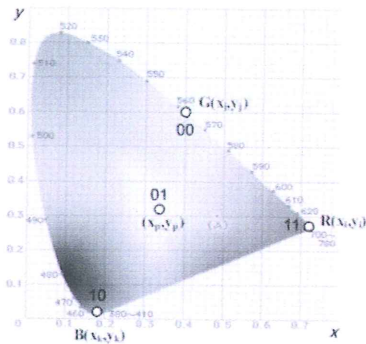


Figura 35 Constelación CSK punto-coordenada

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7; 2012)

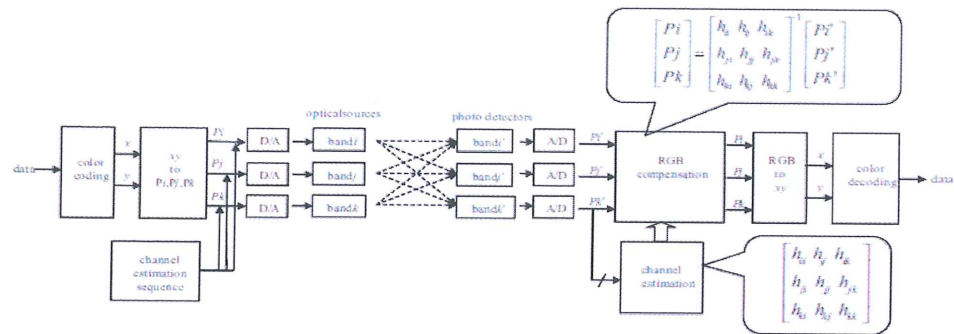
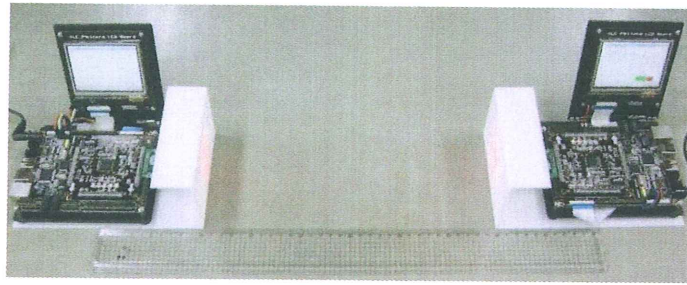


Figura 36 Codificación, decodificación CSK.

Fuente: (IEEE-SA Standards 802.15.7; 2012)

Las tecnologías de la comunicación de luz visible que proporcionan la oportunidad para que los sistemas de iluminación "inteligentes", impulsados por los recientes avances es usando LEDs. Estos sistemas se pueden utilizar en interiores como en exteriores, donde la luz siempre está encendida. Además de una gran cantidad de investigación propia, del grupo de trabajo IEEE 802.15.7 aprobó un estándar para ambos escenarios de uso de tecnologías de comunicación actuales, luz infrarroja y visible, así como propiedades importantes.

En base a todo lo mencionado anteriormente como características de operación podemos mencionar también que puede funcionar Li-Fi en varias formas topología en estrella, topología punto punto y topología broadcast.



*Figura 37 Transmisión VLC demostración.*

Fuente: (Frank DEICKE, 2012)



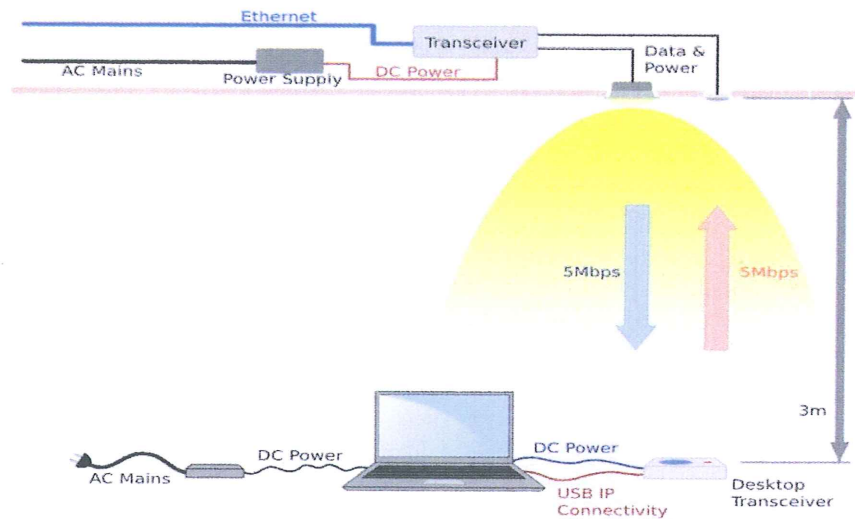
*Figura 38 Modelos de uso de la Luz visible*

Fuente: (Frank DEICKE, 2012)

### 3.4 Costos Referenciales

Una vez realizada la investigación de posibles equipos y fabricantes, es necesario hacer un análisis de costos del mismo, de manera que se pueda tener un referente económico del proyecto, para determinar de mejor manera la viabilidad del mismo. En esta sección se realiza una presentación del posible costo, considerando los mejores precios encontrados en el mercado en cuanto a lámparas LED y un estimado en base al probable costo de los equipos que se despegarán a futuro para (Li-Fi).

Los datos presentados fueron obtenidos en su mayor parte de información en internet, ya que resulta más conveniente con respecto a los equipos terminales todavía se hallan en proceso de fabricación como pudimos ver anteriormente, existen varios prototipos, para lo cual estimaremos un costo.



*Figura 39 Descripción General Funcionamiento LiFi*

Fuente: (LiFi Technology Light, 2012)

Los lámparas LED seleccionados se los pueden encontrar con facilidad en el mercado internacional y con cierta dificultad pero a mayor coste en el mercado nacional, con el fin de tener ofertas de posibles proveedores. Este tipo de bombillas (lámparas fluorescentes compactas), funcionan de forma parecida a los fluorescentes de tubo de toda la vida, pero con la diferencia que, a parte de su bajo consumo, son frías, usan entre un 50% y un 80% menos e energía (y producen la misma cantidad de luz), y duran más (aunque resultan un poco más caras, una vez más esto se ve compensado); además la gran diferencia entre las bombillas LED y las de bajo consumo, es que las LED no contienen ningún elemento tóxico y alcanzan el 100% de su rendimiento desde el mismo momento en que las encendemos, por lo que resultan más eficientes a largo plazo. Las bombillas de bajo consumo han de ser recicladas con tratamiento de residuos peligrosos por tener 3mg a 6mg de mercurio; El consumo con la iluminación de una bombilla LED, se caracteriza porque dura mucho y consume muy poco. De hecho, se estima que tienen una duración aproximada de 70.000 horas, por lo que pueden llegar a durar hasta 50 años. El precio promedio de una bombilla

LED para el consumo de luz en el hogar es de 9 dólares, pudiendo variar según nuestras necesidades, mientras que el precio de las bombillas de bajo consumo su promedio está en 4,50 dólares.

*Tabla 15 Precio aproximado Dispositivo Li-Fi*

DISPOSITIVOS	COSTO
BONBILLA LED	9 Dólares
LMPARA	20 Dólares
Li-Flame	80 Dólares
<b>Total</b>	<b>107,68 Dólares</b>

Los precios mencionados anteriormente serían solo para un punto de acceso, puesto que Li-Fi trabaja por arreglo de celdas, por citar un ejemplo en un ambiente cerrado de 6x5 metros se requeriría mínimos dos puntos de acceso, máximo cuatro puntos de acceso, consideraremos dos.

*Tabla 16 Precio aproximado varios APs*

DISPOSITIVOS	COSTO
2 BONBILLA LED	15.36 Dólares
2 LAMPARA	40 Dólares
2 Li-Flame	160 Dólares
<b>Total</b>	<b>215,36 Dólares</b>

### 3.5 Compatibilidad con otros Estándares

Para empezar debemos tener en cuenta que no todo en la vida se trata de velocidad en redes de información, en algún momento sería muy bueno pensar cuanto afecta a nuestra salud los sistemas basados en electromagnetismo, así en un estudio realizado a un vegetal en una maceta expuesta de manera directa junto a un router Wi-Fi, el vegetal se iba deteriorando continuamente hasta

provocar la muerte de sus células (University of Edinburgh, 2014), por esta razón antes de realizar cualquier análisis comparativo tecnológico es menester tomar en consideración estas implicaciones.

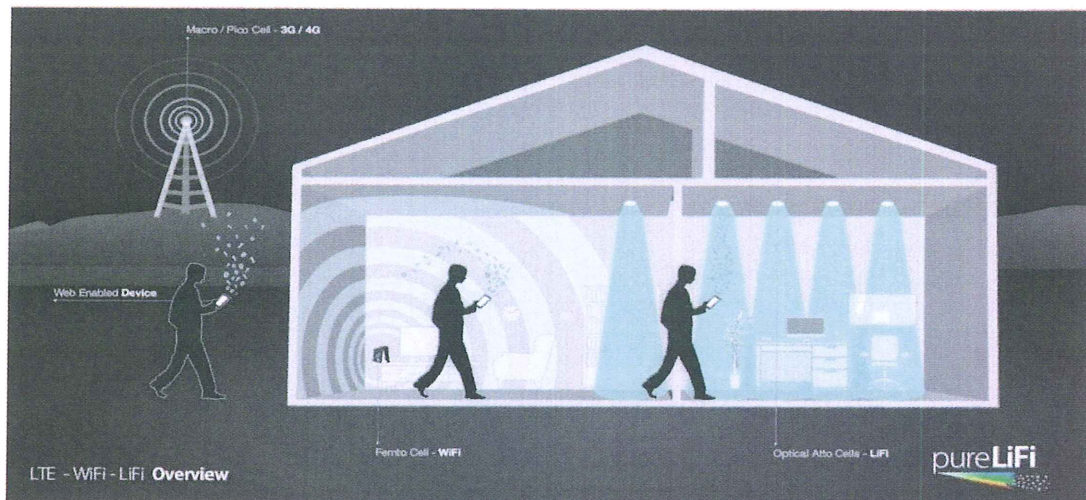
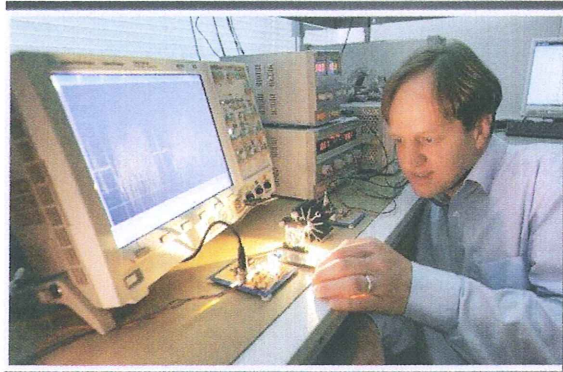


Figura 40 Li-Fi, Wi-Fi, 3G, 4G.

Fuente: (pureLiFi, 2014)

El Profesor Harald Haas, que se consideraría como el padre Li-Fi trata varios puntos muy ciertos acerca de la tecnología WI-FI, que citaremos a continuación:

- **Capacidad:** La forma en que transmitimos datos inalámbricos es mediante ondas electromagnéticas (ondas de radio) y las ondas de radios son limitadas, tenemos un cierto espectro de ellas.
- **Eficiencia:** Hay aproximadamente 1,4 millones de antenas de transmisión celular o estaciones base, que consumen mucha energía, y la mayoría de esta energía es para enfriar las estaciones, básicamente la utilidad de esta energía derivada a la transmisión es del 4%.
- **Disponibilidad:** Los teléfonos deben apagarse durante vuelos, en hospitales etc.
- **Seguridad:** Las ondas de radio traspasan las paredes y alguien puede interceptar tu señal inalámbrica y hacerse con ella incluso para fines maliciosos.



*Figura 41 Li-Fi Pruebas de transmisión en laboratorio, Harold Hass*

**Fuente:** (University of Edinburgh, 2014)

Siendo así, y al hacer la comparación de Li-Fi con Wi-Fi, hemos tomado en cuenta las siguientes consideraciones:

En base a lo expuesto anteriormente Li-Fi, permitiría una velocidad de 96Mbps, 3Gbps, 10Mbps con proyección de mayores tasas de transferencia a futuro, recordemos que Li-Fi en su primera versión sin mejoras en su estándar, ya trabaja en el orden de los Gbps, en comparación de Wi-Fi que con sus mejoras, tanto en modulación, propagación por medio de antenas MIMO y otras características más que las describiremos en esta sección llega a 270Mbps en su versión 802.11n, en su versión 802.11.ac llega al orden de los Gbps.

802.11ac es la próxima evolución de la norma Wi-Fi, que promete ofrecer altas velocidades de datos y mantener significativamente mayor rendimiento y latencia inferior a los estándares existentes para Wi-Fi; también se denomina como "Gigabit Wi-Fi", ya que puede ofrecer velocidad de datos máxima de 6,93 Gbps en modo de ancho de banda de 160MHz. (The Fifth Generation of Wi-Fi, 2014)

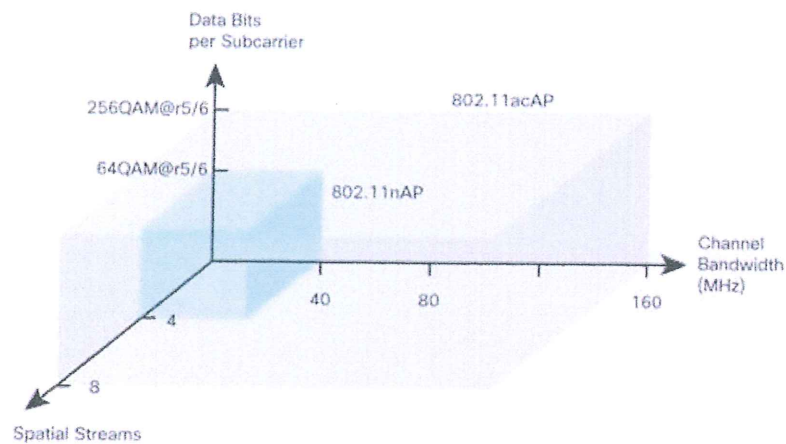


Tabla 17 Características Wi-Fi

<b>CARACTERISTICAS WI-FI</b>						
NOMINAL CONFIGURATION	BANDWIDTH (MHz)	NUMBER OF SPATIAL STREAMS	CONSTELLATION SIZE AND RATE	GUARD INTERVAL	PHY DATA RATE (Mbps)	THROUGHPUT (Mbps)
<b>802.11a</b>						
All	20	1	64 QAMr3/4	LONG	54	24
<b>802.11n</b>						
Amendment min	20	1	64 QAMr5/6	LONG	64	46
Low-end product (2.4 GHz only +)	20	1	64 QAMr5/6	LONG	72	51
Mid - tier product	20	1	64 QAMr5/6	SHORT	300	210
Max product	20	1	64 QAMr5/6	SHORT	450	320
Amenment max	20	1	64 QAMr5/6	SHORT	600	420
<b>802.11ac 80 MHz</b>						
Amendment min	80	1	64 QAMr5/6	LONG	293	210
Low-end product	80	1	256 QAMr5/6	SHORT	433	300
Mid - tier product	80	2	256 QAMr5/6	SHORT	867	610
High- end product	80	3	256 QAMr5/6	SHORT	1300	910
Amenment max	80	8	256 QAMr5/6	SHORT	3470	2400
<b>802.11ac 160 MHz</b>						
Low-end product	160	1	256 QAMr5/6	SHORT	867	610
Mid - tier product	160	2	256 QAMr5/6	SHORT	1730	1200
High- end product	160	3	256 QAMr5/6	SHORT	2600	15800
Ultra High- end product	160	4	256 QAMr5/6	SHORT	3470	2400
Amenment max	160	8	256 QAMr5/6	SHORT	6930	4900
Suponiendo un 70 por ciento eficiente MAC , a excepción de 802.11a que carece de agregación Suponiendo que 40 MHz no está disponible debido a la presencia de la otra Aps						

Siendo la velocidad inalámbrica es generalmente el producto de tres factores:

- Canal de Banda Ancha (Channel Bandwidth)
- Técnicas de modulación (Modulation Techniques)
- Número de Flujos (Number of Spatial Streams)



*Figura 42 Modulación- Ancho de Banda 802.11.ac / n*

Fuente: (The Fifth Generation of Wi-Fi, 2014)

El concepto principal de la introducción 802.11ac es una solución al problema de mejorar las tasas de datos y reducir la latencia, siendo la solución para esto las siguientes características:

- Operación en la banda de 5GHz Obligatorio
- Ancho de Banda Ancha
- Orden Superior de Modulación
- Multi MIMO de usuario (MU-MIMO)
- RTS / CTS con indicación de Ancho de Banda
- Compatibilidad hacia atrás (versiones anteriores de 802.11)

802.11ac obligatoriamente debe operar en 5GHz, solamente en la banda 5 GHz, ya que ha reducido relativamente interferencia y un mayor número de canales que no se solapan disponibles en comparación con la banda de 2,4 GHz.

802.11ac permite mayor ancho de banda por ende mayores velocidades de datos que deben alcanzarse; 802.11ac introduce 80MHz y 160MHz anchos de banda de canal, además canales de 20Mhz y de 40Mhz en 802.11n

*Tabla 18 Tasa de trasmisión de acuerdo a la modulación en 802.11n.*

MCS index	Spatial streams	Modulation type	Coding rate	Data rate (Mbit/s)			
				20 MHz channel		40 MHz channel	
				800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.50	7.20	13.50	15.00
1	1	QPSK	1/2	13.00	14.40	27.00	30.00
2	1	QPSK	3/4	19.50	21.70	40.50	45.00
3	1	16-QAM	1/2	26.00	28.90	54.00	60.00
4	1	16-QAM	3/4	39.00	43.30	81.00	90.00
5	1	64-QAM	2/3	52.00	57.80	108.00	120.00
6	1	64-QAM	3/4	58.50	65.00	121.50	135.00
7	1	64-QAM	5/6	65.00	72.20	135.00	150.00
8	2	BPSK	1/2	13.00	14.40	27.00	30.00
9	2	QPSK	1/2	26.00	28.90	54.00	60.00
10	2	QPSK	3/4	39.00	43.30	81.00	90.00
11	2	16-QAM	1/2	52.00	57.80	108.00	120.00
12	2	16-QAM	3/4	78.00	86.70	162.00	180.00
13	2	64-QAM	2/3	104.00	115.60	216.00	240.00
14	2	64-QAM	3/4	117.00	130.00	243.00	270.00

Fuente: (The Fifth Generation of Wi-Fi, 2014)

En cuanto a la modulación 802.11ac la configuración de la constelación es de 256-QAM que aumenta la velocidad de datos en un 33% con respecto a 11n. Cada símbolo representa 8 bits codificados; la velocidad es directamente proporcional al número de secuencias espaciales; STA (estación) puede recibir hasta ocho flujos espaciales que puede duplicar efectivamente el rendimiento total de la red.

802.11ac es el primer estándar Wi-Fi que introdujo MIMO multiusuario (Superior MIMO Order). En MU-MIMO, la AP puede servir a múltiples STA (estaciones) simultáneamente. (The Fifth Generation of Wi-Fi, 2014)

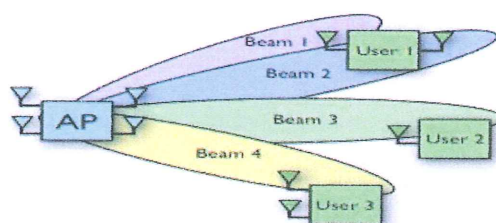


Figura 43 Tasa de transmisión de acuerdo a la modulación en 802.11n.

Fuente: (The Fifth Generation of Wi-Fi, 2014)

Su punto de acceso (AP) es capaz de utilizar sus recursos de antena para transmitir múltiples tramas para diferentes clientes, todo al mismo tiempo y en el mismo espectro de frecuencia; en el modo multi-usuario, la enmienda 802.11ac soporta hasta cuatro corrientes que sirven a cuatro usuarios diferentes al mismo tiempo.

También norma y especifica el apoyo a una modulación diferente y velocidad de codificación para cada estación que se sirve en un enlace descendente transmisión MU-MIMO.

El AP tiene que saber la información de estado de canal de todos los usuarios con el fin de disminuir la cantidad de interferencia inter-usuario generada por los múltiples flujos simultáneos.

A través de pre-procesamiento de flujos de datos en el transmisor, la interferencia de los arroyos que no están destinados a una estación en particular se elimina en el receptor de cada STA. Así, cada STA recibe gratis los datos de la interferencia.

802.11ac especifica un único método de formación de haz de comprimido que se basa en el uso de la retroalimentación explícita para implementar MU-MIMO permite transmitir conformación del haz, la conformación del haz se refiere permite a una estación para transmitir múltiples flujos de datos simultáneos a uno solo, o múltiples usuarios; similar a 802.11n, que consisten en canales de 40 MHz primario o más amplio y un sub-canal de 20 MHz secundario. Adicionalmente, canales de 80MHz que tienen 40 MHz primaria (que incluye el 20 MHz primaria) un sub-canal de 40 MHz secundaria.

El sub-canal primario se utiliza para la detección de portadora con el fin de garantizar que ningún otro dispositivo está transmitiendo. Todo lo mencionado anteriormente con respecto a Li-Fi que sus canales trabajan en THz podemos ver que son completamente más grandes.

Para que sea compatible 802.11.ac de Wi-Fi con los estándares anteriores:

- Se requiere para ser totalmente compatible con 802.11n y 802.11a.
- 802.11ac sólo se aplica a la banda de 5 GHz, porque no hay canales de 80 MHz y 160 MHz disponibles en la banda de 2,4 GHz.
- El estándar 802.11ac permite la convivencia con 802.11n / a ya que los dispositivos al exigir un preámbulo compatible, que tiene una sección que es comprensible solo por las versiones 802.11n / a. Esto permitiría a los dispositivos heredados para operar según lo previsto.

*Tabla 19 Convivencia entre estándares*

	<b>Li-Fi 802.15.7</b>	<b>Wi-Fi 802.11n</b>	<b>Gigabit Wi-Fi 802.11ac</b>
<b>Modulación</b>	4CSK, 8CSK, 16CSK	BPSK, QPSK 16QAM, 64QAM	64QAM, 256QAM
<b>Tasas de transmisión</b>	96Mbps, 3Gbps, 10Gbps	270Mbps, 512Mbps	6,93 Gbps
<b>Medio de Trasmisión</b>	Luz Visible	Onda de Radio	Onda de Radio
<b>Cobertura</b>	10 metros	300 metros	300 metros
<b>Seguridad</b>	Media	Robusta	Robusta
<b>Frecuencia de Operación</b>	380THz, 790THz	2.4Ghz, 5GHz	5GHz

Fuente: (S. Rajagopal, 2012), (IEEE Standard for 802.11n, 2009) (The Fifth Generation of Wi-Fi, 2014)

## **CAPÍTULO IV**

### **MARCO LEGAL EN EL ECUADOR**

El propósito de este capítulo es mostrar de forma resumida como está constituida la estructura institucional que gestiona las políticas públicas de interés de las telecomunicaciones, dado que esta información es básica para entender la dinámica de su formulación y posible implementación de nuevas tecnologías como es este caso para 802.15.7 (Li-Fi) así como para empujar cualquier iniciativa de incidencia social respecto de ella.

En la regulación ecuatoriana la tecnología Li-Fi no está normada, ya que no se encuentra dentro del espectro radioeléctrico al cual se hace referencia en el Plan Nacional de Frecuencias. Resolución No. TEL-391-15-CONATEL-2012 emitida el 04 de Julio del 2012, estas se realizaron en base a las modificaciones del Plan Nacional de Frecuencias de Septiembre de 2008. (Arcotel-Publicaciones, 2015)

Al respecto es necesario precisar que, salvando la Comisión de Conectividad, no existen organismos o instituciones del Estado exclusivamente dedicados a definir e implementar políticas públicas de TIC, sino que tales políticas son dictadas y ejecutadas por las instituciones creadas para gestionar el tema de las telecomunicaciones en general. Es por esta razón que para efectos de identificar al decisor o decisores públicos en materia de políticas de tecnologías de la información es necesario examinar la estructura institucional que gestiona las políticas de telecomunicaciones. (DerechoEcuador, 2001)

#### **4.1 Ley Especial de Telecomunicaciones**

Constituye el marco legal del sector de las Telecomunicaciones en el país, mediante el cual, se establece, una innovación indispensable que se da con la finalidad de adecuar la regulación y expansión de los sistemas radioeléctricos de

acuerdo con la importancia, complejidad, magnitud, tecnología siendo su principio general la libre competencia en la prestación de servicios.

En el Ecuador no existe una normativa que regule cada uno de las tecnologías de banda ancha, la única regulación existente para este tipo de aplicaciones es la publicada en el Registro Oficial N° 143 del 11 de Noviembre del 2005, cuyo objetivo fundamental es la regulación de los sistemas de radiocomunicaciones que utilizan técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha, siendo otro fuerte para Li-Fi que por ser considerado como una tecnología de Banda Ancha que requiere ser normado. La regulación publicada en este Registro Oficial está dada por el MINTEL, ente de regulación, además se hace referencia al Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, en lo referente a la implementación y operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha.

Dentro de esta regulación están los requisitos que se necesitan cumplir para la operación de este tipo de sistemas, como:

- Los lineamientos para la administración y el uso de las frecuencias (ancho de banda en el que se puede operar).
- La normalización y homologación de los equipos terminales.
- Las condiciones en las que se proporcionan los diferentes servicios de telecomunicaciones
- Tarifas por concesiones y autorizaciones propuestas para la instalación y explotación de los sistemas de telecomunicaciones.
- Derechos y obligaciones del usuario.

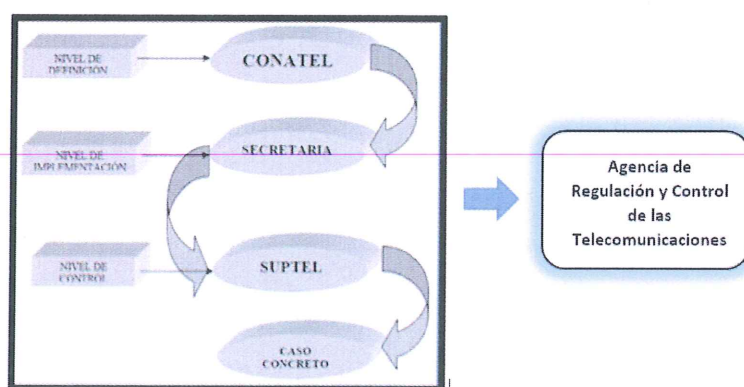
A la vez se crean organismos destinados a la planificación, administración y control del sector de las telecomunicaciones. Esta estructura institucional en el Ecuador está bajo el MINTEL y tiene principalmente tres niveles desde la lógica de la planificación en políticas públicas:

- En el nivel superior, dedicado principalmente a establecer, en representación del Estado, las políticas públicas y normas de regulación,

se encuentra en el Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL que ahora según los nuevos cambios es parte del ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones).

- En el siguiente nivel está dedicado expresamente a la ejecución de las políticas de telecomunicaciones establecidas por el CONATEL, se encuentra la Secretaria Nacional de Telecomunicaciones pertenecientes al ARCOTEL.
- El este nivel, dedicado principalmente al control y supervisión de los actores que intervienen en la realización de las actividades de telecomunicaciones, se encuentra la Superintendencia de Telecomunicaciones o SUPTEL, la cual también ahora es parte del ARCOTEL.

En efecto, aunque por una parte la Secretaria Nacional de Telecomunicaciones e incluso la Superintendencia de Telecomunicaciones, ahora adscritas al ARCOTEL requieren, por el mandato de la ley, de la aprobación o validación del MINTEL para realizar ciertos actos jurídico-administrativos, por otra parte la propia ley las define como organismos que gestionan autónomamente a sus competencias. (ARCOTEL-Historial , 2015)



*Figura 44 Estructura ARCOTEL*

**Fuente:** (ARCOTEL-Historial , 2015)

En teoría este diseño de la estructura institucional tiene ciertamente una relación jerárquica en términos de planificación, ejecución y control, como se mencionaba anteriormente (en materia de política pública de telecomunicaciones), que puede

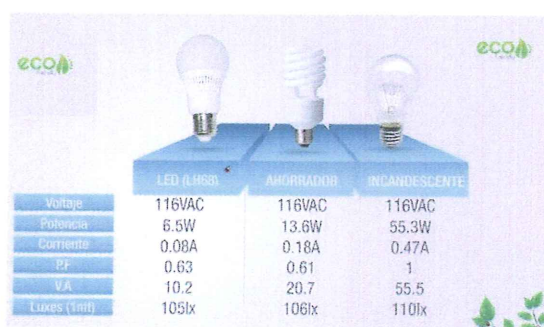


ser graficada con la figura de una espiral que va de la macro planificación al caso concreto o específico; sin embargo, esto no implica que exista una relación interinstitucional de total subordinación en términos jurídico-administrativos hasta el 2014, puesto que en el año 2015 se unificaron en la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones las siguientes entidades:

- La Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL).
- La Secretaria Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL).
- El Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL).

El reglamento general a la ley especial de telecomunicaciones (publicado en el registro oficial 404 del 4 de Septiembre de 2001), establece como competencia de la secretaria Nacional de Telecomunicaciones; “proponer el MINTEL los estándares y anteproyectos de la normativa necesaria para asegurar el adecuado funcionamiento, homologación, conexión e interconexión de las redes de telecomunicaciones”

La Secretaria Nacional de Telecomunicaciones ahora adscrita al ARCOTEL presentó un proyecto de regulación bajo el título de “Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha inalámbrica”, basado en la necesidad de establecer los límites y los márgenes de potencia para la utilización de las diferentes bandas de frecuencia independientemente del tipo de tecnología que se utilice dentro del espectro radioeléctrico, protegiendo a los servicios que se establecen a título primario, siendo otra consideración para darnos cuenta que el espectro de luz visible en el orden de los teraherzios no se encuentra normado, puesto que Li-Fi por ser una tecnología nueva, nadie se imaginó que trabajaría en el espectro de luz visible, donde se manejan altas frecuencias y bajas potencias.



	LED (L158)	AHORRADOR	INCANDESCENTE
Voltaje	116VAC	116VAC	116VAC
Potencia	6.5W	13.6W	55.3W
Corriente	0.08A	0.18A	0.47A
PF	0.63	0.61	1.
VA	10.2	20.7	55.5
Luxes (1m)	105lx	106lx	110lx

*Figura 45 Características focos LED, ahorradores, incandescentes.*

Fuente: (Futuro en Casa , 2012)

Luego del análisis correspondiente se aprobó la norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha, lo cual implicó la modificación del plan nacional de frecuencias para darle coherencia, todo esto está vigente a partir de noviembre de 2005, también sin tomarse en cuenta el espectro de luz visible.

De acuerdo con la legislación vigente, el espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado perteneciente al dominio público del estado. La planificación, administración y control de su uso corresponden al estado a través del MINTEL y la actual Agencia de Regulación y Control de las telecomunicaciones (la Secretaria Nacional de Telecomunicaciones, la Superintendencia de Telecomunicaciones), observando las normas y recomendaciones de la Unión Internacional de telecomunicaciones (UIT). En el país todavía no existe un marco regulatorio a los sistemas inalámbricos, pero actualmente se está trabajando en el Plan Nacional de Desarrollo de las Telecomunicaciones PNDT 2007-2012 en el espectro radioeléctrico actual de 8.3KHz a 3000GHz. (Plan Nacional de Frecuencias, 2012). Este plan tiene por finalidad dotar al país de un sistema de telecomunicaciones capaz de satisfacer las necesidades de desarrollo para establecer sistemas de comunicaciones eficientes, económicas y seguras.

Las estrategias del presente plan están enmarcadas en el desarrollo armónico de todos los sectores relacionados, principalmente en los menos atendidos, fundamentalmente porque ellos marcaran el paso en el desarrollo de nuestra sociedad; de tal forma que, el impulso de la aplicación de nuevas tecnologías

tales como fibra óptica residencial (FTTH), redes de fibra óptica metropolitana, televisión de alta definición (HDTV), redes de nueva generación (NGN), Wi-Max, WRAN (IEEE 802.22), Li-Fi (IEEE 802.15.7), IEEE 802.20 televisión por IP (IPTV), internet de banda ancha, voz sobre IP (VoIP), software libre y nuevas modalidades de trabajo como: el comercio y el gobierno electrónico, fortalecimiento del NAP nacional, para optimizar el intercambio del tráfico de internet originado y terminado en el Ecuador etc.

Los objetivos que se contemplan en el plan exigen un cambio sustancial en el marco legal de las telecomunicaciones, que requiere de la elaboración y aprobación de una ley de telecomunicaciones que entre otros contemple:

- Normas claras para el desarrollo de las actividades de telecomunicaciones.
- Determine con exactitud el alcance de la regulación que el estado ejercerá en el sector.
- Proteger el interés de los usuarios a través de los organismos de regulación y control.
- Garantizar una atención eficiente al usuario, una regulación, además de un control centrado en procurar su bienestar y el de la sociedad en la que habita.
- Incentivar la inversión para fortalecer el servicio universal.
- Facilitar la cobertura de los servicios de telecomunicaciones en sectores sociales y geográficos que no son atractivos para los mercados en competencia.
- Facilitar la provisión de nuevos servicios convergentes.
- Eliminar privilegios regulatorios de proveedores para fomentar una real competencia.
- Establecer un solo ente de regulación, administración y ejecución de políticas de telecomunicaciones.

- Convergencia tecnológica; aplicaciones de datos, voz, video sobre internet, demandan mayor ancho de banda.
- Crecimiento de la capacidad de las redes de los proveedores de servicios.

Los cambios tecnológicos que se producen en el día a día, cada vez más acelerados en el mundo, conllevan a que el sector de las telecomunicaciones no solo en el Ecuador sino a nivel mundial, experimenten cambios para modernizarse, organizarse y mantenerse a la vanguardia, todo esto para beneficio de la sociedad. Por lo tanto, la Ley Especial de Telecomunicaciones contiene las disposiciones fundamentales correspondientes a la instalación, operación, utilización y desarrollo de toda transmisión, sea está en emisión o recepción de información de cualquier naturaleza utilizando sistemas de transmisión en el espectro.

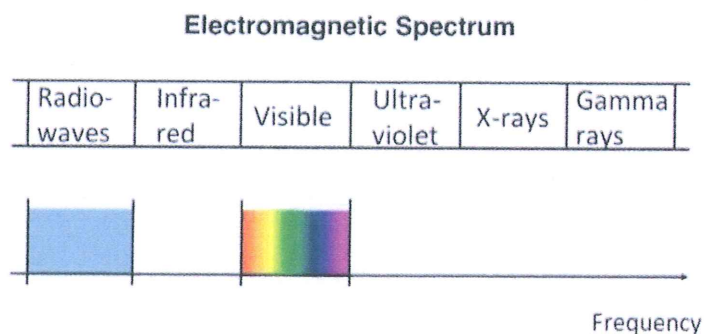
#### **4.2 Frecuencias de Operación**

Sabemos que el espectro de Luz Visible es el único espectro electromagnético que el ser humano es capaz de percibir esta es la principal razón por la cual lleva ese nombre.

Al hablar sobre las frecuencias de operación cabe mencionar de primer plano que el espectro electromagnético comprende:

- Ondas de Radio (Radio-waves)
- Infrarrojo (Infra-red)
- Luz visible (visible light)
- Ultra violeta (ultra-violet)
- Rayos x (x-rays)
- Rayos gama (Gamma rays)

Cada uno de los mencionados anteriormente, tiene un rango dentro del espectro electromagnético. Según estudios el espectro de radiofrecuencias está cerca de su capacidad máxima, esto lo advirtió la Comisión Federal de Comunicaciones de EE.UU.



*Figura 46 Espectro Electromagnético.*

**Fuente:** (LiFi Technology Light, 2012)

Siendo el espectro de Luz Visible 10000 veces mayor que el espectro de Ondas de Radio, sin tomar en cuenta factores que se consideran en las ondas de radio como son las radiaciones ionizantes que son dañinas para la salud.

Su rango de operación está entre el infrarrojo y el ultravioleta, para ser más específicos entre 400nm y 700nm los cuales por medio de la ecuación de longitud de onda tenemos en el rango de 380THz a 790THz, dándonos cuenta con esto de los beneficios de tener un espectro completo por explotar y que es 10000 veces más grande que el de onda de radio, llama mucho la atención.

### Electromagnetic Spectrum

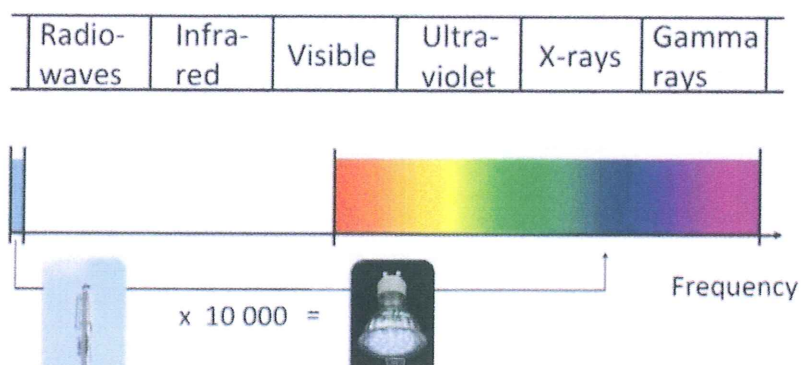


Figura 47 Espectro de Luz Visible Mayor que Espectro de Onda de Radio

Fuente: (LiFi Technology Light, 2012)

Y aquí es donde esta tecnología hace gala de su enorme y casi infinito espectro que va desde frecuencias muy intensas hasta otras más bajas, que ni siquiera son visibles. Esto permitiría el desarrollo del "Internet de las Cosas", logrando que cada dispositivo esté conectado y sincronizado a la red mundial mediante sus LEDs logrando una interconexión y sincronización inmediata e integral con funcionalidades ilimitadas.

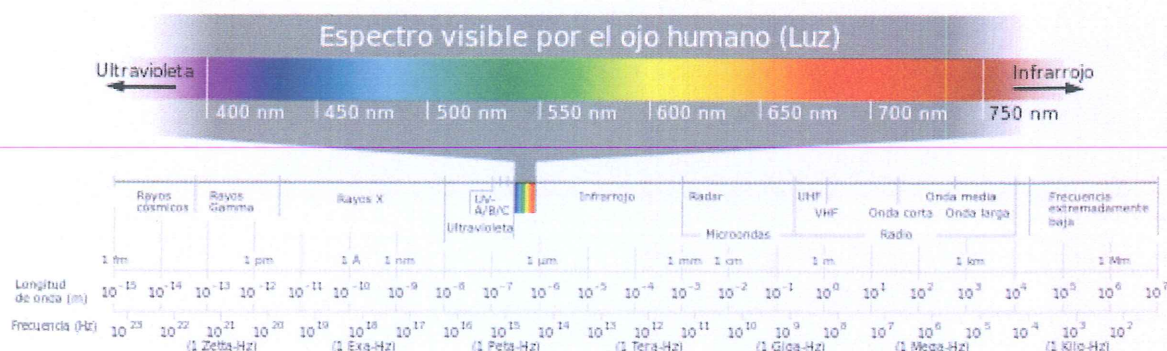


Figura 48 Espectro de Luz Visible

Fuente: (Rango Espectro Luz Visible , 2014)

### **4.3 Plan Nacional de Frecuencias**

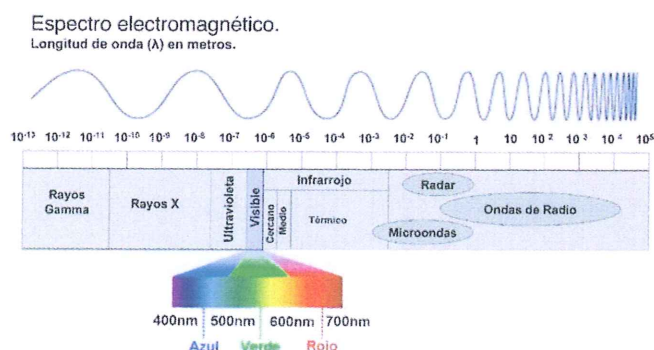
No existe una normativa para las nuevas tecnologías que se vienen a futuro a nivel mundial como Li-Fi (802.15.7). Puesto que el Ecuador no puede ser la excepción, nos vemos en la necesidad de presentar una propuesta para poder normar dicho espectro que se encuentra en el orden de los THz, para así sumarnos a países como México, que ha dado pasos agigantados en cuanto a este tema regulatorio y con dicha tecnología, específicamente las universidades UNAM (Universidad nacional Autónoma de México), TEC (Tecnológico de Monterrey), a más de Alemania, EEUU, etc. Siendo el PNF una de las herramientas indispensables de las que dispone el Órgano Regulador de las Telecomunicaciones de cualquier país del mundo, para el Ecuador ARCOTEL, brindando una adecuada Gestión del Espectro Radioeléctrico, asignación, concesión y autorización de uso de las frecuencias del mismo. El Plan nacional de frecuencias es un documento que facilita la información técnica de una forma ágil, dinámica y de vanguardia.

Conscientes de la necesidad de adecuar el marco regulatorio acorde con el vertiginoso avance tecnológico y en aras de contribuir con el desarrollo de una Sociedad de la Información y el Conocimiento, que permita la eliminación de la brecha digital, a través de una gestión y administración eficiente del espectro radioeléctrico, determinado en la constitución como sector estratégico, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones, ARCOTEL, a través de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, pone a disposición de la ciudadanía la nueva edición del Plan Nacional de Frecuencias en el 2012, documento técnico que se constituye en la herramienta imprescindible que permite ejecutar día tras día de manera eficiente y efectiva la tarea de gestionar y administrar este recurso fundamental, materia prima para el despliegue de redes y servicios de telecomunicaciones, radiodifusión y televisión, sin considerar el rango de luz visible.

En los últimos años se ha desencadenado un interés particular por explotar el acceso al abonado por medios inalámbricos. De esta manera las bandas de acceso inalámbrico fijo están concesionadas de la siguiente manera.

#### 4.4 Asignación de Bandas de Transmisión

Al hablar de bandas de transmisión debemos tomar muy en cuenta varias cosas entre ellas que cuando nosotros vemos televisión en cada pixel tenemos tres colores muy importantes que son el rojo verde y azul, estos colores que se encuentran dentro del espectro de luz visible al combinarse generan más colores por lo cual tenemos colores primarios, secundarios, etc.



*Figura 49 Espectro de Luz Visible*

Fuente: (LiFi Technology Light, 2012)

Similar situación tenemos con Li-Fi que utiliza una modulación CSK basada en estos tres colores primarios rojo verde y azul que según cómo estos se combinen se van generando los triángulos para formar constelaciones como pudimos ver anteriormente en características de operación de Li-Fi, variando su complejidad en 4-CSK, 16-CSK y 32CSK.



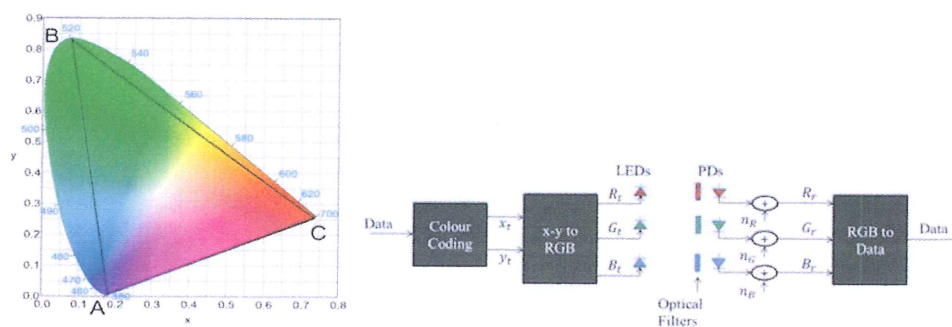


Figura 50 CSK sin codificar, croma de colores en constelación.

Fuente: (Ravinder Singh, 2014)

Cada una de estas constelaciones aumenta su procesamiento mientras más complejas sean, ya que una mayor robustez en las constelaciones para mejorar los diferentes tipos de modulaciones implica procesamiento; Con fundamento en todo lo mencionado anteriormente podemos decir que las bandas de trasmisión que se asignan son:

Tabla 20 Bandas de Transmisión de longitud de onda

Wavelength (nm)		Spectral width (nm)	Code	visibility pattern	percentage visibility
380	478	98	000	11111 11111	100%
478	540	62	001	11110 11111	90%
540	588	48	010	11110 11110	80%
588	633	45	011	11101 11100	70%
633	679	46	100	11001 11100	60%
679	726	47	101	10001 11100	50%
726	780	54	110	00001 11100	40%
			101	00001 11000	30%
			110	00001 10000	20%
			111	00001 00000	10%
Reserved			111	00000 00000	0%

Fuente: (Richard D. Roberts S. R.-K., 2011)

## CAPÍTULO V

### REQUERIMIENTOS DEL DESPLIEGUE DE LI-FI

#### 5.1 Disponibilidad y arreglo de canales

Tabla 21 Arreglo de canales en nanómetros

Wavelength (nm)		Spectral width (nm)	Code
380	478	98	000
478	540	62	001
540	588	48	010
588	633	45	011
633	679	46	100
679	726	47	101
726	780	54	110
<i>Reserved</i>			111

**Fuente:** (Richard D. Roberts, 2011)

En base a la tabla anterior donde tenemos la propuesta para la disponibilidad y arreglo de canales en nanómetros (nm), debemos transformar cada uno de estos valores a hertzios (Hz) ya que el espectro electromagnético en el Ecuador se encuentra normado en Frecuencia cómo podemos ver en el anexo referente a Atribución de Bandas de Frecuencia, si utilizamos la ecuación de longitud de onda obtenemos:

$$frecuencia = \frac{velocidad\ de\ la\ luz\ en\ el\ vacio}{longitud\ de\ onda} = \frac{C}{\lambda}$$

f = frecuencia.

C = Velocidad de la Luz en el vacío.

$\lambda$  = Longitud de Onda.

Siendo la velocidad de la Luz en el Vacío, una constante equivalente a:

$$3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Ya que las longitudes de onda viene en nanómetros como podemos observar en la tabla, debemos transformar la velocidad de la luz en el vacío a nanómetros sobre segundo (nm/s), esto lo obtenemos recorriendo la coma hacia a la derecha seis posiciones en la velocidad de la luz en el vacío antes mencionada en (m/s) o realizando la transformación siguiente:

$$\text{Transformacion de metros a nanometros} = 3 \times 10^8 \text{ m/s} = \frac{1 \text{ nm}}{1 \times 10^{-9} \text{ m}} = 3 \times 10^{17} \text{ nm/s}$$

Ahora que obtenemos la velocidad de la luz en el vacío que es nuestra constante en la ecuación, con las unidades requeridas nm/s, tenemos ya el dato necesario para poder ocupar la ecuación de longitud de onda.

Un análisis que también debemos considerar es el de unidades, por lo cual utilizaremos la ecuación de longitud de onda para poder obtener las unidades correspondientes, donde:

$$\text{Frecuencia} = \frac{\text{Velocidad de la Luz en el Vacío}}{\text{Longitud de Onda}} = \frac{C}{\lambda} = \frac{\text{nm/s}}{\text{nm}} = \frac{1}{\text{s}} = \text{Hz}$$

Con los datos obtenidos, proseguiremos con la transformación de cada uno de los valores, aplicaremos a cada uno de los casos que se mencionan en la Tabla 21 de la siguiente manera:

Frecuencia mínima:

$$frecuencia = \frac{C}{\lambda} = \frac{3 \times 10^{17} \text{ nm/s}}{380 \text{ nm}} = 789.474 \times 10^{12} \text{ Hz}$$

Frecuencia máxima:

$$frecuencia = \frac{C}{\lambda} = \frac{3 \times 10^{17} \text{ nm/s}}{478 \text{ nm}} = 627.615 \times 10^{12} \text{ Hz}$$

Ancho de Banda:

$$frecuencia = \frac{C}{\lambda} = \frac{3 \times 10^{17} \text{ nm/s}}{98 \text{ nm}} = 3061.22 \times 10^{12} \text{ Hz}$$

El mismo procedimiento se aplica para las demás longitudes de onda así como el ancho de banda, para transformar de nanómetros a terahertzios, como se muestra en la tabla:

Tabla 22 Tabla de conversión nanómetros a terahertzios

Wavelength (nm)	Wavelength (THz)	Spectral width (nm)	Spectral width (THz)	Code
380 – 478	789,47 – 627,61	98	3061,22	000
478 – 540	627,61 – 555,56	62	4838,71	001
540 – 588	555,56 – 510,204	48	6250,00	010
588 – 633	510,20 – 473,93	45	6666,67	011
633 – 679	473,93 – 441,83	46	6521,74	100
679 – 726	441,83 – 413, 22	47	6382,98	101
726 – 780	413,22 – 383,62	54	5555,56	110

### **5.1.1 Propuesta de Marco Regulatorio para sistemas con Tecnología Li-Fi**

Es importante considerar que la administración y regulación del espectro radioeléctrico debe estar orientada a la utilización efectiva y eficaz de este recurso. La administración de este bien es una actividad permanente y de cooperación y coordinación nacional e internacional que comprende las funciones básicas de planificación del espectro, ingeniería de radiocomunicaciones, atribución de bandas, asignación y registro de frecuencias, notificaciones ante la UIT, normalización técnica y disposiciones regulatorias y establecimiento de especificaciones técnicas de operación para evitar interferencias perjudiciales. Tomando en consideración que el ente encargado de la regulación de servicios en el Ecuador es el MINTEL conjuntamente con el ARCOTEL, y lo que trata es de brindar las mejores facilidades para la utilización del Espectro Radioeléctrico, es necesario el proponer ante este organismo una Normativa que permita la prestación de servicios bajo la plataforma que ofrece Li-Fi.

Esta tecnología corresponde a la especificación 802.15.7 de la IEEE para redes inalámbricas de área personal o Personal Area Network with visible light (VPAN). Los sistemas Li-Fi pueden ser utilizados en la banda de frecuencia de 380THz y 790 THz.

Estos sistemas permiten la prestación de servicios basados en tráfico IP. Su objetivo es permitir la instalación de una red inalámbrica que permita el acceso móvil a servicios digitales privados, comerciales o corporativos, además de acceso de alta velocidad a Internet. El estándar 802.15.7 en la banda de 380 - 790 THz soporta velocidades de transferencia de hasta 96 Mbps y en aumento.

### 5.1.2 Consideraciones

Para formular la Normativa Técnica que se debe cumplir para la aplicación de redes que utilizan tecnología inalámbrica Li-Fi, se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

El artículo 247 de la Constitución Política de la República, así como también el artículo 47 del Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada, disponen que el Espectro Radioeléctrico es un recurso natural limitado perteneciente al dominio público del Estado; en consecuencia es inalienable e imprescriptible.

De conformidad con lo señalado en el artículo enumerado primero del artículo 10 de la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada (Ley 94 publicada en el Registro Oficial 770 del 30 de Agosto de 1995), el Consejo Nacional de Telecomunicaciones es el ente de administración y regulación de las telecomunicaciones del país.

La implementación y operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, permiten utilizar una baja densidad espectral de potencia, que minimiza la posibilidad de interferencia. Los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha pueden coexistir con Sistemas de Banda Angosta, lo que hace posible aumentar la eficiencia de utilización del Espectro Radioeléctrico, todo lo anterior en concordancia al estándar 802.15.7 considerando que es espectro de luz visible no se encuentra normado.

Es necesario que la administración se asegure que los Sistemas que emplean técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha como es el caso de Li-Fi,

incluidas las Redes Inalámbricas de Área Óptica Personal (VPAN), satisfagan las técnicas de reducción de las interferencias, que es una de las ventajas de este estándar, a través de procedimientos de conformidad de los equipos y comportamiento del mismo.

Los avances tecnológicos y los nuevos servicios de radiocomunicaciones hacen necesario designar dentro del territorio nacional bandas de frecuencia radioeléctricas para operar dichos sistemas. Li-Fi por no encontrarse en el rango de radiocomunicaciones, sino en un espectro no explotado, que es el rango de luz visible de 380THz a 790THz, los entes de control deben considerar que no causa interferencias perjudiciales a un sistema que está operando a título primario por trabajar en el orden de los THz.

Por esta misma razón, se hace necesario atribuir y planificar unas bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para la prestación de servicios de telecomunicaciones, que utilicen sistemas de distribución Punto a Punto, Punto Multipunto y Broadcast para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica.

Se hace necesaria la Normalización para la operación e implementación de sistemas que emplean Modulación Digital de Li-Fi.

### **5.1.3 Desarrollo de la Norma Técnica**

Como en toda Norma Técnica, se deben definir los términos que estarán inmersos en ésta y las definiciones que son necesarias para su correcta aplicación. Además se debe especificar quien o que organismo debe vigilar y regular esta Norma. Y principalmente se deberán especificar los parámetros técnicos con que se debe cumplir para la implementación y operación de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha para redes personales Li-Fi.

Los razonamientos que han sido considerados para el desarrollo de la Norma Técnica que se presenta a continuación son los siguientes:

- Uso eficiente del espectro radioeléctrico.
- Permitir en la medida de lo posible la convivencia de sistemas y tecnologías que operan en las bandas libres, protegiendo de interferencias perjudiciales a las aplicaciones: industriales, científicas y médicas. Que si bien no es el caso con Li-Fi por manejar frecuencias totalmente distintas y nunca exploradas a nivel de telecomunicaciones, es bueno mencionar.
- Buscar bandas para la introducción de nuevas tecnologías en el rango de luz visible, para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones dando certidumbre jurídica a los interesados en prestar el servicio.
- Buscar la armonización del uso de las bandas de frecuencias a nivel internacional.
- Establecer una visión de prospectiva que permita una adecuada planeación del espectro a corto, mediano y largo plazo, y, consecuentemente, se brinde certidumbre jurídica y se satisfaga la demanda de servicios.
- Facilitar el acceso a las TIC a la población en general.

#### **5.1.4 Generalidades**

La presente propuesta tiene por objeto regular la instalación y operación de todos los sistemas que utilicen técnicas de Comunicación Óptica Inalámbrica a través de la Luz Visible para redes que cubran áreas óptica personales (VPAN), en los rangos de frecuencias que se determinan en la propuesta según la Tabla 22, para el Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL adscrito al ARCOTEL.

El Secretario Nacional de Telecomunicaciones, por delegación del CONATEL, aprobará la operación de Sistemas de Comunicación Óptica Inalámbrica a través de la Luz Visible para redes de área óptica personal (VPAN) mediante la emisión de un certificado de registro, una vez analizada la presente.



### **5.1.5 Términos y Definiciones**

En todo aquello que no se encuentre definido técnicamente en el glosario de términos y definiciones de la presente Norma, se aplicarán los términos y definiciones que constan en la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada, su Reglamento General, el Reglamento de Comunicaciones Ópticas de la UIT y el Reglamento para Sistemas de Banda Ancha de la UIT.

### **5.1.6 Atribución**

Los servicios que se prestan en bandas de uso libre deben operar como servicios secundarios, conforme lo indica el RR-UIT: “No deben causar interferencia perjudicial a las estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les pueda asignar en el futuro. No pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de un servicio primario a las que les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les pueda asignar en el futuro.”

### **5.1.7 Norma Técnica**

Los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha para redes ópticas inalámbricas (Li-Fi) son aquellos que se caracterizan por:

- Una distribución de la energía media de la señal transmitida, dentro de una anchura de banda mucho mayor que la convencional de la luz visible, y con un nivel bajo de potencia.
- La utilización de técnicas de modulación, 16CSK 8CSK 4CSK que proporcionan una señal resistente a las interferencias.
- Permitir a diferentes usuarios utilizar simultáneamente la misma banda de frecuencias.

- Operar en la banda de frecuencias de 380THz a 790THz para el efecto, mientras entra en discusión para ser considerado en el cuadro del Plan Nacional de Distribución de Frecuencias.

### **5.1.8 Bandas de Frecuencias**

Se aprobará la operación de Sistemas que utilicen técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha para redes ópticas de área personal (PAN), considerando las recomendaciones de la UIT y de la Norma Técnica para Sistemas de Modulación de Banda Ancha vigente en el Ecuador, entrando en discusión en las bandas de frecuencias comprendidas en los 380-790 THz al no estar normadas dentro del espectro.

El CONATEL por ser la parte encargada del ARCOTEL aprobará y establecerá las características técnicas de operación de redes de Comunicación Ópticas a través de la Luz Visible (Li-Fi) en la distribución y arreglo de canales sugerido en el presente trabajo, previo estudio y análisis.

### **5.1.9 Configuración de Sistemas a través de la Luz Visible (Li-Fi)**

La operación de los sistemas con técnicas de modulación 4CSK, 8CSK, 16CSK para redes ópticas de área personal basadas en Li-Fi se aprobará en las siguientes configuraciones:

- Topología Punto – Punto.
- Topología Estrella
- Topología Broadcast

### **5.1.10 Homologación de Equipos y Registro**

Todos los equipos que utilicen tecnología de Comunicación óptica Inalámbrica de acceso, por medio de la Luz Visible, para redes ópticas de área personal basadas en Li-Fi deberán ser homologados por la entidad de control, en este caso la SUPTEL entidad adscrita al ARCOTEL, dicha homologación se efectuará en base a las características estipuladas en el catálogo técnico del equipo de los posibles fabricantes, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento para Homologación de Equipos de Telecomunicaciones.

La Secretaría Nacional de Telecomunicaciones llevarán un registro de los Sistemas que utilizan tecnología de acceso en base a comunicación óptica inalámbrica Li-Fi, para poder tener un historial o base de datos de las características de los equipos así como de los fabricantes con el fin de hacer pruebas de mejor rendimiento, eficiencia y duración. Para la inscripción en este registro los interesados en cualquier parte del territorio nacional e internacional, deberán presentar una solicitud con todos los requisitos para su aprobación dirigida a la Secretaria Nacional de Telecomunicaciones (SNT) también adscrita al ARCOTEL.

Una vez presentada la documentación y previo el análisis respectivo, la SNT procederá con la emisión de un Certificado de Registro del Sistema de acceso inalámbrico de banda ancha en el espectro de Luz Visible (Li-Fi), que será entregado al interesado, el cual incluirá la descripción del sistema registrado.

“El tiempo máximo de entrega de este certificado será el establecido en la Resolución 417-15-CONATEL-2005 publicado en el Registro Oficial N° 143 del 11 de noviembre de 2005.

Una vez obtenido este Registro, tendrá como base para su vigencia lo establecido en la Resolución 417-15-CONATEL-2005 para sistemas con técnicas de Modulación de Banda Ancha”

### **5.1.11 Derechos y Obligaciones del Usuario**

Son los mismos derechos y obligaciones establecidos en la Resolución 417-15-CONATEL-2005 para Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha para sus usuarios, en este caso para el espectro de Luz Visible bajo Li-Fi.

### **5.1.12 Control**

El organismo encargado del Control de los Sistemas de comunicación óptico inalámbrico por medio de la Luz Visible será la SUPTEL parte del ARCOTEL que se encarga de esta sección desde antes de ser vinculadas todas sus competencias en una sola entidad. Además vigilará que éstos cumplan con lo dispuesto en la presente Norma y las disposiciones reglamentarias pertinentes una vez aceptada la propuesta.

### **5.1.13 Conclusiones acerca de la factibilidad legal para la operación Li-Fi**

Referidos al momento actual del Ecuador, es decir, con la vigencia de las actuales leyes y reglamentos que norman el sector de las Telecomunicaciones en nuestro país, legalmente es factible la utilización, operación, despliegue y comercialización de sistemas bajo la norma IEEE 802.15.7, debido a que la legislación correspondiente al régimen del espectro radioeléctrico no contempla la utilización del espectro de la Luz Visible en el orden de los Teraherzios, existiendo oportunista de frecuencias disponibles en su totalidad, además de un vacío legal referente a la autorización o concesión previa por parte del Estado en la banda de 380 a 790 Tera Herzios.

El Reglamento General a la Ley Reformatoria de Telecomunicaciones es claro al determinar que se requiere un título habilitante para la prestación de servicios de telecomunicaciones que ocupen el espectro, así como la concesión de las frecuencias que van a utilizar. Debido a la singular operación de Li-Fi para

acceder al espectro radioeléctrico, es posible determinar cuáles van a ser las frecuencias que utilicen los puntos de acceso ya que eso depende de la ocupación de la banda en la que puede operar y de las condiciones del espectro; por lo que va a favor de la naturaleza y propósito de esta tecnología el tener que solicitar la concesión de determinadas frecuencias, siendo una gran ventaja el factor ecológico.

## 5.2 Aplicación de la Tecnología Li-Fi

Si bien no existen modelos disponibles, existen varios prototipos para varios tipos de ambientes como:

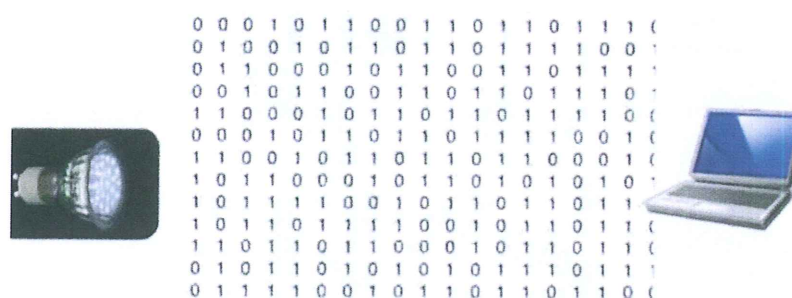
**Iluminación Inteligente:** Cualquier poste de luz en la calle puede servir para transmitir datos y controlar la iluminación con la misma infraestructura que tiene, solo agregando un micro-chip.



*Figura 51 Li-Fi iluminación adaptabilidad al medio.*

**Fuente:** (Wireless data from every light bulb, 2011)

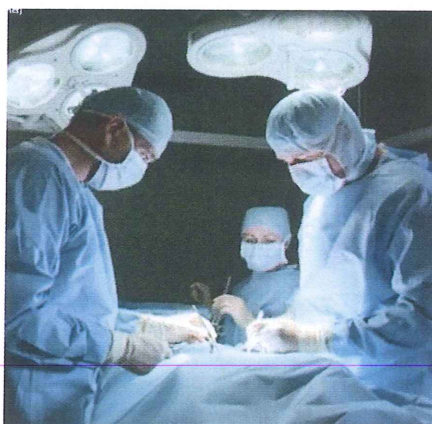
**Conectividad Móvil:** Por medio de esta los ordenadores portátiles, smartphones, tabletas y otros dispositivos móviles pueden adoptar esta tecnología si son dotados con sensores específicos ópticos, adosados a la cámara o conectados en otro lugar.



*Figura 52 Li-Fi una opción dinámica.*

**Fuente:** (Wireless data from every light bulb, 2011)

**Sin Interferencias:** debido a que cuenta con un espectro electromagnético mucho más amplio y las ondas de luz visible no traspasan las paredes, estas conexiones son totalmente seguras en ambientes donde se encuentran dispositivos sensibles que funcionan con radiofrecuencias como hospitales, aviones, minas y plantas petroquímicas.



*Figura 53 Li-Fi una opción para Hospitales.*

**Fuente:** (Wireless data from every light bulb, 2011)

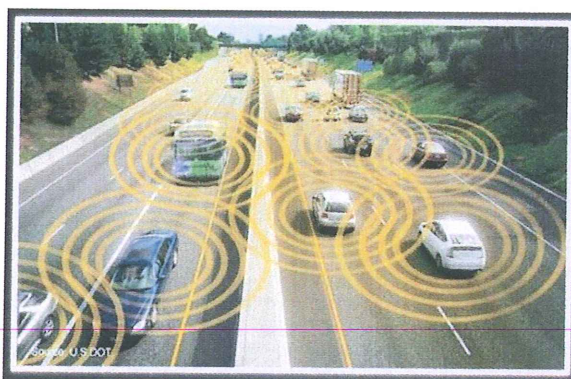
**Más practicidad en los viajes:** otro posible uso es el de transmitir contenido personalizado para entretenimiento, que puede ser reproducido por cualquier dispositivo móvil que el pasajero posea. Esto puede ser un sustituto ideal de los televisores y pantallas que exhiben normalmente información.



*Figura 54 Li-Fi una tecnología versatil.*

**Fuente:** (Wireless data from every light bulb, 2011)

**Vehículos Transporte:** En un futuro, se estima que será posible sincronizar a los vehículos con la carretera por medio de luces LED que permitirán una comunicación en directo e instantánea en la que el conductor tendrá conexión en tiempo real.



*Figura 55 Li-Fi en transporte vehicular.*

**Fuente:** (elecasoft.blogspot.com, 2014)

**Comunicaciones a través del agua:** al contrario de las redes de radiofrecuencias, las ondas de luz visible viajan de mejor manera a través de un medio acuoso. Esto permite la comunicación de vehículos submarinos para tareas de exploración, entre otras cosas.



*Figura 56 Vehículo submarino una opción para Li-Fi*

**Fuente:** (elecasoft.blogspot.com, 2014)

**Aliviar el uso del espectro de las radiofrecuencias:** las redes celulares pueden ser descomprimidas usando esta tecnología, en áreas donde esté disponible.

La idea de promover sistemas ópticos inalámbricos de alta velocidad es con la finalidad de superar las limitaciones del espectro radioeléctrico WiFi, explotando una parte completamente distinta del espectro electromagnético. (A la velocidad de la Luz, 2013)



## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- Li-Fi es una tecnología de vanguardia versátil y dinámica con muchas características importantes, entre ellas su modulación CSK, proporcionando grandes expectativas a futuro, el estándar tecnológico bajo el nombre IEEE 802.15.7 ocupa todo el espectro de la luz visible (380THz-790THz), con topologías que brindan varios escenarios de conectividad: estrella, punto-punto y broadcast.
- En nuestro país en el Plan Nacional de Frecuencias. Resolución No. TEL-391-15-CONATEL-2012 emitida el 04 de Julio del 2012 y en su última modificación realizada en febrero 2015, no se ha considerado el espectro de luz visible a normarse.
- Actualmente pureLiFe está desarrollando prototipos en base a investigación propia (Universidad de Edimburgo). Sin embargo por ser una tecnología de vanguardia existen estudios paralelos por parte de varios fabricantes que pretenden ofertar productos para este estándar como CASIO, INTEL, LG, SAMSUNG, SIEMENS.
- La utilización y asignación de frecuencias en el Ecuador es de 3KHz-3000GHz, por lo tanto la implementación y despliegue de 802.15.7 (Li-Fi) es viable por manejar bajas potencias y un espectro no explotado en el rango de 380THz-790THz, requiriendo la acción de los entes de Regulación y Control ARCOTEL y MINTEL para normar el espectro de luz visible, la homologación de licencias para futuros equipos.
- Actualmente solo se ha desarrollado prototipos por parte de pureLiFi cuyas pruebas y resultados se caracterizan en la transmisión basada en luz, la comparativa con respecto a tecnologías inalámbricas pero basadas en radiofrecuencia muestran diferencias notables especialmente con

respecto a la velocidad y el ancho de banda en la transmisión, aunque estas pruebas también ha permitido determinar que los primeros prototipos LiFi tienen inconvenientes con la baja área de cobertura que estos permiten.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Actualmente y en base a la investigación realizada se puede determinar que existe una limitante en los prototipos que se han propuesto ya que por cada prototipo se utiliza un transductor para pasar de la parte eléctrica a la óptica, a futuro se debería esperar que exista un transductor por grupo de emisores.
- Sería importante simular la modulación CSK en la herramienta MATLAB con sus diferentes símbolos 4-CSK, 8-CSK y 16-CSK y ver cómo se comporta frente a diferentes tipos de interferencia como un ruido gaussiano blanco.
- Simular en la herramienta MATLAB las modulaciones OOK, VPPM que son otro tipo de modulaciones aparte de CSK, para identificando el comportamiento y convivencia de los mismos en Li-Fi.
- Proponer que el presente estudio de redes de datos a través de la luz visible, sea considerado por los entes reguladores por tratarse de una investigación pionera en nuestro país.
- Disponer de herramientas legales para normar y homologar licencias para la aplicación de tecnologías a futuro en el espectro de Luz Visible.
- Buscar la manera de implementar un simulador de dicha tecnología para poder realizar análisis de comportamiento en varios tipos de ambientes Li-Fi.
- Si bien no existen propuestas de regulación en otros países, una vez que lo hagan sería bueno considerarlas también como un aporte para nuestro marco regulatorio.

## BIBLIOGRAFÍA

- (Julio de 2012). Obtenido de Plan Nacional de Frecuencias: [www.arcotel.gob.ec/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=1571&force=1](http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=1571&force=1)
- (5 de Septiembre de 2014). Obtenido de SENATEL-ECUADOR:  
<http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/>
- A la velocidad de la Luz.* (30 de Octubre de 2013). Obtenido de [www.centralvozip.com](http://www.centralvozip.com) :  
<http://www.centralvozip.com/a-la-velocidad-de-la-luz-internet-a-traves-de-bombillas-led-lifi-2/>
- ARCOTEL-Historial* . (Marzo de 2015). Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec/historial/>
- Arcotel-Publicaciones.* (Marzo de 2015). Obtenido de  
<http://www.arcotel.gob.ec/publicaciones/>
- ARCOTEL-Reglamentos Generales* . (Marzo de 2015). Obtenido de  
<http://www.arcotel.gob.ec/reglamentos-generales-2/>
- Casio PicapiCamera iOS app uses visible light communication.* (26 de Junio de 2012). Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?t=11&v=t27x1sztArE>
- DerechoEcuador.* (29 de Agosto de 2001). Obtenido de Registros Oficiales :  
<http://www.derechoecuador.com/productos/producto/catalogo/registros-oficiales/2001/agosto/code/17370/registro-oficial-agosto29-de-agosto-del-2001>
- elecasoft.blogspot.com.* (Marzo de 2014). Obtenido de Xavier, Lautaro Rodríguez:  
<http://elecasoft.blogspot.com/2014/03/conexion-inalambrica-mas-segura-y-mas.html>
- Elham Sarbazi, M. U. (2012). PHY Layer Performance Evaluation of the IEEE. *Department of Electrical and Electronics Engineering Ozyegin University.* Istanbul, Turkia: IEEE.
- Frank DEICKE, W.-J. F. (2012). *Optical Wireless Communication to Eco-System* . 1-4.
- Futuro en Casa* . (26 de Octubre de 2012). Obtenido de <http://futuroencasa.blogspot.com.ar/>
- Hao Ma, L. L. (2013). *Integration of Indoor Visible Light and Power Line.* IEEE.  
<http://www.tomshardware.com>. (12 de Abril de 2013). Obtenido de LiFi network with LEDs:  
<http://www.tomshardware.com/news/VLC-LiFi-LED,21894.html>
- IEEE Standard for 802.11n. (29 de Octubre de 2009). *Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) especifications.* Park Avenue, New York , Estados Unidos : IEEE.
- IEEE-SA Standards 802.15.7;. (2012). Short-range wireless optical communication using visible light. *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks—Part 15.7.* EEUU: IEEE.

- INEC-ECUADOR* . (5 de Septiembre de 2014). Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Informática-mente pureLiFi*. (8 de Septiembre de 2014). Obtenido de <http://informatica-mente.com.ar/li-fi-el-adios-al-wi-fi/>
- K.-D. Langer, J. G. (2012). Proceedings of International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON). *Recent Development in Optical Wireless Communications using Infrared and*. EEUU.
- Li-1st High-Speed Bidirectional Li-Fi System* . (13 de Agosto de 2013). Obtenido de pureVLC: <https://www.youtube.com/watch?v=seDirDnhbdo>
- LiFi Technology Light*. (12 de Agosto de 2012). Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=gjqSgsKbagQ>
- Li-Fi, internet a través de focos LED*. (14 de Julio de 2014). Obtenido de [www.quo.mx](http://www.quo.mx): <http://quo.mx/noticias/2014/07/14/li-fi-internet-a-traves-de-focos-led>
- Light Fidelity Li-Fi: Visible Light Communication VLC*. (13 de Agosto de 2013). Obtenido de Demo Li Fi : Internet por medio de la luz eléctrica: <https://www.youtube.com/watch?v=k6P0jRPCgaQ>
- Mohd Dani Baba, H. M. (2012). Performance Analysis of the IEEE 802.15.7 . *CSMA/CA algorithm based on Discrete Time*. Shah Alam, Selangor, Malaysia : IEEE - Markov Chain (DTMC) .
- pureLiFi*. (1 de Julio de 2014). Obtenido de visible light communications (VLC): <http://purelifi.com/lifi-products/>
- Rango Espectro Luz Visible* . (8 de Septiembre de 2014). Obtenido de Informatica-mente: <http://informatica-mente.com.ar/li-fi-el-adios-al-wi-fi/>
- Ravinder Singh, T. O. (15 de Julio de 2014). An Enhanced Color Shift Keying Modulation. *An Enhanced Color Shift Keying Modulation Scheme for High-Speed Wireless Visible Light Communications*. IEEE.
- 
- Richard D. Roberts, I. (2012). IEEE 802.15.7 Visible Light Communication: Modulation Schemes and Dimming Support. IEEE.
- Richard D. Roberts, S. R.-K. (Septiembre de 2011). *IEEE 802.15.7 Physical Layer Summary*. IEEE - Intel Corporation, Samsung Electronics and ETRI.
- S. Rajagopal, R. R. (2012). IEEE 802.15.7 visible light communication. *IEEE 802.15.7 visible light communication: modulation schemes and dimming support*. IEEE.
- The Fifth Generation of Wi-Fi. (Marzo de 2014). *Technical White Paper*. CISCO.
- University of Edinburgh*. (2014). Obtenido de <http://www.eng.ed.ac.uk/~hxh/pubs/pdf/tsh1101.pdf>
- Wireless data from every light bulb*. (02 de Agosto de 2011). Obtenido de Harald Haas: <https://www.youtube.com/watch?v=NaoSp4NpkGg>

*www.xatakaon.com*. (23 de Diciembre de 2013). Obtenido de Primer Sistema Li-Fi:  
<http://www.xatakaon.com/tecnologia-de-redes/purelifi-quiere-lanzar-el-primer-sistema-li-fi-comercial-el-mes-que-viene>

Y. Tanaka, S. H. (2012). International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. *Wireless optical transmissions with white colored LED for wireless home links*. IEEE.

## DEFINICIONES, ACRÓNIMOS

**SISTEMAS DE ACCESO INALÁMBRICO DE BANDA ANCHA:** Son aquellos Sistemas de Comunicación de doble vía esto es que realizan una comunicación semiduplex de alta capacidad, diseñados específicamente para proporcionar servicios de “última milla” tanto para clientes comerciales como residenciales.

**ARCOTEL:** Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, ente que asumió los roles de lo que era hace unos meses la Superintendencia de Telecomunicaciones, Consejo Nacional de Telecomunicaciones.

**SNT:** Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, organismo encargado de la ejecución de las políticas de telecomunicaciones en el país.

**SUPTEL:** Superintendencia de Telecomunicaciones, organismo encargado del control y monitoreo del espectro radioeléctrico y de los sistemas y servicios de radiocomunicación.

**SISTEMA PUNTO – PUNTO:** Sistema de Radiocomunicación que permite enlazar dos estaciones fijas distantes, empleando antenas direccionales en ambos extremos, estableciendo comunicación unidireccional o bidireccional.

**SISTEMA PUNTO – MULTIPUNTO:** Sistema de Radiocomunicación que permite enlazar una estación fija central con varias estaciones fijas distantes. Las estaciones fijas distantes utilizan antenas direccionales para comunicarse con la estación central de forma unidireccional o bidireccional.

**Color Function:** Una función que proporciona información, tales como el estado del dispositivo, calidad del canal, para el ojo humano a través del color.

**Color-Shift Keying (CSK):** Un esquema de modulación para la comunicación de luz visible que implica múltiples fuentes de luz, mantiene el color óptica medio emitida y la constante de potencia óptica total durante la comunicación.

**Color Stabilization:** Es un bucle de control para la estabilización del color emitido por los transmisores de cambio de color de clave (CSK).

**Color Visibility Dimming (CVE):** Un marco utilizado para el color, visibilidad y atenuación. El marco de regulación de visibilidad del color proporciona información; tal como estado de la comunicación, calidad del canal para el usuario a través de varios colores. El marco de regulación *color visibility* también puede ser enviado durante los modos de inactividad, para la visibilidad continua y apoyo de atenuación. Durante la visibilidad color de transmisión marco de regulación, el dispositivo sigue emitiendo luz, mientras que no se comunica, y que por lo tanto es capaz de cumplir con su función de iluminación. La carga útil de la trama consta de los patrones de visibilidad de intensidad y el color apropiado.

**Compensation time:** El tiempo de inactividad se inserta en el patrón de reposo o en la trama de datos, donde la luz se enciende "ON" o "OFF" con la proporción adecuada para satisfacer los requisitos de regulación.

**Dimming:** La reducción de la potencia radiante de un transmisor preservando al mismo tiempo el color de la luz transmitida.

**Field of View (FOV):** El campo de visión es la extensión angular de la cobertura para el transmisor o receptor óptico.

**Idle Pattern:** El patrón de reposo es un modelo cuyo deber en base a su ciclo de variación se traduce en un cambio de brillo para la regulación de soporte y puede ser transmitido durante el modo de espera o recibo.

**Macro cell:** Una celda agregada que permite utilizar todas las celdas disponibles en los medios ópticos, se utiliza para la detección de dispositivos y asociación de los mismos.

**Modulation-Domain Spectrum:** El espectro observado en la salida del fotodetector del receptor; medido típicamente en la salida del amplificador de impedancia.

**On-Off keying (OOK):** Una técnica de modulación simple que representa datos digitales como la presencia ("ON") o ausencia ("OFF") de una señal. Tenga en cuenta que "ON" y "OFF" son simplemente dos niveles lógicos o dos niveles de

amplitud distintos a efectos de comunicación y no necesariamente requieren que la fuente de luz se apaga por completo.

**Optical Clock Rate:** Nos indica la frecuencia a la que los datos se registraron hacia fuera a la fuente óptica.

**Photodetector:** Un fotodetector captura de potencia óptica y la traduce en una señal de salida. La mayoría de los fotodetectores convertir la energía óptica en una corriente eléctrica o un voltaje eléctrico.

**PHY Switch:** Un conmutador en la interfaz de transmisión entre el PHY y el SAP óptica, que se utiliza para enviar y recibir datos hacia y desde una o varias fuentes y fotodetectores ópticos en una manera selectiva.

**Point and Shoot:** La alineación de los dispositivos para la transmisión de una trama (regulación visibilidad de color) con el fin de iluminar dispositivo de recepción.

**Switching Level:** Un nivel de amplitud distinta que define "ON" y "OFF" de la fuente de luz con el propósito de que la comunicación se mantenga y no necesariamente requiere que la fuente de luz se apage por completo.

**Variable Pulse-Position Modulation (VPPM):** Un esquema de modulación para la comunicación de luz visible, que permite el control de ancho de pulso de apoyo evitando el oscurecimiento o atenuación (recordemos que los LEDs se prenden y apagan a velocidades muy rápidas que el ojo humano no percibe), mitigando parpadeo intra-frame flicker.

**Visibility Pattern:** Un patrón de inactividad dentro de banda, utilizado en la carga útil de una trama (regulación visibilidad color).