UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERIA DE REDES Y COMUNICACIONES

**Diseño de una red inalámbrica de focos led administrables para el mejoramiento
de la iluminación en la producción de gallinas ponedoras en una empresa avícola
en Lima**

TESIS

Para optar por el título profesional de: Ingeniero de Redes y Comunicaciones

AUTOR

Contreras Vilches, Juan Alberto (0000-0003-3571-3011)

ASESOR:

De la Cruz Berrospi, Javier Jesús (0000-0001-7947-9867)

Lima, 03 de mayo de 2018

Dedicatoria

A mis adorados padres Juan y Elena, a mi querida hermana Susana, por el apoyo incondicional de ayer, hoy, mañana y siempre.

Agradecimientos

A mis maestros, Ing. Javier de La Cruz Berrospi e Ing. Renatto Gonzales Figueroa, por su tiempo y atención en este trabajo.

RESUMEN

La influencia de la luz en las gallinas es muy importante en el desarrollo fisiológico de estas, es por ello, que lograr un eficiente manejo de la iluminación, a través de un correcto y estrictamente ejecutado programa de iluminación, es lo que permitirá alcanzar los objetivos productivos y económicos esperados. Una propuesta que nos ayudará en este fin es la mostrada en el presente proyecto donde se exhibe, explica y aplica, en una granja de gallinas ponedoras, la combinación de dos tecnologías de redes inalámbricas (Wi-Fi y ZigBee) y otra de iluminación (LED). Las cuales juntas bajo un adecuado diseño personalizado y escalable, producto de este trabajo, le permitirán a la empresa obtener un mejor control de la iluminación, mejoras productivas y un ahorro considerable en sus costos por consumo de energía eléctrica.

Palabras clave: Gallinas ponedoras, programa de iluminación, redes inalámbricas, iluminación LED, elaboración de diseño, validación del diseño, Wi-Fi, Zigbee.

ABSTRACT

The influence of light on hens is very important in the physiological development of these, that is why, achieving an efficient management of lighting, through a correct and strictly executed lighting program, is what will allow achieving the objectives productive and economic expectations. A proposal that will help us in this end is the one shown in the present project where the combination of two technologies of wireless networks (Wi-fi and ZigBee) and another of lighting (LED), is exhibited, explained and applied in a laying hen farm. Which together under a suitable customized and scalable design, product of this work, will allow the company to obtain a better control of the lighting, productive improvements and a considerable saving in its costs for electric power consumption.

Keywords: Laying hens, lighting program, wireless networks, LED lighting, design elaboration, design validation, Wi-Fi, Zigbee.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 : ASPECTOS INTRODUCTORIOS	4
1.1 ORGANIZACIÓN OBJETIVO	4
1.2 CAMPO DE ACCIÓN EN LA ORGANIZACIÓN OBJETIVO	7
1.3 SITUACION PROBLEMÁTICA	8
1.4 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA	9
1.5 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	9
1.5.1 <i>Objetivo general</i>	9
1.5.2 <i>Objetivos específicos</i>	9
1.6 INDICADORES DE LOGRO DE OBJETIVOS	10
1.7 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	10
1.8 ESTADO DEL ARTE	11
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 IMPORTANCIA DE LA LUZ EN LA PRODUCCIÓN DE GALLINAS PONEDORAS.....	18
2.1.1 <i>Efecto de la luz en el desarrollo fisiológico de las gallinas</i>	18
2.1.2 <i>El programa de iluminación y su importancia</i>	22
2.2 REDES INALÁMBRICAS	25
2.2.1 <i>Conceptos y principios básicos sobre redes inalámbricas</i>	25
2.2.2 <i>Clasificación de las redes inalámbricas</i>	34
2.2.3 <i>El estándar IEEE 802.11 (Wi-Fi)</i>	36
2.2.4 <i>El estándar IEEE 802.15.4 (ZigBee)</i>	43
2.2.5 <i>Comparación de redes inalámbricas de corto alcance</i>	62
2.2.6 <i>Seguridad en redes inalámbricas</i>	64
2.2.7 <i>Ventajas y limitaciones de las redes inalámbricas.</i>	65
2.3 LA TECNOLOGÍA DE ILUMINACIÓN LED	66
2.3.1 <i>Definición de LED</i>	66
2.3.2 <i>Componentes necesarios para su funcionamiento</i>	67
2.3.3 <i>Estructura interna de un diodo LED</i>	68
2.3.4 <i>Principio de funcionamiento del LED</i>	69
2.3.5 <i>Tipos de LED</i>	72

2.3.6 Partes de una lámpara LED de alta potencia luminosa	74
2.3.7 Comparación de lámparas LED con lámparas halógenas y filamento	75
2.3.8 Ventajas y desventajas de la tecnología LED.	77
2.3.9 Aplicaciones	78
2.3.10 Focos o bombillas LED administrables	79
2.4 METODO DE LAS CAVIDADES ZONALES	81
CAPÍTULO 3: PLANIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN	84
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	84
3.2 DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO E IDENTIFICACIÓN DE LOS INTERESADOS.....	84
3.2.1 Descripción detallada del entorno	84
3.2.2 Identificación de los Interesados.....	89
3.3 REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE	90
3.4 ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DE LA SOLUCIÓN.....	91
3.5 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN	94
3.5.1 Determinación del número y localización de las luminarias	96
3.5.2 Determinación del número y localización de los Gateway.....	104
3.5.3 Determinación del número y localización de los Access Point	105
3.5.4 Determinación del número y localización de los switches	109
3.5.5 El Router.....	110
3.5.6 El cableado de la red	111
3.5.7 Asignación de canales en la banda de 2.4 GHz	112
3.5.8 Asignación de direcciones IP	118
3.6 ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓN DEL TRABAJO	119
CAPÍTULO 4: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....	120
4.1 COMPARACIÓN DEL HARDWARE Y SOFTWARE A EMPLEAR.....	120
4.1.1 Luces LED administrables	120
4.1.2 Access Point	122
4.1.3 Switches	122
4.1.4 Router	123
4.2 SELECCIÓN DEL HARDWARE Y SOFTWARE A EMPLEAR	123
4.2.1 Luces LED administrables	124
4.2.2 Access Point	125
4.2.3 Switches	127
4.3 RECURSOS HUMANOS A EMPLEAR	128
4.4 COSTO DE LA SOLUCIÓN.....	129
4.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	130

CAPÍTULO 5: PRUEBAS, RESULTADOS Y VALIDACIÓN	131
5.1 SIMULACIÓN DE LA ILUMINACIÓN	131
5.2 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DE LA ILUMINACIÓN	135
5.3 SIMULACIÓN DE LA COBERTURA DE LAS SEÑALES INALÁMBRICAS	136
5.4 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE LA COBERTURA DE LAS SEÑALES INALÁMBRICAS	141
5.4.1 Cobertura de la señal inalámbrica ZigBee del foco LED inteligente.....	141
5.4.2 Cobertura de la señal inalámbrica ZigBee del Gateway.	143
5.4.3 Cobertura de la señal inalámbrica Wi-Fi del Gateway.....	145
5.4.4 Cobertura de la señal inalámbrica Wi-Fi del access point.....	147
5.4.5 Cobertura de la señal inalámbrica Wi-Fi en toda la granja.	149
5.4.6 Ratio de datos de la señal inalámbrica Wi-Fi en toda la granja.	151
5.5 PRUEBA DE CONCEPTO	154
5.5.1 Equipos y materiales	154
5.5.2 Procedimiento	155
5.6 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CONCEPTO.....	160
5.6.1 Resultados de la prueba de conectividad.....	160
5.6.2 Resultados de la prueba de gestión de las luces	161
CONCLUSIONES.....	163
RECOMENDACIONES.....	164
BIBLIOGRAFÍA	165
GLOSARIO	168
SIGLARIO	171
ANEXOS	175

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curva de producción de huevo (%).....	1
Figura 2: Organigrama de la empresa.....	5
Figura 3: Unidades partícipes en la producción de huevos	5
Figura 4: Ubicación de la granja de gallinas ponedoras	8
Figura 5: Efecto de la iluminación en la producción del huevo	19
Figura 6: Componentes de la onda electromagnética.....	26
Figura 7: Espectro de frecuencia continua	27
Figura 8: Pérdida de energía de una señal de radio frecuencia	29
Figura 9: Cambio en el nivel de ruido “Noise Floor” y el SNR.....	29
Figura 10: Cambios de fase durante la modulación DBPSK y DQPSK	31
Figura 11: Operación de OFDM con 48 sub portadoras en paralelo.....	32
Figura 12: Ámbito de actuación de las diferentes tecnologías inalámbricas.....	35
Figura 13: Esquema de canales en la banda 2.4 GHz.....	42
Figura 14: Esquema de canales en la banda 5 GHz.....	42
Figura 15: Tipos de dispositivo según el papel que desempeñan.....	46
Figura 16: Topologías factibles de una red ZigBee.....	47
Figura 17: Modelo de la Arquitectura ZigBee	49
Figura 18: Canales de radio de 802.15.4	50
Figura 19: Características de radio ZigBee	51
Figura 20: Secuencia de asociación de un dispositivo a la red.....	54
Figura 21: Secuencia de des asociación iniciada por dispositivo de la red	55
Figura 22: Secuencia de des asociación iniciada por el coordinador de la red	55
Figura 23: Mecanismo de enrutamiento	57
Figura 24: Tipos de enlaces entre puntos finales de aplicación (puertos)	59
Figura 25: Esquema de una aplicación de iluminación con ZigBee.....	61
Figura 26: Aplicaciones de ZigBee	61
Figura 27: Diagrama de componentes de un LED	69
Figura 28: Fenómeno de electroluminiscencia en un LED.	72

Figura 29: Clasificación de los LED según su aplicación	72
Figura 30: Diagrama de componentes de un LED	75
Figura 31: Diagrama de componentes de sistema de iluminación LED administrable..	81
Figura 32: Cavidades del local.	82
Figura 33: Algoritmo de diseño de las instalaciones de iluminación interior	83
Figura 34: Vista aérea de la granja.	85
Figura 35: Cobertura de telefonía móvil de Telefónica del Perú.	86
Figura 36: Vista de corte del galpón.....	87
Figura 37: Vista de planta de la granja.	88
Figura 38: Vista en 3D de una sección del galpón	89
Figura 39: Nivel de poder e influencia de los interesados.....	90
Figura 40: Proceso de diseño del sistema de iluminación	96
Figura 41: Vista de corte con luminarias.....	97
Figura 42: Vista de planta de una sección del galpón con las luminarias	103
Figura 43: Cobertura ZigBee requerida para una sub área del galpón	105
Figura 44: Plano de planta con la ubicación del access point y gateways.....	108
Figura 45: Topología lógica de la red de la granja (192.168.1.0/24)	113
Figura 46: Topología física de la red de la granja	114
Figura 47: Esquema del canalizado del cableado de la red de la granja	115
Figura 48: Distribución de los canales Wi-Fi (2.4 GHz) en la granja.....	117
Figura 49: EDT del Proyecto.....	119
Figura 50: Ingreso de datos al software.....	132
Figura 51: Interface gráfica de trabajo del software DIALux Evo 7.....	134
Figura 52: Resultado de la simulación	135
Figura 53: Resultado de la simulación en 3D en el galpón	135
Figura 54: Carga del plano y despliegue de los dispositivos inalámbricos.	138
Figura 55: Cobertura de la señal ZigBee del foco	142
Figura 56: Cobertura de la señal ZigBee de los gateways.....	144
Figura 57: Cobertura de la señal Wi-Fi del gateway	146
Figura 58: Cobertura de la señal Wi-Fi del access point.....	148
Figura 59: Cobertura de la señal Wi-Fi de todos los access point de la granja.....	150
Figura 60: Tasa de transferencia de la señal Wi-Fi de todos los access point.....	152
Figura 61: Fotografía de los embalajes de los equipos.....	154

Figura 62: Fotografía de los equipos de iluminación Lightify	155
Figura 63: Configuración del access point	156
Figura 64: Menú de configuración de la aplicación	157
Figura 65: Esquema de la separación entre los dispositivos inalámbricos.....	158
Figura 66: Programación de los intervalos de iluminación en la aplicación	159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Unidades estratégicas de negocio.....	6
Tabla 2: Ejemplo de un programa de iluminación	24
Tabla 3: Técnicas de modulación en redes LAN inalámbricas	33
Tabla 4: Comparación de las diferentes versiones normalizadas por la IEEE	37
Tabla 5: Historial de liberaciones de la especificación ZigBee.....	44
Tabla 6: Formato de PPDU basado sobre la IEEE 802.15.4 standard.....	52
Tabla 7: Formato de trama general MAC.....	53
Tabla 8: Formato de trama de capa de red.....	56
Tabla 9: Estructura de una trama de aplicación ZigBee.....	60
Tabla 10: Comparativo evolutivo de las tecnologías inalámbricas Wi-Fi y ZigBee....	62
Tabla 11: Comparación de tecnologías inalámbricas de corto alcance	63
Tabla 12: Comparación de los diferentes protocolos de seguridad	65
Tabla 13: Radiación de las lámparas eléctricas	76
Tabla 14: Eficiencia lumínica, vida útil e IRC de lámparas de iluminación	77
Tabla 15: Ventajas y desventajas de las tecnologías de iluminación	78
Tabla 16: Registro de interesados.....	89
Tabla 17: Requerimientos de la solución de iluminación.	91
Tabla 18: Requerimientos y especificaciones del sistema de iluminación.....	92
Tabla 19: Requerimientos y especificaciones de la red inalámbrica.....	93
Tabla 20: Requerimientos y especificaciones de la red cableada.....	94
Tabla 21: Factor de reflexión del techo, paredes y suelo	98
Tabla 22: Factor de utilización	99
Tabla 23: Valores de f_m sugeridos por la Comisión Internacional de Iluminación	99
Tabla 24: Cálculo de la cobertura del gateway para un área del galpón	105
Tabla 25: Cálculo de la cobertura del access point	106
Tabla 26: Características técnicas de los access point.....	107
Tabla 27: Ubicación de los switches en la granja.....	109
Tabla 28: Características técnicas de los Switches.....	110
Tabla 29: Componentes principales de la red.....	112

Tabla 30: Distribución de canales y frecuencias de operación.....	116
Tabla 31: Direccionamiento IP de los equipos	118
Tabla 32: Características de los sistemas de iluminación de Osram y Philips	121
Tabla 33: Principales características de los Access Point	122
Tabla 34: Principales características de los Switches.....	123
Tabla 35: Evaluación técnica de las soluciones de iluminación.....	124
Tabla 36: Evaluación general de las soluciones de iluminación	125
Tabla 37: Evaluación técnica de los access point.....	126
Tabla 38: Evaluación general de los access point	126
Tabla 39: Evaluación técnica de los switches	127
Tabla 40: Evaluación general de los switches	127
Tabla 41: Personal a cargo del proyecto.....	128
Tabla 42: Inversión en activos e implementación	129
Tabla 43: Costo de operación anual	130
Tabla 44: Flujo de caja	130
Tabla 45: Parámetros y valores requeridos por el software.....	132
Tabla 48: Valores de potencia, ratio de datos y perdida de paquetes según Ekahau....	140
Tabla 49: Resumen de resultados de la evaluación de potencia.....	153
Tabla 50: Resumen de resultados de la evaluación de la tasa de transferencia.....	153
Tabla 51: Resultados de las pruebas de conectividad.....	160
Tabla 52: Resultados de la evaluación de los requerimientos del sistema	161

INTRODUCCIÓN

En la crianza de gallinas, el manejo de la iluminación es uno de los factores cruciales que definirán el éxito productivo y económico en una campaña de producción de huevos. Ya que la luz, a través de un mecanismo de estímulo hormonal, ¹interviene decisivamente en el desarrollo fisiológico y reproductivo de las gallinas, y determinarán si estas llegarán en el momento oportuno a iniciar su etapa de postura. ²

En la siguiente figura se puede visualizar dos curvas de producción de huevo, en la cual se puede apreciar muy claramente el efecto de un mal manejo de la iluminación, ocasionando un tardío inicio en la producción y una menor producción de huevos a lo largo de la campaña. Por lo tanto, menor rentabilidad del negocio. ³

Figura 1: Curva de producción de huevo (%)

¹ Cfr. Buxade 2000: 182

² Cfr. Hevia y Quiles 2005: 1

³ Cfr. R.A ERNST y col.1988: 45

Fuente: Adaptado de Buxade 2000: 182

Considerando esta situación se presenta esta propuesta, para diseñar un sistema que permita gestionar, a través de una red inalámbrica de focos LED administrables y con conexión a internet⁴, los horarios de iluminación requeridos, la intensidad de luz y color, según el desarrollo y comportamiento mostrado por las aves.

En primer lugar, se utilizará dos tecnologías de red inalámbrica definidas técnicamente en los estándares IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11, comúnmente llamada Wi-Fi y la 802.15.4, más conocida como ZigBee. Esto debido a una serie de ventajas entre las cuales podemos citar las más importantes para este caso: La movilidad, donde el responsable de la granja podrá gestionar el sistema de iluminación, con una aplicación instalada en un dispositivo móvil, en cualquier punto de las instalaciones de la granja e incluso gestionarla desde cualquier lugar del mundo si tiene acceso a internet.⁵ La escalabilidad, ya que podremos desplegar fácilmente los focos en los galpones sin la necesidad de tender un cableado para cada uno de estos, considerando que además sería complicado instalar cables y canaletas en los galpones (ver anexo 1) ya que son superficies amplias con palos y telas,⁶ lo que también favorece a la alternativa de optar por una red de este tipo, ya que dichos materiales atenúan en menor medida la señal inalámbrica. Y, en el caso específico de ZigBee debido a su bajo consumo de energía y costo.

La otra tecnología inmersa en la propuesta es la tecnología LED administrable (comercialmente llamada inteligente), la cual utilizaremos en primer lugar, por su

⁴ Cfr. Osram, 2015:11

⁵ Cfr. Salvetti, 2011: 29

⁶ Cfr. Stallings 2004: 559

importante eficiencia energética y vida útil,⁷ y luego por la posibilidad de ser gestionable remotamente y capaz de enviar información a través de internet. Lo que actualmente conocemos como internet de las cosas, tendencia en rápido crecimiento, siendo así que actualmente Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG) prevé que habrá 25 mil millones de dispositivos conectados a Internet para el año 2015, y 50 mil millones para el 2020.⁸

⁷ Cfr. Martínez 2012: 6

⁸ Cfr. Evans 2011: 3

CAPÍTULO 1: ASPECTOS INTRODUCTORIOS

1.1 ORGANIZACIÓN OBJETIVO

Gramobier, es una empresa avícola de capital 100 % peruano, con más de 30 años de tradición empresarial, cuya gestión está en la segunda generación de la familia propietaria. Inició sus operaciones en el año 1997 con la adquisición de gallinas reproductoras en edad de postura, en un contexto de escasez de pollitos bebé y huevo fértil. A partir del año 2000, ingresó a la producción y venta de pollos de carne; y en el 2003, incursionó en el negocio de pavos, lanzando al mercado la entonces novedosa entrega a domicilio. En el año 2004, incrementó su portafolio de productos con la producción de huevos rosados y pollo entero beneficiado. El año 2005 se realizaron importantes inversiones en la planta de alimento balanceado y en granjas de reproducción de pollo y pavo. Asimismo, se incrementó la participación gremial tanto en la Asociación Peruana de Avicultura (APA), como la Sociedad Nacional de Industrias (SNI) y la Cámara de Comercio de Lima (CCL). Actualmente, Gramobier es uno de los más activos productores y exportadores de pavo; y se encuentra entre las diez principales empresas avícolas peruanas, con ventas anuales superiores a los US \$20 millones.⁹

En la siguiente figura se muestra el diagrama organizacional de la empresa.

⁹ Cfr. Gramobier 2010

Figura 2: Organigrama de la empresa

Fuente: Gramobier 2010

En la figura 3, se aprecia las unidades productivas de la empresa participes en la producción de huevos.

Figura 3: Unidades partícipes en la producción de huevos

Fuente: Gramobier 2010

En la tabla 1, podemos apreciar las diferentes unidades de negocio y productos ofrecidos por la empresa.

Tabla 1: Unidades estratégicas de negocio

UEN	PRODUCTOS	CLIENTES	COBERTURA	VENTAJAS COMPETITIVAS
<u>GENETICA</u>	AA BB	Pequeños y medianos criadores de aves	Perú Comunidad Andina	Conversión alimenticia Baja mortalidad
	Pollos BB			
	Pavos BB			
	Huevos Fértiles			
<u>FRESCOS</u>	Pollos en pie	Mayoristas	Lima Región Central – Perú	Confiabilidad de suministro Consistencia de calidad
	Gallinas Post Producción			
	Pavos en pie			
	Huevos Comerciales			
<u>PREPARADOS</u>	Pollos Procesados	Restaurantes Hoteles Bróker de alimentos Supermercados Consumidores finales	Perú Comunidad Andina	Innovación y desarrollo diferenciación por Marcas
	Pavos Procesados			
	Huevos Comerciales			

Fuente: Gramobier 2010

El proyecto estará inmerso en el área de producción de la empresa, específicamente en la granja de producción de huevos.

Misión

“Somos una empresa avícola, que produce y comercializa alimentos de calidad, para satisfacer las necesidades de los consumidores, generando el desarrollo y compromiso de las personas que la integran, buscando la mejora continua de nuestros procesos y respetando el medio ambiente”.

Visión

“Ser una sólida corporación multinacional para la alimentación humana, reconocida por la calidad de sus productos”.

1.2 CAMPO DE ACCIÓN EN LA ORGANIZACIÓN OBJETIVO

El campo de acción físico será la granja de gallinas ponedoras de la empresa, específicamente en los galpones donde estarán alojadas las aves. El proceso en el cual se intervendrá es en el de crianza de las gallinas en las etapas de levante y postura.

La ubicación geográfica de la granja es en el departamento de Lima, provincia de Canta, Distrito de Huamantanga, Poblado de Macas. Coordenadas geográficas 11° 41' 0" Sur, 76° 56' 0" Oeste. En la figura 4 se presenta una vista aérea de la localización de la granja.

Figura 4: Ubicación de la granja de gallinas ponedoras

Fuente: Google Earth 2015

1.3 SITUACION PROBLEMÁTICA

La empresa actualmente no cuenta en sus granjas de gallinas ponedoras con un adecuado y eficiente sistema de iluminación para cumplir estrictamente con los programas de iluminación (intervalos de luz y sin luz, y niveles de iluminación) recomendados por las casas genéticas y profesionales del área.¹⁰ (Ver tabla 2).

El actual sistema está compuesto por iluminación en base a lámparas fluorescentes, que son manipuladas manualmente mediante interruptores de luz convencionales por el personal de la granja. Dicho sistema presenta principalmente fallas de índole humano, debido a que el personal no cumple rigurosamente con encender y apagar las luces en los momentos respectivos, lo que trae como consecuencia principal el

¹⁰ Hy-Line 2011:14

retraso en el inicio de la etapa de postura, lo que luego genera una menor producción de huevos por campaña, y por lo tanto menores ingresos económicos a la empresa.

1.4 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

El problema por resolver es el deficiente sistema de iluminación manual, dentro del proceso de crianza de las gallinas ponedoras, y que genera un elevado consumo de energía eléctrica.

1.5 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.5.1 Objetivo general

Diseñar una red inalámbrica de focos LED administrables para una granja de gallinas ponedoras, que permita un efectivo manejo del programa de iluminación, una mayor producción de huevos por campaña y un ahorro en el consumo de energía eléctrica.

1.5.2 Objetivos específicos

1.5.2.1 Lograr un efectivo manejo de la iluminación.

Se debe obtener un sistema de iluminación que sea efectivo, es decir que se active y desactive solo cuando sea necesario.

1.5.2.2 Lograr un incremento de la producción de huevos por campaña.

Se debe lograr una mayor producción de huevos de al menos 5 huevos adicionales por cada gallina en una campaña.

1.5.2.3 Lograr una reducción del consumo de energía eléctrica.

Se debe lograr una reducción del al menos un 25% del consumo actual.

1.5.2.4 Establecer la viabilidad económica.

Se debe buscar un diseño con tecnologías adecuadas que minimice el costo, optimice la rentabilidad, sin perder de vista los requerimientos técnicos.

1.6 INDICADORES DE LOGRO DE OBJETIVOS

- Número de encendidos y apagados de la iluminación no programados o tardíos.
- Diferencia entre la cantidad de huevos producidos en una campaña con el sistema de iluminación propuesto, respecto a los producidos actualmente.
- kWh consumidos por la granja en una campaña.
- Económicos: CAPEX, OPEX, VANE y TIR del proyecto

1.7 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En primer lugar, la propuesta planteada permitirá a la empresa aumentar la producción de huevos y además lograr reducir el costo de producción de dicho proceso (menor costo de energía eléctrica), haciendo, por lo tanto, a esta actividad económicamente más rentable.

En segundo lugar, la aplicación de la tecnología de iluminación basada en focos LED administrables y con conexión inalámbrica, sería de carácter innovador y novedoso en esta industria, lo que llevaría a la empresa a dar un salto tecnológico importante y colocarla a la vanguardia en la producción avícola nacional.

Finalmente, esta propuesta contribuye con el cuidado del medio ambiente al reducir la contaminación, debido a tener un menor consumo de energía eléctrica, poseer mayor tiempo de vida útil, y no contener componentes fabricados con elementos tóxicos como el mercurio o fósforo.

1.8 ESTADO DEL ARTE

Las redes inalámbricas fundamentadas en el conocimiento de la física, específicamente en el campo de las ondas electromagnéticas, podrían decirse que conviven con nosotros ya desde muchos años atrás. Es así como en 1895 Guglielmo Marconi aplicando dichos conocimientos, realiza sus primeras pruebas de transmisión a un kilómetro de distancia, luego un año después patentó en Gran Bretaña el primer sistema de telegrafía inalámbrica y después en 1901 logra transmitir a través del océano Atlántico.

Posteriormente, en 1970 nace lo que vino a ser la primera red inalámbrica de área local o Wireless Local Area Network (WLAN), cuando un grupo de investigadores de la universidad de Hawái, crearon a ALOHA, el primer sistema de conmutación de paquetes mediante una red de comunicación por radio. El cual consistía en 7 computadoras ubicadas en diferentes islas, que podían comunicarse con un computador central, al cual le solicitaban realizar algunas operaciones.

Sin embargo, no es hasta finales de los años setenta, donde se formaliza el origen de las redes inalámbricas, cuando en 1979 un grupo de ingenieros de IBM en Suiza realizan experimentos con rayos infrarrojos para la creación de una red local, hecho publicado en el volumen número 67 del IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). La cual al año siguiente crea la norma 802 que sentaba las bases del

funcionamiento de las redes locales y metropolitanas acorde al modelo de interconexión planteado por OSI (Open System Interconnection).

En los años siguientes, se profundiza las investigaciones con infrarrojos y microondas donde se utilizaba el esquema “spread-spectrum” (frecuencias altas). Es luego en 1985 después de cuatro años de estudio, cuando la Federal Communications Commission (FCC) o agencia federal del gobierno de los Estados Unidos encargada de regular en materia de comunicaciones, asigna las bandas IMS (Industrial, Scientific and Medical) para su uso comercial sin licencia, siendo estas la 902-928 MHz, la 2,400-2,483 GHz y la 5,725-5,850 GHz, a las redes inalámbricas basadas en “spread-spectrum”.¹¹

Luego en 1997, aparece el estándar IEEE 802.11, que especificaba tres alternativas de capas físicas: Infrarroja en la forma de controles remotos de 1 Mbps, el salto de frecuencia de 2.4 GHz de 1 o 2 Mbps y la del espectro disperso de secuencia de directa a 1 o 2 Mbps. También se define el protocolo CSMA/CA (carrier sense multiple access with collision avoidance) como método de acceso.¹²

Pero, a pesar de ya contar con el estándar, se tenían problemas de compatibilidad entre los dispositivos de los diferentes fabricantes, es así como en 1999 los principales vendedores de soluciones inalámbricas (3COM, AIRONET, INTERSIL, LUCENT, NOKIA Y SYMBOL TECHNOLOGIES) forman una asociación conocida como WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) con el objetivo de diferenciar y hacer comprensible la tecnología Wi-Fi. De esta forma, desde abril del 2000, WECA certifica la interoperabilidad de equipos según la norma IEEE 802.11b bajo la marca Wi-Fi (Wireless Fidelity).¹³

¹¹ Cfr. Pellejero 2006: 17

¹² Cfr. Tanenbaum 2012: 258

¹³ Cfr. Carballar 2010: 19

Una vez establecido el estándar y asegurado su compatibilidad, lo que ha seguido es un desarrollo de soluciones que permiten transmitir a velocidades superiores a 11Mbps e incluso muchas de estas llegan a tener su propia norma IEEE. Donde podemos describir brevemente las más importantes.

- **IEEE 802.11b.** Desarrollada en 1999. Permite velocidades de transmisión de hasta 11 Mbps, utilizando la banda de frecuencias de 2.4 GHz.
- **IEEE 802.11a.** Creada en 1999. Permite velocidades de transmisión de hasta 54 Mbps, utilizando la banda de frecuencias de 5 GHz.
- **IEEE 802.11g.** Esta norma que surgió en el año 2003 lograba aumentar la velocidad de transmisión hasta 54 Mbps, pero sin abandonar las ventajas de la banda 2.4 GHz.
- **IEEE 802.11n.** Con el objetivo de alcanzar una mayor velocidad, en el año 2009, se crea esta norma que alcanza una velocidad de transmisión de 300 Mbps, para lo cual utiliza varios canales simultáneamente, incorporando más de una antena. Otra de sus ventajas es que resulta ser compatible con los estándares anteriores.
- **IEEE 802.11ac.** Es el más reciente estándar aprobado en 2014, provee ratios de hasta 7 Gbps, sobre la banda de 5 GHz. Este estándar introduce una revolucionaria tecnología de transmisión, trayendo una nueva solución para soportar múltiples transmisiones de enlace descendente concurrentes, denominada como MU MIMO (multiple-input multi-usuario, salida múltiple). Mediante el uso de la tecnología de antena inteligente, MU MIMO permite un uso más eficiente del espectro, una mayor capacidad del sistema y latencia reducida, mediante el apoyo a un máximo de cuatro transmisiones de usuarios

simultáneos. Esto es particularmente útil para dispositivos cliente con un número limitado de antenas, tales como teléfonos inteligentes y tabletas.¹⁴

Simultáneamente, otra tecnología inalámbrica denominada ZigBee comienza a evolucionar a partir de 1998, la cual busca crear un sistema estándar de comunicaciones, vía radio y bidireccional, para usarlo dentro de dispositivos de automatización hogareña (domótica), de edificios (inmótica), control industrial, periféricos de PC y sensores médicos.

Este estándar es desarrollado por la organización ZigBee Alliance, compuesta por aproximadamente 400 miembros, la mayoría fabricantes de semiconductores, donde destacan empresas como Bosch, Osram, Philips, Mitsubishi, Motorola, Samsung, entre otros. Esta alianza en el 2003 decide basar su implementación en el estándar IEEE 802.15.4. Es así como en diciembre del 2004 se publica ZigBee 1.0, también conocida como ZigBee 2003. Posteriormente en el año 2006 se publica ZigBee 1.1, mejor conocida como ZigBee 2006, que contiene la mayor parte de lo que contiene la especificación corriente de su estructura de comunicaciones, y es la primera que realmente se puede decir que implementa lo que se esperaba de ella. Luego en 2007 se publican dos perfiles de operación: ZigBee y ZigBee-Pro, los cuales difieren en la exigencia de características que requieren mayor cantidad de recursos. Actualmente, tenemos a ZigBee 3.0, la cual proporciona interoperabilidad entre una amplia gama de dispositivos inteligentes y brinda a los consumidores y a las empresas la posibilidad de acceder a productos y servicios innovadores, que funciona integradamente, sin problemas, con el fin de mejorar nuestra vida diaria.

¹⁴ Cfr. Kelly 2014

Sin embargo, a pesar de esta evolución hoy en día la desventaja más resaltante de las redes inalámbricas es la inseguridad, pues fácilmente personas no autorizadas, podrían captar la información que se transporta por el espacio y luego ser interpretada. Por lo que, para mejorar su protección actualmente se manejan protocolos de autenticación como; Wi-Fi Protected Access (WPA2) y la autenticación con RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Service) y algoritmos de encriptación como el Advanced Encryption Standard (AES).

Por otra parte, la tecnología LED (light-emitting diode), podría decirse que es un poco más moderna, pues si bien se basa en la teoría de Henry Josep Round, de principios de siglo, que descubrió que los materiales semiconductores podían producir luz, no fue hasta más adelante en 1962 cuando, Nick Holonyak gracias a los materiales de la época como el galio, arsénico y fósforo, invento el primer LED en forma de diodo rojo de baja intensidad.

Más adelante en la década de los 70 se consiguió, a base de mezclar diferentes proporciones de los materiales semiconductores, fabricar diferentes colores de diodos de LED como el ámbar y el amarillo, por lo que resultaron muy útiles para los nuevos aparatos electrónicos que se comenzaban a fabricar.

A partir de entonces los LEDs empezaron a desarrollarse con nuevos materiales como el AlGaAs (arseniuro de galio y aluminio) multiplicando su luminosidad y comenzó a asumir muchas más funciones dentro de nuestra vida cotidiana, como indicadores luminosos, en carteles publicitarios o indicadores de señal, en electrodomésticos en nuestro hogar, prueba de ello son los LEDs instalados en los antiguos televisores y otros aparatos como computadoras, que nos indicaban el estado o una función concreta.

Luego, en los años 90 Shuji Nakamura un investigador japonés, desarrolló el LED azul, introduciendo nuevos materiales para su fabricación como el zafiro, el nitrógeno y el silicio. Con esto ya se disponía de los tres colores básicos para formar luz blanca y llevar esta tecnología al campo de la iluminación.¹⁵

En estos días, los LEDs se pueden acondicionar o incorporar en un porcentaje mayor a todas las tecnologías usadas actualmente, pudiendo disponer de todos los colores con una gran potencia y luminosidad, brindando muchas ventajas respecto a la iluminación incandescente y de tubos fluorescentes. Ahora tenemos LEDs mucho más resistentes a la temperatura y que consiguen luz blanca sin la necesidad de mezclar colores, y también han ido reduciendo cada vez más su tamaño, pudiendo aplicarlos incluso en televisores, que consiguen una definición más real y fiel de las imágenes.

En el mercado actual, principalmente podemos encontrar dos tipos de LEDs, como el LED SMD (Surface mounted device) y los LED COB (chip on board), los cuales se diferencian en como disipan el calor y su rendimiento lumínico. Siendo los primeros, usados más en hogares o donde no se requiera iluminación constante, y los segundos en lugares que si lo necesiten. Pero, aquí también podemos citar a los nuevos OLED (organic light-emitting diode), que es un diodo que se basa en una capa electroluminiscente formada por una película de componentes orgánicos que reaccionan a una determinada estimulación eléctrica, generando y emitiendo luz por ellos mismos. Esta reciente tecnología es más económica al utilizar elementos orgánicos, provee mayor cantidad de colores, pantallas más delgadas al utilizar capas de polímeros más delgadas y ofrecen flexibilidad debido a su sustrato de plástico y no de cristal. Sin embargo, esta solución aún tendrá que superar ciertas desventajas como

¹⁵ Cfr. Gago 2012: 18

su corto tiempo de vida, su costoso proceso de fabricación, e impacto medio ambiental por el alto costo para reciclar estos componentes orgánicos.¹⁶

Finalmente, el año 2014 combinando ambas tecnologías y en la era del “Internet de las cosas” donde los objetos cobran una nueva vida al dotarlos de conectividad, surgen los denominados “Focos o bombillas administrables”, los cuales permiten controlar la luz de forma inalámbrica, además, de personalizarla gracias a una aplicación para dispositivos móviles y con la posibilidad de controlarla y monitorizarla a distancia. Esta nueva propuesta ha infundido emoción al monótono mercado de la iluminación y es un paso adelante más para el desarrollo de las casas, oficinas y por qué no, granjas “inteligentes”.

¹⁶ Cfr. Ledia Group 2014

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se brinda información teórica sobre la importancia de la luz en las aves y, las principales tecnologías y metodologías inmersas en la propuesta del nuevo sistema de iluminación.

2.1 IMPORTANCIA DE LA LUZ EN LA PRODUCCIÓN DE GALLINAS PONEDORAS

No cabe duda de que el conocimiento del funcionamiento fisiológico de las gallinas es de vital importancia para su correcto desarrollo físico y sexual, para así cumplir fielmente con todos los requerimientos nutricionales, veterinarios, sanitarios y ambientales que este animal de alto valor genético (producto del mejoramiento genético) pueda expresar todo su potencial productivo y así obtener el éxito en la campaña productiva.

Dentro de estos requerimientos ambientales encontramos al efecto de la luz sobre el desarrollo sexual de las gallinas. Por lo que en el siguiente punto explicaremos dicha importancia.

2.1.1 Efecto de la luz en el desarrollo fisiológico de las gallinas

En las aves la visión juega un aspecto fundamental en la vida de estos animales, así como lo demuestra el tamaño de los ojos en relación con la cabeza o al cerebro. Por lo que poseen un alto grado de agudeza y sensibilidad visual respecto de otros animales, característica que les va a permitir identificar y reconocer el alimento,

el agua, los nidos, otros animales y será de gran importancia en el grado de dominancia y establecimiento del orden social.

Pero, sin duda el más importante efecto es sobre el desarrollo sexual y reproductivo, debido a que conforme las aves se acercan a la madurez sexual se vuelven más sensibles a la foto estimulación, es así que la luz al ingresar por la vista actúa sobre el hipotálamo, la cual altera su producción de factores liberadores de gonadotropina, estos factores a su vez actúan sobre la liberación de hormonas FSH y LH, siendo estos estrógenos y progestágenos los principales responsables de cambios internos y externos relacionados con la aparición de las características adultas del animal.

Figura 5: Efecto de la iluminación en la producción del huevo

Fuente: U. Católica de Chile. http://www7.uc.cl/sw_educ/prodanim/caracter/fi11.htm

Según Hevia, M. L. y Quiles, los factores relacionados con la luz y que afectan el comportamiento de las aves son; la intensidad lumínica, el fotoperiodo, la longitud de onda y la fuente de iluminación.¹⁷

a. Influencia de la intensidad lumínica

Las aves poseen una mayor proporción de conos que bastones en la retina, por lo que tienen una mejor visión diurna que nocturna. Por lo que las aves son criadas a bajas intensidades (<10 lux) para limitar su actividad, evitar que se muevan innecesariamente y así obtener una mayor ganancia de peso.

En lo que refiere al caso específico de las gallinas tenemos que “Estas son criadas con unas intensidades lumínicas que oscilan entre 5-10 lux, intensidades suficientes para mantener el fisiologismo de la puesta, a través de la estimulación del nervio óptico” (Hevia, M. L. y Quiles 2005: 2).

b. Influencia del fotoperiodo

En avicultura la duración del fotoperiodo mínimo recomendable es de ocho horas continuas de luz, estar por debajo de ese límite va en contra del bienestar del animal.

Existen muchos estudios para determinar el efecto de este factor, por ejemplo, así tenemos que las aves sometidas a intervalos continuos mostraban una menor actividad que las mantenidas a iluminación intermitente.¹⁸ En otro estudio citado por el autor tenemos:

¹⁷ Cfr. Hevia y Quiles 2005: 1

¹⁸ Cfr. Hevia y Quiles 2005: 2

“Tanaka y Hurnik (1991), observaron el comportamiento de las gallinas tanto en jaula como en suelo, sometidas a dos prácticas de manejo de la iluminación distintas. En la primera, el encendido y apagado de las luces era instantáneo, mientras que, en la segunda, el paso de luz a oscuridad o viceversa era gradual (simulando un alba o un atardecer natural). En ambas situaciones, se observó un incremento de la ingesta de pienso antes de la oscuridad, para posteriormente dirigirse a las zonas de descanso. Cuando la luz era apagada de modo repentino, algunas gallinas, sobre todo en el sistema de alojamiento en suelo, no habían tenido tiempo de buscar los aseladeros, teniéndolo que hacer a oscuras, con el consiguiente estrés e incomfort. Esto no ocurría cuando se simulaba un atardecer (con una reducción gradual de la luz durante 5 minutos). Respecto al encendido, cuando éste era repentino, ocasionaba en las gallinas una situación de alarma y de desorientación, llegando, incluso, a provocar alguna estereotipia (giraban alrededor de sí mismas). Estos autores, concluyeron que un encendido y/o apagado gradual incrementaría el confort de las gallinas. Sin embargo, ellos mismos señalaron que las gallinas han de estar acostumbradas a cambios repentinos de luz/oscuridad o viceversa, para que ante cualquier fallo en el sistema eléctrico no se desencadene una situación de pánico generalizado en el gallinero. (Hevia, M. L. y Quiles 2005: 3).

c. Influencia de la longitud de Onda

La longitud de onda determina el color de la luz, por lo que la mezcla de todas estas longitudes origina la luz blanca que todos conocemos. (Ver anexo 2).

Es difícil determinar cuál es efecto de esta característica sobre el comportamiento de las aves. Por lo que al igual que con el fotoperiodo existen varios estudios dentro los cuales podemos citar el siguiente.

“Prayitno et al. (1994) determinaron cómo la longitud de onda puede afectar al comportamiento social del broiler. Sometieron a pollos de carne entre la 1ª y la 4ª semana de vida a diferentes colores de luz (blanca, verde, azul y roja), observando como el índice de agresiones y el número de heridas y picotazos entre los animales era más alto con luz roja que con la luz azul o verde, debido a que la agudeza visual era mucho más alta con la luz roja.” (Hevia, M. L. y Quiles 2005: 3).

De otros estudios también se pudo determinar que estos seres tienen preferencias por algunas longitudes de onda o colores, es así como, en un experimento con pollos de carne, estos animales luego de una semana preferían el color azul o el verde.¹⁹

¹⁹ Cfr. Hevia y Quiles 2005: 3

d. Influencia de la fuente de luz

En este punto podemos decir que las gallinas pueden reconocer su fuente de luz es así como estas al ser criadas con luz fluorescente tienen una mayor actividad que las mantenidas con luz incandescente. Incluso pueden reconocer hasta la frecuencia (parpadeo de la luz), siendo así que las aves criadas a baja frecuencia presentan menor actividad física y síntomas de miedo.²⁰

2.1.2 El programa de iluminación y su importancia

Un programa de iluminación es básicamente determinar los intervalos de iluminación durante las 24 horas, donde establecemos principalmente el tiempo de duración y la intensidad de luz que recibirán las gallinas, e incluso si es posible, establecer la longitud de onda o color.

Estos programas de iluminación están en función de varios factores, tales como la localización de la granja, las horas de luz natural que reciben, las recomendaciones proporcionadas por las casas genéticas sobre línea genética del animal, el entorno de la explotación y las propias recomendaciones de los criadores.

Para exponer específicamente la influencia de un programa de iluminación y qué efecto tendría sobre las aves recogemos lo escrito por R.A. Erns y col.

“Una de las más importantes herramientas de trabajo de que dispone el avicultor para influir sobre el rendimiento de las aves son los programas de iluminación que se pueden aplicar en la cría y en la puesta. En primer lugar, al afectar a la edad en que las pollitas alcanzan la madurez sexual - es decir, la postura del primer huevo – y en segundo lugar por sus efectos sobre la puesta y el peso del huevo. Otros aspectos adicionales son los efectos de la luz sobre la ingesta de pienso, el peso del ave y su composición, la uniformidad de la manada, la incidencia de la cloquez, el prolapso del oviducto y el canibalismo. Por otra parte, también deben considerarse las diferencias genéticas entre estirpes y las posibles interacciones genética/ medio ambiente afectando a la puesta, el peso del huevo, a la calidad de la cáscara y a la mortalidad.” (ERNST 1988: 1)

²⁰ Cfr. Hevia y Quiles 2005: 4

Entre otros datos que podemos obtener del artículo de R.A. Erns y col. Se menciona por ejemplo que, para pollitas criadas bajo unos días constantes, la edad de la madurez depende la fase de iluminación, es así como la edad de madurez sexual se adelanta a medida que el fotoperiodo aumenta de 0 a 12 horas y se retrasa cuando existe una disminución gradual de las horas de luz.²¹

Por otra parte, tomando en cuenta el manual de crianza de gallinas de la empresa Hyline Brown, esta nos menciona que la producción está muy relacionada con los cambios en el fotoperiodo. Por lo que la cantidad de huevos, el tamaño del huevo, la viabilidad y la rentabilidad de la campaña estarían en función de un apropiado programa de iluminación.²²

En un artículo escrito por Andrés Ortiz, dice que las estirpes modernas son extremadamente versátiles a la hora de responder al estímulo luminoso. La variación de 7 días, adelantando o atrasando la edad del primer huevo, supone en el cómputo total del ciclo productivo de la ponedora 5 huevos/ave y 1 g/huevo de promedio.²³

En otro artículo publicado por la asociación venezolana de la industria y salud animal, AVISA, dice que, con la suplementación luminosa, se obtienen de 12 a 16 huevos más por ave alojada y aumenta entre 2 y 3 gramos el peso del huevo en los primeros cuatro meses de postura de las gallinas.²⁴

²¹ Cfr. R.A. Erns y col. 1988:45

²² Cfr. HYLINE, 2011:14

²³ Cfr. Ortiz, 5

²⁴ Cfr. AVISA, 2011

Un ejemplo de un programa de iluminación es el arrojado por un software en el cual se le introducen los valores de las variables relevantes para cada caso, como la fecha de nacimiento, horas de luz natural, localización, tipo de variedad genética, etc. El resultado se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2: Ejemplo de un programa de iluminación

Hy-Line Lighting Program for : ALGERIA / ALGIERS 3° 13' E 36° 42' N							
Variety:		W-36 Commercial					
House Type:		Dark grow to dark lay					
Hatch Date:		18-Sep-2013 Standard daylight time					
Weeks of Age	Date	Sunrise	Lights on	Lights Off	Sunset	Total Hours	Total Sunlight
0	9/18/2013	6:31	1:30	22:30	18:50	21:00	12:19
1	9/25/2013	6:37	2:15	21:45	18:39	19:30	12:02
2	10/2/2013	6:43	3:00	21:00	18:29	18:00	11:46
3	10/9/2013	6:49	3:45	20:15	18:18	16:30	11:29
4	10/16/2013	6:55	4:30	19:30	18:09	15:00	11:14
5	10/23/2013	7:01	5:15	18:45	18:00	13:30	10:59
6	10/30/2013	7:08	6:00	18:00	17:52	12:00	10:44
7	11/6/2013	7:15	6:30	17:30	17:45	11:00	10:30
8	11/13/2013	7:22	6:30	17:30	17:39	11:00	10:17
9	11/20/2013	7:30	6:30	17:30	17:35	11:00	10:05
10	11/27/2013	7:37	6:30	17:30	17:32	11:00	9:55
11	12/4/2013	7:43	6:30	17:30	17:30	11:00	9:47
12	12/11/2013	7:49	6:30	17:30	17:31	11:00	9:42
13	12/18/2013	7:54	6:30	17:30	17:33	11:00	9:39
14	12/25/2013	7:57	6:30	17:30	17:36	11:00	9:39
15	1/1/2014	7:59	6:30	17:30	17:41	11:00	9:42
16	1/8/2014	8:00	6:30	17:30	17:47	11:00	9:47
17	1/15/2014	7:58	6:00	18:00	17:54	12:00	9:56
18	1/22/2014	7:55	5:30	18:30	18:01	13:00	10:06
19	1/29/2014	7:51	5:00	19:00	18:09	14:00	10:18
20	2/5/2014	7:45	4:45	19:15	18:16	14:30	10:31
21	2/12/2014	7:38	4:30	19:30	18:24	15:00	10:46
22	2/19/2014	7:30	4:30	19:45	18:31	15:15	11:01
23	2/26/2014	7:22	4:15	19:45	18:38	15:30	11:16
24	3/5/2014	7:12	4:15	20:00	18:45	15:45	11:33
25	3/12/2014	7:02	4:00	20:00	18:51	16:00	11:49
26	3/19/2014	6:52	4:00	20:00	18:57	16:00	12:05
27	3/26/2014	6:42	4:00	20:00	19:03	16:00	12:21
28	4/2/2014	6:31	4:00	20:00	19:10	16:00	12:39
29	4/9/2014	6:21	4:00	20:00	19:16	16:00	12:55
30 to 80			4:00	20:00		16:00	
This lighting program is created from formula based on global location and housing style. This program may need to be further adapted to better fit local conditions. Please email info@hyline.com for further questions or technical assistance.							

Fuente: HY-LINE 2011:15

Luego de entender la importancia del programa de iluminación, ahora debemos conocer las tecnologías inmersas en nuestra propuesta, con la cual podremos cumplir cabalmente los requerimientos de iluminación antes mencionados.

2.2 REDES INALÁMBRICAS

En esta parte del capítulo expondremos algunos conceptos fundamentales para conocer y entender las tecnologías de interconexión inalámbrica Wi-Fi y ZigBee, sobre la cual nos apoyaremos para la establecer los enlaces con los dispositivos de iluminación.

2.2.1 Conceptos y principios básicos sobre redes inalámbricas

Para explicar primero que es una red inalámbrica nos será útil los conceptos descritos por Diego Salvetti donde define que es básicamente una red sin cables, pero que utiliza las ondas electromagnéticas para enlazar mediante un concentrador los dispositivos de una red.²⁵

En general su operación es dada por la modulación de ondas electromagnéticas, producidas por el movimiento de electrones, que se pueden propagar por el espacio. El número de oscilaciones por segundo de una onda es su frecuencia, f , y se mide en Hz. La distancia entre dos máximos consecutivos se llama longitud de onda, λ (lambda). Ver figura 6.

La relación fundamental entre f y λ y c (en el vacío) es

$$\lambda f = c$$

²⁵ Cfr. Salvetti 2011: 25

Figura 6: Componentes de la onda electromagnética

Fuente: Salvetti 2011: 268

Dado que “c” es una constante, si conocemos el valor f podemos encontrar λ y viceversa. Como regla práctica, cuando λ se da en metros y f en MHz, $\lambda f \approx 300$. Por ejemplo, las ondas de 100 MHz tienen una longitud aproximada de 3 metros, las ondas de 1000 MHz tienen una longitud de 0.3 metros, y las ondas de 0.1 metros tienen una frecuencia de 3000 MHz.²⁶

En la figura 7, se muestra el espectro electromagnético. Las porciones de radio, microondas, infrarrojo y luz visible del espectro que se pueden utilizar para transmitir información mediante la modulación de la amplitud, frecuencia o fase de ondas.

Al conectar una antena del tamaño apropiado a un circuito eléctrico, las ondas electromagnéticas se pueden difundir de manera eficiente y un receptor las puede captar a cierta distancia. Toda la comunicación inalámbrica se basa en ese principio.

²⁶ Cfr. Tanenbaum 2012: 92

Figura 7: Espectro de frecuencia continua

Fuente: Hucaby 2014:11

Energía de radiofrecuencia y dB

Para que una señal de radio frecuencia sea transmitida y propagada en el espacio esta debe ser enviada con la suficiente energía para que pueda llegar y ser entendida en su destino. Esta energía es medida usualmente en watts (W). Es así como en transmisiones wireless LAN normalmente se tenga una fortaleza de la señal 0.1 W y 0.001 W. Sin embargo, para comparar entre fuentes de trasmisión se suele utilizar el decibelio, la cual es una unidad de medida basada en una función logarítmica que nos facilita mucho esta tarea.

La siguiente formula nos permite realizar dicha conversión.

$$dB = 10 \log_{10} (P2/P1)$$

donde P2 representa la fuente de interés y P1 la fuente de comparación o valor de referencia.

Ejemplo:

$$\text{dB} = 10 \log_{10} (0.000031623 \text{ Mw}/100 \text{ mW}) = - 65 \text{ dB}$$

Cabe mencionar que, dentro del mundo de las redes inalámbricas, el nivel de energía de referencia es 1 Mw, por lo que la unidad designada es dBm (dB-miliwatt).

Un primer parámetro que es importante conocer en este punto es el llamado EIRP (effective isotropic radiated power), medida en dBm, el cual nos indica el poder de transmisión efectivo del sistema de transmisión, el cual considera la potencia del transmisor, la pérdida por el cable y la ganancia de la antena. Normalmente los transmisores de redes LAN inalámbricas manejan niveles de EIRP en el rango de 100 Mw hasta 1 Mw. Lo que corresponde al rango de 20 dBm a 0 dBm.

Otro parámetro importante es el RSSI (Received Signal Strength Indicator), el cual nos indica la fortaleza de la señal al momento de ser recibida por el receptor. Usualmente el nivel de energía recibido esta en el orden de 0 dBm a -100 dBm, donde 0 es el más fuerte y – 100 el más débil.

En la figura siguiente se muestra la pérdida de potencia o la diferencia de energía, en dBm, al momento que la señal sale de la fuente de transmisión y la que llega al receptor.

Figura 8: Pérdida de energía de una señal de radio frecuencia

Fuente: Hucaby 2014:22

Hasta ahora solo no enfocamos en el valor de RSSI esperado sobre una sola señal, sin embargo, existen otras señales dentro de la misma frecuencia, las cuales en su conjunto se les llama ruido. El nivel de ruido o el promedio de la fuerza del ruido es llamada “noise floor”. Por lo tanto, la fuerza de la señal debe ser mayor que el ruido para que esta pueda ser recibida y entendida correctamente. La diferencia entre la señal y el ruido es llamada SNR (Signal-to-Noise Ratio), medida en dB. Por lo que un SNR más alto es siempre preferido.

En la figura siguiente se aprecia el RSSI comparado con el ruido recibido.

Figura 9: Cambio en el nivel de ruido “Noise Floor” y el SNR

Fuente: Hucaby 2014:24

Modulación

Para poder llevar los datos sobre una señal de radio frecuencia, se necesita de una señal portadora, pero la cual debe ser alterada de alguna forma que indique que está llevando alguna información, esto es lo que se llama modulación, o sea donde se pueda distinguir un bit 0 de un bit 1. Para lograr esto, solo se podrá modificar solo los siguientes atributos de una señal: La frecuencia, la fase y la amplitud.

Modulación DSSS

DSSS (Direct sequence spread spectrum o espectro de dispersión de secuencia directa), este tipo de modulación nos permite transmitir hasta 11 Mbps en un ancho de banda por canal de 22 MHz. Esta técnica de modulación utiliza un código de pseudo ruido para modular directamente una portadora, de tal forma que aumente el ancho de banda de la transmisión y reduzca la densidad de potencia espectral (es decir, el nivel de potencia en cualquier frecuencia dada). La señal resultante tiene un espectro muy parecido al del ruido, de tal forma que a todos los radiorreceptores les parecerá ruido, menos al que va dirigida la señal.

La secuencia de codificación utilizada por DSSS para una transmisión a 1 Mbps es llamada “Barker 11 code”, el cual puede ser transmitido usando el esquema de modulación DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying). Donde la fase de la señal portadora es rotada o cambiada de acuerdo con el bit de data transmitido. Siendo así que para representar un 0 la fase no es cambiada, mientras que para transmitir un 1 la fase es rotada 180°

Para el caso de una transmisión de 2 Mbps se utiliza otro esquema de modulación, llamado DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) en el cual para representar un 00 la fase no es rotada, para 01 la fase rota 90° , para 11 se rota 180° y para representar un 10 se rota 270°

En la figura siguiente se puede apreciar como la fase de la señal es cambiada para representar los bits que sean requeridos.

Figura 10: Cambios de fase durante la modulación DBPSK y DQPSK

Fuente: Hucaby 2014:30

Modulación OFDM

La OFDM (Orthogonal Frequency-División Multiplexing o Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales), también denominada modulación por multitono discreto, es una modulación que consiste en enviar a través de una canal de 20 MHz un conjunto de portadoras de diferentes frecuencias donde cada una transporta información la cual es modulada en QAM (Quadrature Amplitud Modulation) o PSK (Phase Shift Keying).

Normalmente se realiza la modulación OFDM tras pasar la señal por un codificador de canal con el objetivo de corregir los errores producidos en la transmisión, entonces esta modulación se llama COFDM, del inglés Coded OFDM. Debido al problema técnico que supone la generación y detección en tiempo continuo de los cientos o miles de portadoras igualmente espaciadas que forman una modulación OFDM, los procesos de modulación y demodulación se realizan en tiempo discreto mediante IDTF (Inverse Discrete Fourier Transform) y la DTF (Discrete Fourier Transform) respectivamente. Ambas se utilizan para convertir las señales del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia y la transformada inversa de Fourier se utiliza para convertir la señal de vuelta desde el dominio de la frecuencia al dominio del tiempo.

En la siguiente figura se aprecia como 48 sub portadoras son transmitidas por un solo canal de 20 MHz.

Figura 11: Operación de OFDM con 48 sub portadoras en paralelo

Fuente: Hucaby 2014:31

Finalmente, tomando en cuenta lo citado en los párrafos anteriores, para enviar data sobre una señal de radiofrecuencia, ambos el transmisor como el receptor tienen que usar el mismo método de modulación. Además, ambos deben usar la mejor ratio de transmisión posible dentro del ambiente en que se encuentran. Es así como, si ambos están localizados en un ambiente ruidoso, con un bajo SNR o bajo RSSI, sería conveniente utilizar una técnica de modulación con una menor ratio de transmisión para asegurar una comunicación eficaz. En cambio, si las condiciones son apropiadas, alto RSSI y alto SNR, sería preferible una técnica de modulación que nos permita una mejor ratio.

En la siguiente tabla se presentan las técnicas de modulación usadas en redes inalámbricas y sus respectivas ratios.

Tabla 3: Técnicas de modulación en redes LAN inalámbricas

Modulación	DSSS Ratio de datos (Mbps)	OFDM Ratio de datos (Mbps)
DBPSK	1	
DQPSK	2	
CCK 4	5.5	
OFDM BPSK 1/2		6
OFDM BPSK 1/2		9
CCK 8	11	
OFDM QPSK 1/2		12
OFDM QPSK 3/4		18
OFDM 16-QAM 1/2		24
OFDM 16-QAM 3/4		36
OFDM 16-QAM 2/3		48
OFDM 16-QAM 3/4		54

Fuente: Hucaby 2014:33

2.2.2 Clasificación de las redes inalámbricas

Según el área que abarca las podemos clasificar en cuatro categorías, siendo las primeras de mayor alcance (miles de kilómetros) que utilizan bandas de frecuencias muy altas. Estas son licenciadas por cada gobierno y por lo general son asignadas a los operadores de telecomunicaciones.²⁷

Redes de área ancha inalámbrica (WWAN):

- Las tecnologías vía satélite (vSAT).
- Las redes de telefonía móvil GSM/EGPRS (2G), UMTS (3G), HSDPA/HSUPA (3.5G) y LTE/SAE (4G).

Redes de área metropolitana inalámbricas (WMAN):

- WiMax 2 o IEEE 802.16
- MMDS/LMDS
- ETSI HiperMAN & HiperAccess

Redes de área local inalámbrica (WLAN):

- Wi-Fi (IEEE 802.11). Es el estándar más usado en la interconexión de este tipo de redes y uno de los que más nos interesa en nuestro estudio.
- ESTI HiperLAN2. Tecnología europea competidora de Wi-Fi.

Redes de área personal inalámbricas (WPAN):

- Bluetooth (IEEE 802.15.1). Se halla en todos los dispositivos de uso personal. La versión 4 puede alcanzar velocidades de hasta 24 Mbps.

²⁷ Cfr. Mifsud 2013: 227

- HomeRF. Más centrada en hogares digitales, se basa en las normas de los teléfonos DECT y los teléfonos Wi-Fi para interconectar todos los dispositivos y formar una única red de voz y datos. La versión 2 puede llegar hasta velocidades de transmisión de 10 Mbps.
- Infrarrojos (irDA). Trabaja en el espectro de infrarrojos. Alcanza velocidades de hasta 4 Mbps.
- ZigBee (IEEE 812.15.4). Alternativa de bajo costo. Al tener una pila de protocolo básico forma una red en malla, un factor de forma reducida, baja velocidad de datos (hasta 250 kbps), pero sobre todo una duración más larga de la batería, que le da una autonomía de 5 años.

En la figura 12, se aprecia mejor el ámbito de actuación de las principales tecnologías mencionadas, en este punto.

Figura 12: Ámbito de actuación de las diferentes tecnologías inalámbricas

Fuente: Mifsud 2013: 227

2.2.3 El estándar IEEE 802.11 (Wi-Fi)

Es una tecnología de redes de área local inalámbrica de paquetes no guiados, basados en la transmisión de la señal por ondas electromagnéticas de radio en torno a los 2.4 GHz o los 5 GHz.

Según Salvetti, Wi-Fi o conocido técnicamente como el estándar IEEE 802.11²⁸, el termino Wi-Fi no posee un significado en sí, sino más bien es fruto de una alianza entre Nokia y Symbol Technologies, que tenía por objetivo crear una marca para fomentar la nueva tecnología inalámbrica, por lo que contrataron a una empresa de publicidad que le diera un nombre llamativo y así nació dicho famoso termino, para identificar todos los productos que cumplen los requerimientos de la norma IEEE 802.11.

A continuación, explicaremos algunos puntos importantes sobre este estándar:

2.2.3.1 Versiones del estándar IEEE 802.11

Los diferentes estándares trabajados por la IEEE se han desarrollado a partir de los dos rangos de frecuencias libres ISM: 2,4 GHz y 5 GHz. Como vimos en el estado del arte, estos fueron desarrollándose desde 1997, con velocidades de 1 o 2 Mbps, hasta el más reciente el 802.11ac que teóricamente llega hasta 7 Gbps.

En este punto hay que resaltar que no todos los estándares son compatibles. La versión 802.11a solo se entiende con la 802.11n y la 802.11ac, ya que todas ellas trabajan con la frecuencia de los 5 GHz, mientras que todas las demás también son compatibles, pero solo en la banda de los 2,4 GHz.

²⁸ Cfr. Salvetti 2011: 51

En la siguiente tabla podemos comparar las diferentes versiones normalizadas por la IEEE.

Tabla 4: Comparación de las diferentes versiones normalizadas por la IEEE

Protocolo IEEE	Fecha de liberación	Frecuencia	Ratio de data típico	Ratio de data máximo
Legacy	1997	ISM	1 Mbps	2 Mbps
802.11a	1999	UNII	25 Mbps	54 Mbps
802.11b	1999	ISM	6.5 Mbps	11 Mbps
802.11g	2003	ISM	25 Mbps	54 Mbps
802.11n	2009	ISM o UNII	200 Mbps	600 Mbps
802.11ac Wave 1	2013	ISM y UNII 5GHz	870 Mbps	1.3 Gbps
802.11ac Wave 1	2015	ISM Y UNII 5GHz	2.4 Gbps	3.5 Gbps

Fuente: Bruno y Jordan 2017:171

2.2.3.2 Elementos necesarios para su funcionamiento

Los elementos fundamentales o dispositivos necesarios para implementar una red Wi-Fi son: la antena, la tarjeta de red inalámbrica, el punto de acceso y el enrutador.

- a. **Antenas:** Es el dispositivo que transforma la energía eléctrica, generada por los equipos de red, en un campo electromagnético y viceversa. Según Salvetti, solamente la antena se considera responsable de más del 50% de la calidad de la conexión²⁹, por lo que es muy importante que esta sea de buena calidad para lograr una eficiente conversión de la energía y así conseguir la mayor cobertura o alcance posible.

Estas pueden ser de tres tipos:

²⁹ Cfr. Salvetti, 2011: 38

- **Omnidireccionales:** Irradian la señal en todas las direcciones (360°). Por esto se dice que su ángulo de radiación es de 360° en el plano horizontal, o sea con forma de círculo. La ganancia típica de este tipo de antenas es de 8 a 12 dBi. Tienen menor alcance y pueden ser utilizadas para transmisión multipunto (Ver anexo 4).
- **Direccionales o bidireccionales:** Concentran la señal en una sola dirección (o en dos direcciones, en las bidireccionales) y cubren cierto ángulo alrededor de la dirección a la que se apunta. Cuanto mayor sea la ganancia de la antena, menor será el ángulo de radiación, con lo que será más difícil apuntar al otro extremo y mantener una conexión estable.
- **Sectoriales:** es un tipo mixto, que trata de combinar lo mejor de las anteriores. Por una parte, emite una señal más amplia que una direccional, pero menor que la omnidireccional. En cuanto a la intensidad (alcance) es mayor que la omnidireccional, pero algo menor que la direccional.

Las características más importantes que deben valorarse en el momento de seleccionar una antena son las siguientes:³⁰

- **La impedancia,** que es la oposición al avance de la onda en el elemento de la antena. Esto ocurre ya que el material del elemento de la antena tiene una resistencia que modifica la onda original.
- **La ganancia o potencia,** expresada en dBi (fabricantes) o en dBd (reales). que es el cociente entre la cantidad de energía irradiada en la dirección principal de nuestra antena y la que irradiaría una antena isotrópica alimentada por el mismo transmisor. Ya que estamos tomando la ganancia

³⁰ Cfr. Salvetti, 2011: 272

con relación a la antena isotrópica, expresamos el resultado en dBi (decibeles con relación a la antena isotrópica). Cuanto más grande sea la ganancia, la antena será más directiva y el haz será más angosto.

- **El patrón de radiación de la antena** es la gráfica que muestra la potencia de la señal transmitida en función del ángulo. Lo que se trata de hacer al diseñar una antena es reducir al mínimo los lóbulos extras (laterales y posteriores), ya que no son de utilidad al momento de direccionar el haz.
- **Ancho del haz**, es el intervalo angular en el que la densidad de potencia radiada es igual a la mitad de la potencia máxima (en la dirección principal de radiación).
- **La frecuencia de operación**, este parámetro nos define el rango de frecuencias soportadas por nuestra antena. Así, si usamos una frecuencia en nuestro transmisor dentro del rango de nuestra antena, la radiación de ondas electromagnéticas se realiza de forma adecuada. Las antenas no pueden irradiar en cualquier frecuencia. Las antenas son diferentes según la frecuencia de trabajo. Por este motivo, es importante tener en mente el mencionado parámetro a la hora de diseñar o comprar una antena. (para Wi-Fi de la banda 2,4 GHz, oscila entre 2.400 y 2.485 GHz).
- **El tipo de polarización**, La polarización de una antena se refiere solo a la orientación del campo eléctrico radiado desde esa antena. En general la polarización puede ser horizontal o vertical, si suponemos que los elementos de la antena se encuentran dentro de un plano horizontal o vertical con el cual trabajamos. Si la antena irradia una onda electromagnética polarizada verticalmente decimos que la antena tiene

polarización vertical. En cambio, si la onda propagada está polarizada horizontalmente, nuestra antena tendrá polarización horizontal.

- b. **Tarjeta de red inalámbrica:** Es la encargada de transmitir y recibir los datos entre los diferentes equipos de la red. Su velocidad de recepción y transmisión estará en función de la versión del estándar IEEE 802.11 que esté utilizando la red, pudiendo estar entre 54 Mbps hasta 7 Gbps.

En la actualidad prácticamente solo existen dos clases de tarjeta que podemos utilizar: PCI, usadas en computadoras de escritorio, y las USB que son las más comunes y prácticas.

- c. **Puntos de acceso o Access Point:** Es el punto principal desde el cual se realiza la emisión y recepción, hacia todos los dispositivos inalámbricos y conecta estos a la red cableada, es también conocida como el puente entre ambos tipos de redes. Al igual que las tarjetas de red su velocidad de operación estará en función de la versión del estándar IEEE 802.11 que esté utilizando la red, pudiendo estar entre 54 Mbps hasta 7 Gbps.

Según Salvetti, en este dispositivo podemos encontrar 2 características importantes.

“Existen dos características importantes en un Access Point (AP): la potencia de su transmisor y la sensibilidad del receptor. La primera se refiere a qué tan potente es la señal que irradia el equipo y la medimos en **dbm** (unidad de medida de potencia) o **mw** (miliwatts). En cuanto a la sensibilidad del receptor se refiere a qué tan débiles pueden llegar a ser las señales que detecta el AP, utilizamos el dbm para medirla.” (Salvetti 2014: 34)

- d. **Enrutador inalámbrico:** Es el dispositivo encargado de interconectar todas las subredes existentes en nuestra red, direccionando todos los paquetes de datos para que lleguen a su destino correcto, y permitirnos conectarnos a través de un proveedor de telecomunicaciones hacia el internet. También nos permite

establecer políticas de interconexión como establecer anchos de banda y prioridades de acceso a los usuarios conectados.

2.2.3.3 Modos de funcionamiento

Las redes inalámbricas IEEE 802.11 disponen de dos modos de funcionamiento para trabajar, pero son incompatibles entre sí.

- **Modo punto a punto o ad hoc:** Se establece entre dos clientes que pueden comunicarse directamente con tarjetas WLAN sin necesidad de elementos de interconexión inalámbrica. Se trata de un servicio básico entre iguales, similar al uso de un cable cruzado.
- **Modo Infraestructura o Basic Service set (BSS):** Es la configuración construida en base a un punto de acceso, que gestiona todo el tráfico y ejerce como puerta de enlace entre la red inalámbrica, y otra cableada, que puede estar o no conectada a internet. Se diferencia con la anterior en que los dispositivos no pueden conectarse directamente entre sí.

También existe la posibilidad de crear un conjunto de extendido del modo infraestructura o Extended Basic Service Set (EBSS), uniendo dos o más BSS entre sí para extender redes sin cables, en cuyo caso uno actuará como maestro y el resto como esclavos. De este modo, los servicios que ofrecen cada uno de los puntos de acceso a los clientes se unen para permitir la movilidad entre diferentes zonas.

2.2.3.4 La asignación de canales

Los estándares 802.11b y 802.11g utilizan la banda 2.4 GHz. En esta banda, se precisaron 11 canales utilizables, los cuales se pueden configurar según sus

necesidades particulares. Pero, estos canales no son completamente independientes, pues hay superposición entre los canales adyacentes, y en la práctica solo se pueden usar 3 canales de forma simultánea (1, 6 y 11) en el caso de América, y 4 canales en el caso de Europa (1, 5, 8 y 13) pues allí la European Telecommunications Standard Institute (ETSI) ha definido 13 canales. Esta asignación de canales usualmente se hace en el Access Point, pues los dispositivos que desean acceder automáticamente detectan esta señal.

En la siguiente figura se aprecia los canales usados en la banda 2.4 GHz.

Figura 13: Esquema de canales en la banda 2.4 GHz

Fuente: Hucaby 2014:49

Los estándares 802.11n y 802.11ac utilizan además la banda 5 GHz, la cual está dividida en 4. Las bandas están divididas en canales que están separados 20 MHz.

En la siguiente figura se puede observar como está distribuida esta banda.

Figura 14: Esquema de canales en la banda 5 GHz

Fuente: Hucaby 2014:51

2.2.4 El estándar IEEE 802.15.4 (ZigBee)

Es un estándar de comunicaciones inalámbricas desarrollado por la ZigBee Alliance y tiene como objetivo a las aplicaciones que requieran comunicaciones seguras con baja tasa de transmisión de datos, y una maximización de la vida útil de las baterías.

Por lo tanto, es una tecnología ideal para redes domóticas, específicamente diseñado para reemplazar la proliferación de sensores/actuadores individuales. Fue creado por el grupo de trabajo IEEE 802.15.4, para cubrir la necesidad del mercado de un sistema de bajo costo, es decir, un estándar para redes inalámbricas de pequeños paquetes de información, bajo consumo, seguro y fiable.

Actualmente contamos con la versión ZigBee 3.0, la cual es la unificación de los estándares inalámbricos líderes del mercado de la ZigBee Alliance, en una única solución para todos los mercados y aplicaciones verticales. La solución ofrece una perfecta interoperabilidad entre la más amplia gama de dispositivos inteligentes, y ofrece a los consumidores y empresas acceso a productos y servicios innovadores, que trabajan de forma conjunta para mejorar nuestra vida diaria.

Según Mark Walters, vicepresidente de estrategia de la Alianza ZigBee, dice “La solución ZigBee 3.0 ha sido diseñada para ser fácil de implementar, comprar y usar. Un solo ecosistema completamente interoperable cubre todos los mercados verticales eliminando la necesidad de seleccionar entre perfiles específicos de la aplicación tales como; Domótica, Enlace Ligero, Construcción, Venta al por Menor, Energía Inteligente y Salud. Todos los dispositivos y clústeres PRO legados se implementarán en la solución 3.0. Se mantiene la compatibilidad hacia adelante y hacia atrás con los perfiles basados en PRO heredados.” (Walters 2017: 5).

Este estándar utiliza la especificación MAC / Phy IEEE 802.15.4 2011 que opera en la banda, sin licencia, de 2.4 GHz, lo que brinda acceso a los mercados mundiales.

En la siguiente tabla se muestra el historial de liberaciones de ZigBee.

Tabla 5: Historial de liberaciones de la especificación ZigBee

Versión	Principales características
ZigBee 2004	Liberación inicial, también conocida como ZigBee 1.0.
ZigBee 2006	Liberación septiembre 2006, introduce el concepto biblioteca de clústeres.
ZigBee 2007	Liberación octubre 2008. Contiene dos clases de perfiles.
ZigBee PRO 2007	ZigBee PRO fue una clase de perfil que fue lanzada en la versión de ZigBee 2007. ZigBee PRO proporciona funciones adicionales necesarias para implementaciones robustas, incluyendo seguridad mejorada
RF4CE versión 1.0 2009	RF4CE - Radio Frecuencia para Consumer Electronics, fue un estándar que estaba dirigido a aplicaciones audiovisuales. Fue adoptada por la Alianza ZigBee y la Versión 1.0 de la norma fue lanzada en 2009.
ZigBee 3.0 2015	Es la unificación de los anteriores estándares, diseñada para ser fácil de implementar, comprar y usar.

Fuente: Cano 2012: 46

2.2.4.1 Características generales

En este punto mencionaremos las características más importantes³¹:

- Velocidades de transmisión entre 20 kbps y 250 kbps.
- Alcance de hasta 50 m.
- Puede usar las bandas libres ISM de 2,4 GHz, 868 MHz y 915 MHz.
- Usa modulación de espectro expandido DSSS.
- Una red ZigBee puede estar formada hasta por 255 nodos, los cuales tienen la mayor parte del tiempo el transceiver ZigBee dormido con objeto de consumir menos energía que otras tecnologías inalámbricas
- Menor consumo de energía, ZigBee tiene un consumo de 30 mA transmitiendo y de 3uA en reposo, frente a los 40 mA de transmitiendo y 0.2mA en reposo de Bluetooth. Ideal para equipos a batería.

³¹ Cfr. Dignani, 2011:7

- Un sensor equipado con un transceiver ZigBee pueda ser alimentado con dos pilas AA durante al menos 6 meses y hasta 2 años.
- La fabricación de un transmisor ZigBee consta de menos circuitos analógicos de los que se necesitan habitualmente. 10% menos hardware que Bluetooth o Wi-Fi por lo tanto es menos costoso.
- Diferentes tipos de topologías como estrella, punto a punto, malla, árbol.
- Acceso al canal mediante la detección de portadora de acceso múltiple con prevención de colisiones (CSMA-CA)
- Agilidad de frecuencia, las redes cambian los canales en forma dinámica en caso de que ocurran interferencias.
- Utiliza 64 bits de direccionamiento, lo que determina una cantidad máxima de 1.8×10^{19} dispositivos.
- Usa 16 bits para identificar redes que determina un total de 65 536 redes.
- Seguridad, utiliza una variedad de mecanismos de seguridad como encriptación AES-128, control de claves y contadores de tramas.

2.2.4.2 Topologías

Se pueden reconocer tres dispositivos según su función en la red.

- **Coordinador (ZC):** Es el dispositivo más completo, debe existir uno por red y sus funciones son la de encargarse de controlar la red y las rutas que debe seguir los dispositivos para conectarse entre ellos. Requiere memoria y capacidad de computación.
- **Router (ZR):** Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.

- **Dispositivo final (ZED):** Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato.

Figura 15: Tipos de dispositivo según el papel que desempeñan

Fuente: Loyola y Becerra 2015: 8

Estos dispositivos también pueden organizarse según el siguiente argumento:

- **FFD** (Full Function Device). Este dispositivo con funcionalidad completa puede funcionar como coordinador, router o dispositivo final.
- **RFD** (Reduced Function Device). Tiene una implementación mínima del protocolo 802.15.4 y solo realiza funciones muy simples para lo cual se le envían mínimos flujos de datos. Únicamente funcionan como dispositivos finales. Pueden ser, por ejemplo, sensores de luz, infrarrojos, temperatura, u otros dispositivos con funcionalidad básica.

ZigBee soporta hasta tres tipos de topología de red: estrella, malla y árbol cómo se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 16: Topologías factibles de una red ZigBee

Fuente: Campos 2009: 13

Topología en estrella

Este tipo de redes se componen por un FFD funcionando como coordinador y varios FFD o RFD funcionando como dispositivos finales. Todos están directamente conectados al coordinador, el cual es el encargado de iniciar la red y gestionarla. Todas las comunicaciones entre los dispositivos finales pasan por el coordinador

Topología en malla

En este caso, si puede existir comunicación directa entre cualquier par de nodos. El coordinador no realiza funciones diferentes a las que realizan el resto de routers de la red, por lo que cualquiera las puede hacer, aumentando la fiabilidad de la red, por lo que cualquiera las puede hacer, aumentando la fiabilidad de la red. Con lo que se gana en flexibilidad para comunicar cualquier par de dispositivos a través de cualquier camino posible, sin embargo, esto conlleva a

mayor complejidad de la red, y un incremento de procesamiento que debe hacerse a nivel de red.

Topología en árbol

En este tipo de red los componentes se organizan en una estructura jerárquica. El coordinador o los routers, pueden tener dispositivos esclavos, los cuales puede ser otros routers o dispositivos finales.

Se recomienda en todos los casos de topologías que el coordinador y los router gocen de un suministro constante de energía, es decir este alimentados de forma cableada.

2.2.4.2 Arquitectura de ZigBee

Tomando como referencia el modelo OSI (Open Systems Interconnection), ZigBee cuenta solo con 4 capas con el fin de simplificar la arquitectura. Podemos mencionar que las dos primeras capas, la física y la de acceso al medio MAC, son definidas por la IEEE 802.15.4. Las capas superiores son determinadas por la alianza ZigBee y corresponden a las capas de red y de aplicación las cuales contienen los perfiles del uso, ajustes de seguridad y mensajería.

Estas capas a su vez poseen entidades que contienen una interfaz a su respectiva capa superior, por medio del punto de servicio de acceso (SAP), y cada SAP realiza un conjunto de servicios primitivos para lograr la funcionalidad requerida.

En la figura siguiente se muestran las capas e interfaces del protocolo ZigBee.

Figura 17: Modelo de la Arquitectura ZigBee

Fuente: Cervantes, 2015:38

La Capa Física

Esta capa provee la interface hacia el medio de transmisión y especifica dos servicios diferentes. El servicio de control de datos de radio, y la transmisión y recepción de unidades de datos del protocolo físico (PPDU). Además, gestiona el servicio de detección de energía en el canal, el cual a su vez realiza una evaluación de claridad del canal (CCA) antes de enviar los mensajes y proporcionar los indicadores de calidad de enlace (LQI) para los paquetes recibidos.

Esta capa posee una banda de uso obligatoria a 2.4 GHz y dos bandas de usos opcionales 868/915 MHz. Estas últimas presentan ventajas en cuanto a un bajo consumo de energía y rango de alcance, pero no son aceptadas mundialmente, por lo que la mayoría de fabricantes trabaja en la primera banda mencionada, donde se utiliza DSSS y una velocidad máxima de transferencia de datos de 250 kbps.

En la siguiente figura se observa los canales de radio asignados a cada frecuencia.

Figura 18: Canales de radio de 802.15.4

Fuente: Campos 2009: 14

- La banda de 868 MHz soporta solo un canal entre las frecuencias de 868 y 868.6 MHz, tiene una tasa de transmisión de hasta 20 kbps y utiliza una modulación BPSK (Binary Phase Shift Keying).
- La banda de 915 MHz soporta 10 canales entre las frecuencias de 902.2 y 908.0 MHz, con un espaciado entre canales de 2 MHz, tiene una tasa transmisión de hasta 40 kbps y también utiliza una modulación BPSK.
- La banda de **2,4 GHz** soporta **16** canales entre las frecuencias de 2.4 y 2.4835 GHz, con un intervalo entre canales de 5 MHz, posee una tasa de transmisión de hasta **250 kbps** y utiliza modulación O-QPSK (Offset Quadrature Phase Shift Keying).

En la siguiente figura se muestran algunas características de radio de ZigBee y otras tecnologías: La relación señal ruido (SNR), el indicador de la fuerza de la señal recibida (RSSI) y el llamado ruido de piso, versus la tasa de error binario (BER). Se puede apreciar en este caso que ZigBee es más tolerante o robusto pues

presenta menos errores cuando el SNR disminuye (hace más ruido), en comparación con Wi-Fi y Bluetooth.

Figura 19: Características de radio ZigBee

Fuente: Moreno 2007: 5

Por otro lado, esta capa utiliza paquetes PPDU para comunicarse. Los bits menos significativos (LSB) son siempre transmitidos y recibidos primero. El encabezado de sincronización (SHR) contiene el preámbulo y el campo de inicio del delimitador de tramas (SFD), los cuales ayudan a la sincronización del receptor. El preámbulo de 8 bytes solo contiene ceros y se usa para la sincronización. Los SFD contienen una secuencia específica de ceros y unos, y especifican el inicio de un paquete. El encabezado físico (PHR) contiene la longitud de la carga útil (payload). Los paquetes con una longitud de 9 o más bytes son unidades de datos del protocolo MAC (MPDU) y los paquetes con longitud 5 se utilizan para las confirmaciones de MPDU. El payload lleva consigo la trama MAC. Por último, un PPDU en la mayoría de aplicaciones de domótica tiene un tamaño de 30 a 60 bytes, sin embargo, esta puede alcanzar un tamaño máximo de hasta 127 bytes.³²

³² Cfr. Cervantes, 2015: 41

En la siguiente tabla se aprecia el formato de un paquete PPDU

Tabla 6: Formato de PPDU basado sobre la IEEE 802.15.4 standard

4 bytes	1 byte	1 byte		variable
Preamble	SFD	Frame length (7 bits)	Reserved (1 bit)	Payload
SHR (Synchronisation Header)		PHR (Physic Header)		PHY Payload

Fuente: Estándar IEEE 802.15.4

La Capa de Acceso al Medio (MAC)

Esta capa es la interface entre la subcapa de convergencia específica del servicio (SSCS) y la capa física. De igual manera que la capa anterior, esta admite dos servicios. El servicio de datos MAC, el cual es responsable de la transmisión y recepción de MPDU a través del servicio de físico de datos. Y el servicio de administración MAC (MLME), en donde si el dispositivo es un coordinador, gestiona las balizas de red. También es responsable de la asociación y disociación en la red, validación de tramas y reconocimiento, proporcionando un enlace confiable entre dos entidades MAC pares.

Esta capa utiliza **CSMA-CA** para acceder al canal y mantiene el mecanismo de ranuras de tiempo garantizado (GTS). Es decir, para que un dispositivo pueda acceder a un canal tendrá primero, que verificar si este está disponible para transmitir, si no, deberá inicial un periodo de espera aleatorio (back off) para volver a intentarlo.

Para esta capa se definen cuatro diferentes tipos de tramas: baliza o guía, datos, reconocimiento y tramas de comandos MAC. Todas estas tramas están basadas

sobre el formato general. El campo de control describe y especifica el tipo de trama. Cada trama MAC comprende un encabezado MAC (MHR), que consiste en un control de tramas, número de secuencia, y el campo de información. También contiene la carga útil (payload), diferentes tipos de tramas tienen diferentes campos MAC. El tipo de trama de reconocimiento no lleva una payload. Por último, cada trama incluye un campo de finalizado (MFR) que contiene una secuencia de verificación de trama (FCS). Los datos en el MPDU siguen el mismo orden que el PPDU, es decir el bit menos significativo transita primero.

Tabla 7: Formato de trama general MAC

Bytes:2	1	0/2	0/2/8	0/2	0/2/8	Variable	2
Frame	Sequence number	Destination PAN ID	Destination Address	Source PAN ID	Source Address	Frame Payload	FCS
		Addressing field					
MHR (MAC Header)						MAC Payload	MFR (MAC Footer)

Fuente: Estándar IEEE 802.15.4

Como se mencionó, se presentan cuatro tipos de tramas MAC. La trama de baliza o guía es transmitida periódicamente por el coordinador de la red. Esta proporciona información acerca de la administración de la red a través de la super trama y campos GTS. Esta también sincroniza los dispositivos de red y les indica el periodo de comunicación adecuado para estos. Por último, el identificador de trama de comando y los campos de payload son usados para la comunicación entre los dispositivos de red. El identificador de comandos especifica acciones como asociación, disociación, datos, GTS y solicitudes de señalización. En el anexo 3, se muestra esta trama y los otros tipos de trama en mención.

Servicio de asociación y des asociación de dispositivos

Para permitir que un dispositivo se pueda unir a una red ZigBee, se ejecuta un proceso de asociación, la cual es manejada por la capa de red y ejecutada por la capa MAC.

Para esto se usan 4 comandos o primitivas, controladas por la MLME.

- MLME-Associate.request
- MLME-Associate.indication (opcional para RFD)
- MLME-Associate.response (opcional para RFD)
- MLME-Associate.confirm

El proceso inicia cuando la capa de red del dispositivo no asociado solicita al coordinador de la red que desea unirse a su red, para lo cual le envía una lista de sus capacidades según este sea un FFD o RFD. Luego la capa MAC del dispositivo realiza el pedido hasta que llega a la MAC del coordinador, atravesando la capa física.

En la figura siguiente se muestra la secuencia de señales del proceso de asociación.

Figura 20: Secuencia de asociación de un dispositivo a la red

El proceso de desasociación puede ser iniciado por un dispositivo que quiere desconectarse de la red, o por el coordinador que desea excluirlo. En la figura siguiente se observa este proceso.³³

Figura 21: Secuencia de des asociación iniciada por dispositivo de la red

Fuente: Dignani 2011:18

El proceso donde el coordinador inicia la desasociación se muestra en la siguiente figura. Para ambos casos la secuencia termina con una señal de confirmación que recibe el iniciador del pedido.

Figura 22: Secuencia de des asociación iniciada por el coordinador de la red

Fuente: Dignani 2011:18

³³ Cfr. Dignani, 2011:18

La Capa de Red

Esta capa proporciona a ZigBee funciones para la constitución y gestión de redes, y una interfaz sencilla para relacionarla con las aplicaciones de los usuarios. Al igual que las capas anteriores posee dos servicios, uno de datos a través de la entidad de datos de la capa de red (NLDE), y otra de control mediante la entidad de manejo de la capa de red (NLME).

En esta capa se utilizan dos clases de direcciones:

1. Una dirección corta: Asignada de manera dinámica por el coordinador, son direcciones únicas de 16 bits a cada miembro de la red. Esta debe ser idéntica a la dirección corta (16 bits) de la MAC 802.15.4. Para esto emplea un rango que va desde 0x0000 hasta 0xffff en formato hexadecimal.

Ejemplo de dirección de un nodo:

0x1234 en hexadecimal, **0010010 00110100** en binario y **4660** en decimal

2. Dirección larga: Se usa de manera opcional, es asignada por el fabricante de los dispositivos, consta de 64 bits y es única para cada dispositivo.

Cada trama de red lleva un parámetro llamado radio que indica la cantidad máxima de saltos, el mismo que se va decrementando en uno por cada salto hasta llegar a cero, valor en el cual la trama será descartada. En esta capa se manejan 3 diferentes tipos de comunicación, las cuales son unicast, multicast y broadcast.

Tabla 8: Formato de trama de capa de red

Bytes:2	2	2	1	1	0/8	0/8	0/1	variable	variable
Campo de Control de trama	Dirección de destino	Dirección de origen	Radio	Número de secuencia	Dirección larga o IEEE de destino	Dirección larga o IEEE de origen	Campo de control multicast	Subtrama de ruta origen	Carga útil
Cabecera									

Fuente: Becerra 2010:65

Mecanismo de Enrutamiento

El tipo de enrutamiento utilizado por ZigBee es del tipo **vector distancia**, conocido (AODV), el cual es empleado por su simplicidad y bajo requerimiento de procesamiento. En este mecanismo cada router participa en la retransmisión de tramas desde una fuente de origen hacia un destino, manteniendo una tabla de enrutamiento para esto. En esta tabla se almacena como mínimo una distancia lógica hacia el destino y la dirección del siguiente salto. Al inicio esta tabla comprende a los nodos vecinos y solo aumentará cuando aparezca un nuevo nodo desconocido, para lo cual se envían mensajes de descubrimiento que se propagan entre los nodos hasta llegar al destino, el cual responderá realizando el camino inverso hasta el nodo de origen, finalmente todos los nodos actualizarán sus tablas. En el siguiente gráfico se ve muestra este mecanismo donde el nodo A desconoce una ruta hacia el nodo B.

Figura 23: Mecanismo de enrutamiento

La Capa de Aplicación

Es la capa más alta de ZigBee y contiene a los objetos de la aplicación desarrollados por los fabricantes para personalizar el dispositivo según sus diversas aplicaciones, pudiendo haber hasta 240 de estos objetos en un solo dispositivo. Estos objetos controlan y administran las capas inferiores.

Esta capa está conformada por la subcapa de soporte de aplicación (APS) y el objeto de dispositivo ZigBee (ZDO), que define el rol de un dispositivo dentro de la red.

La subcapa de soporte de aplicación (APS)

Esta presta básicamente dos servicios:

Descubrimiento: Encuentra que otros dispositivos están operando en la red.

Enlace: Relaciona dos o más dispositivos según sus necesidades y servicios y envía mensajes entre estos.

En esta subcapa de aplicación tenemos dos tipos de perfil, que se encargan de unificar el intercambio de datos en esta capa. Este perfil personaliza tipos de dispositivo, formato de mensajes y acciones y funciones que se emplearán en ciertas aplicaciones. Estos tipos son:

- Perfiles públicos: Desarrollados por la alianza ZigBee que ejecutan una tarea específica.
- Perfiles privados: Desarrollados por los fabricantes para operar un determinado dispositivo.

Los dispositivos dentro de un perfil se comunican entre sí mediante clústeres, que son mensajes previamente definidos. Cada clúster tiene ciertos atributos únicos. Por ejemplo, un clúster es dedicado al control de la iluminación y otro para el control de control de temperatura. Para esto utiliza los denominados, puntos

finales de aplicación, que funcionan a manera de puertos. Un nodo ZigBee puede tener hasta 240 puntos finales de aplicación, es decir puede realizar 240 funciones diferentes.

Asu vez, estos puntos de aplicación generan “enlaces” con otros puntos de aplicación. Estas conexiones pueden ser de tres tipos: ³⁴

- De uno a uno: Cuando un sensor se conecta a un solo nodo central.
- De muchos a uno: Cuando muchos sensores del mismo tipo se conectan a un nodo central.
- De uno a muchos: Cuando un interruptor controla muchas luminarias.

Figura 24: Tipos de enlaces entre puntos finales de aplicación (puertos)

Fuente: Dignani 2011:28

El objeto de dispositivo ZigBee (ZDO)

Este define el rol de un dispositivo en la red, ya sea como coordinador, enrutador o dispositivo final. Este inicia y/o responde a solicitudes de enlace y descubrimiento, y establece una relación segura entre los dispositivos de red. Además, proporciona un amplio conjunto de comandos de gestión definidos en el

³⁴ Cfr. Dignani, 2011:28

perfil, usados en la puesta en marcha, tales como realizar una búsqueda, explorar el canal o administrar la potencia de transmisión.

En la tabla siguiente podemos apreciar una estructura de la trama de aplicación de ZigBee, aclarando que cuando se usa la dirección de grupo, no se maneja la dirección de punto de acceso de destino, sino que todos los puntos asociados a esa dirección recibirán la misma trama. El campo contador APS se utiliza para evitar la recepción de tramas repetidas.

Tabla 9: Estructura de una trama de aplicación ZigBee

Bytes:1	0/1	0/2	0/2	0/2	0/1	1	variable	variable
Campo de Control de trama	Punto de accesos de destino	Dirección de grupo	Cluster ID	Perfil ID	Punto de accesos de origen	Contador APS	Extensión de cabecera	Carga útil
Cabecera								

Fuente: Becerra 2010:66

2.2.4.3 Aplicaciones en ZigBee

Como se explicó antes los protocolos ZigBee están definidos para su uso en aplicaciones embebidas con requerimientos muy bajos de transmisión de datos y consumo energético. Por lo tanto, puede utilizarse para realizar control industrial, albergar sensores empotrados, recolectar datos médicos, ejercer labores de detección de humo o intrusos, domótica, riego automatizado, etc. La red en su conjunto utilizará una cantidad muy pequeña de energía de forma que cada dispositivo individual pueda tener una autonomía de hasta 5 años antes de necesitar un recambio en su sistema de alimentación.³⁵

³⁵ Cfr. ZigBee Alliance 2017

En la siguiente figura podemos apreciar un esquema de control de iluminación empleando ZigBee, donde podemos ver que existen 3 controladores que operan como interruptores y 4 dispositivos finales que son las luces.

Figura 25: Esquema de una aplicación de iluminación con ZigBee

Fuente: Dignani 2011:5

En esta otra figura podemos apreciar las múltiples aplicaciones de esta tecnología según la información proporcionada por la ZigBee Alliance en su sitio web.

Figura 26: Aplicaciones de ZigBee

Fuente: ZigBee.com

2.2.5 Comparación de redes inalámbricas de corto alcance

En la siguiente tabla se observa cómo fueron desarrollándose en el tiempo las tecnologías Wi-Fi y ZigBee, involucradas en el presente trabajo.

Tabla 10: Comparativo evolutivo de las tecnologías inalámbricas Wi-Fi y ZigBee

Año	Wi-Fi	ZigBee

1997	<u>802.11</u> : La versión original del estándar IEEE 802.11 especifica dos velocidades de transmisión teóricas de 1 Mbps y 2 Mbps. El estándar original también define el mecanismo CSMA-CA.	
1999	<u>802.11a</u> : El estándar 802.11a utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original, opera en la banda de 5.1 GHz con una velocidad máxima de 54 Mbps. <u>802.11b</u> : Mejora del estándar con una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbps a 2.4 GHz.	
2003	<u>802.11g</u> : Mejora de la versión 802.11b con la incorporación del mecanismo OFDM y el incremento de la velocidad de transferencia a 54 Mbps.	<u>802.15.4</u> Liberación inicial, con frecuencia de operación a 868 MHz o 815 MHz.
2004		Liberación inicial, también conocida como ZigBee 1.0
2006		<u>802.15.4</u> Primera versión publicada. <u>ZigBee 2006</u> : Introducción del concepto librería Clúster
2007		<u>ZigBee PRO</u> : Perfil liberado en que se incluye medidas de seguridad adicionales.
2008		<u>ZigBee 2007</u> : Contiene dos clases de perfiles.
2009	<u>802.11n</u> Especificación para una alta transferencia de datos mediante la técnica de Múltiples Entradas y Múltiples Salidas, disponible en las bandas a 2.4 GHz y 5.1 GHz	<u>RF4CE versión 1.0</u> : Estándar liberado por la alianza ZigBee para control de dispositivos de forma remota.
2013	802.11ac Wave 1 Especificación para una alta transferencia de datos de hasta 1.3 Gbps.	
2015	802.11ac Wave 1 Especificación para una alta transferencia de datos de hasta 3.5 Gbps.	ZigBee 3.0 Es la unificación de las versiones anteriores, diseñada para ser fácil de implementar, comprar y usar.

Adaptado de Cano 2012: 46 y 64

En la siguiente tabla resumen podemos comparar, según sus principales características, tres populares tecnologías inalámbricas.

Tabla 11: Comparación de tecnologías inalámbricas de corto alcance

	IEEE 802.11 Wi-Fi	IEEE 802.15.4 ZigBee	IEEE 802.15.1 Bluetooth
Organización	Wi-Fi Alliance	Zig Bee Alliance	Bluetooth SIG
Bandas de frecuencia	2,4 y 5 GHz	2,4 GHz, 868/915 MHz	2,4 GHz
Técnica de transmisión	DSSS, OFDM, CCK	DSSS	FHSS
Modulación	BPSK/QPSK/QAM	BPSK/QPSK	GFSK
Tamaño de pila	1 Mb	20 kb	1 Mb
Tasa de transferencia	> 11 Mbps	250 kbps (2.4GHz) 40 kbps (915MHz) 20 kbps (868MHz)	3 Mbps
Número de canales	11 - 14	16 (2.4GHz) 10 (915MHz) 1 (868MHz)	79
Tipos de datos	Digital	Digital (texto)	Digital, audio
Rango de transmisión	100 m	10 m – 100 m	10 m
Número máximo de nodos	255	255/65535	8
Requisitos de alimentación	Media – horas de batería	Muy Baja - años de batería	Media – días de batería
Introducción al mercado	Alta	Baja	Alta
Arquitecturas	Estrella, Punto a Punto	Estrella, Árbol, Punto a Punto y Malla	Estrella, Punto a Punto
Aplicaciones	Redes de computadoras	Domótica	Redes de computadoras
Mercado de aplicación	Doméstico e industrial	Doméstico e industrial	Doméstico y oficina
Consumo y potencia	400mA transmitiendo, 20mA en reposo	30mA transmitiendo, 3uA en reposo	40mA transmitiendo, 0.2mA en reposo
Precio	Costoso	Bajo	Accesible
Complejidad	Complejo	Simple	Complejo

Fuente: Adaptado de Loyola y Becerra 2015:49, y otros autores.

2.2.6 Seguridad en redes inalámbricas

Como mencionamos en el punto del estado del arte, la seguridad es uno de los puntos más débiles de las WLAN. Pues al utilizar el aire como medio de transmisión para enviar datos a través de ondas de radio, cualquier persona podría interceptarlas. Los recursos para proteger la información dependerán de su valor, por lo general deberá permitir la autenticación, confidencialidad e integridad de los datos transmitidos.

Existen tres niveles de seguridad.

- **Cero:** suele aplicarse cuando se considera que la información transmitida no es valiosa. Se da en sistemas abiertos sin seguridad que permite un acceso WLAN gratuito a internet.
- **Básica:** Los elementos de interconexión suelen estar pre-configurados con algoritmos básicos de cifrado fáciles de romper. Es utilizado mayormente por usuarios domésticos y en aplicaciones poco críticas. Se da en los sistemas WEP (Wired Equivalent Privacy) y WPA personales (Wi-Fi Protected Access).
- **Avanzada:** Empleada en aquellos casos en que debe manejarse información muy importante. Se emplea en los sistemas WPA profesionales.

2.2.6.1 Acceso protegido Wi-Fi (WPA/WPA2)

Tanto WPA como WPA2 son variantes mejoradas de WEP que aumentan la seguridad de una clave compartida única con claves dinámicas o TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) y protegen las identidades de los usuarios o los

dispositivos mediante la autenticación con clave compartida PSK (Pre Shared Key), diversos certificados PKI (Public Key Infraestructure), como DNI-e, Open ID, etc. Servidores de autenticación RADIUS (802.1X), con los que se puede utilizar diferentes versiones del protocolo de autenticación extensible EAP (Extensible Authentication Protocol), como EAP-MD5, EAP-OTP, EAP-SIM, EAP-TLS, etc.

Además, se ha incorporado mejoras, con el cambio de algoritmo de encriptación RC4 por AES en los sistemas WPA2.

Este mecanismo de seguridad tiene dos modos o variantes:

- WPA Y WPA2 Personal, cuando se utiliza una clave compartida.
- WPA Y WPA2 Enterprise, cuando hay autenticación 802.1x.

En la siguiente tabla podemos apreciar los diferentes protocolos de seguridad

Tabla 12: Comparación de los diferentes protocolos de seguridad

Protocolo	Año de aparición	Algoritmo de encriptación	Clave secreta	Vector de inicialización	Integración de claves
WEP	1999	RC4	De 40 a 104 bits	24 bits	Ninguna
WPA	2001	RC4	De 64 a 128 bits	48 bits	EAP
WPA2	2005	AES	128 bits	48 bits	EAP

Fuente: Mifsud 2012: 243

2.2.7 Ventajas y limitaciones de las redes inalámbricas.

Sin duda existen algunas ventajas de las redes inalámbricas en relación con las redes cableadas. La principal ventaja que encontramos es la **movilidad**, es decir la capacidad que adquiere cualquier usuario de poder trasladarse fácilmente de un lugar a otro, sin perder el acceso a la red. Luego tenemos como otra ventaja a la **flexibilidad**, que quiere decir que podemos movernos de un punto a otro sin tener

que hacer ningún cambio en la configuración de la red. También tenemos a la **escalabilidad** que consiste en hacer crecer rápidamente la red, sin necesidad de tender cables, solamente adquiriendo tarjetas de red inalámbricas para los equipos. Finalmente, nos permite **reducir costos**, ya que no es necesario invertir en diseñar e implementar una red con cables.³⁶

En contrapuesta, lamentablemente también encontramos ciertas desventajas con relación a las redes cableadas. Una de ellas es la **velocidad**, por ahora las redes inalámbricas son lentas en comparación a las cableadas, pues las primeras operan mayormente a velocidades de entre 11 a 600 Mbps y las otras entre 10 y 10 000 Mbps. Otra desventaja es la baja **seguridad**, ya comentado en el punto anterior. Luego otro problema es la cobertura que está en función de la potencia de los equipos y la ganancia de la antena, y que además esta se ve mermada por los obstáculos y otras señales que interfieren con la transmisión de la señal.

2.3 LA TECNOLOGÍA DE ILUMINACIÓN LED

En esta parte del capítulo expondremos algunos conceptos fundamentales para conocer y entender la tecnología de iluminación LED, la cual utilizaremos como fuente de iluminación para la presente propuesta.

2.3.1 Definición de LED

LED proveniente del acrónimo en inglés light-emitting diodo o diodo emisor de luz, es una tecnología que ya tiene varias décadas de creada (1962), pero que, desde hace algunos años debido a su abaratamiento paulatino y la mayor toma de conciencia de la población en cuanto al tema del cambio climático, es ahora tomada muy en cuenta por la industria.

³⁶ Cfr. Salvetti, 2011: 29

Para definir esta tecnología podemos tomar el siguiente fragmento de un artículo de Greenpeace para definir qué es.

“Los Leds son dispositivos en estado sólido que generan luz de una manera radicalmente diferente a otras fuentes de luz. Las lámparas incandescentes simplemente calientan un filamento de metal (tungsteno) a miles de grados Celsius debido a su resistencia al paso de la corriente eléctrica. A esta temperatura el filamento emite luz, luz que se ubica en el área infrarroja del espectro lumínico, de ahí la ineficiencia de este tipo de lámparas. Las lámparas fluorescentes generan luz al pasar corriente eléctrica a través de vapor de mercurio, esta genera una excitación que hace al vapor de mercurio emitir luz ultravioleta (UV). La luz UV golpea el fósforo dentro de la lámpara que hace que ésta se vuelva fluorescente y produzca luz blanca visible. El proceso requiere de un balasto (dispositivo electrónico) para controlar el flujo de electricidad. En los Leds, un bajo voltaje de corriente continua (CC) circula a través de dos capas de material semiconductor. Esto resulta en la generación de fotones de luz de un reducido rango de frecuencias. El color de la luz depende del material semiconductor utilizado y del tipo de dopante (impurezas) que se le agregue. El semiconductor se aloja en una caja epoxi que además funciona como un sistema óptico (lente), que enfoca la luz producida. Para uso con la red de suministro eléctrico, se necesitan controladores electrónicos y convertidores de voltaje. El nivel de innovación tecnológica y de ingeniería involucrada en los Leds modernos es mucho mayor que en las fuentes convencionales de luz.” (GREENPEACE 2014: 2)

2.3.2 Componentes necesarios para su funcionamiento

Los LED originalmente fueron creados a base de la combinación de varios elementos como el fósforo, arsénico y galio, los cuales se hicieron crecer sobre un sustrato de arsénico y galio, para producir el LED rojo. Luego se incluyó al aluminio e indio bajo un método de inicios de los años noventa, llamado método de crecimiento epitaxial, con lo cual se pudo obtener los colores rojo y ámbar. Posteriormente, se utilizó otra mezcla de materiales denominada AlInGaN, la cual permitió conseguir crear los colores; verde, azul y ultravioleta (UV).³⁷

La estructura de un LED a nivel semiconductor posee distintas características y formas, pero principalmente tienen una estructura conformada por un sustrato que puede ser de zafiro, luego una capa formada por galio y arsénico (GaAs), la región activa formada por (aluminio, galio, indio y fósforo (AlGaInP) y encima otra capa de galio y fósforo (GaP).

³⁷ Cfr. Martínez 2012: 19

Para conocer un poco sobre su proceso de construcción podemos citar el siguiente fragmento:

“El proceso de construcción de los LEDs comienza a partir de una oblea de semiconductor (sustrato), sobre esta oblea se hace crecer una capa de semiconductor tipo “n”; sobre la capa tipo “n” se construye la “región activa”, que es en donde se lleva a cabo la recombinación electrón-hueco.

Finalmente se hace crecer la capa tipo “p”. Para la formación de estas tres capas se utilizan los métodos de crecimiento epitaxial antes mencionados. Una vez que la oblea ha sido terminada en la fase del crecimiento epitaxial de los semiconductores, entonces se raya y se corta en cientos de chips para poder probarlos uno a uno, con el fin de verificar su correcto funcionamiento. Ya que cada chip ha sido separado y probado, entonces son montados en el encapsulado, se le colocan las terminales de conexión y finalmente se le da el acabado colocando un encapsulado de silicón y el lente (epoxi).” (Martínez 2012: 22)

Cabe mencionar que el proceso citado es solo un modelo, porque en sí puede variar dependiendo del tipo de LED y de los materiales empleados en su fabricación.

2.3.3 Estructura interna de un diodo LED

Un diodo LED común se compone de las siguientes partes³⁸:

1. Lente que forma parte del. encapsulado o envoltura protectora del LED.
2. Encapsulado de resina epoxy (transparente o del mismo color de la luz que emite el chip).
3. Chip. o diodo semiconductor emisor de luz.
4. Copa reflectora.
5. Yunque.
6. Base.
7. Marca plana que identifica el terminal correspondiente al cátodo del chip.
8. Terminal de conexión externa negativo (–) correspondiente al cátodo (de tamaño más corto que el conectado al ánodo).

³⁸ Cfr. www.asifunciona.com

9. Terminal de conexión externa positivo (+) correspondiente al ánodo.
10. Alambre de oro muy fino conectado al ánodo del chip y al terminal positivo de conexión externa.

Figura 27: Diagrama de componentes de un LED

Fuente: www.asifunciona.com

2.3.4 Principio de funcionamiento del LED

Para poder comprender el principio de operación de los LEDs, es necesario tener presente que estos dispositivos son fabricados utilizando materiales semiconductores, y que estos materiales semiconductores se obtienen a partir del silicio.

En la tabla periódica de los elementos químicos se encuentra el silicio con el número atómico 14 y sus vecinos inmediatos son el galio (Ga), aluminio (Al), boro (B), carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P), arsénico (As) y germanio (Ge). El carbono, el silicio y el germanio poseen una propiedad única en su estructura electrónica, cada uno tiene 4 electrones en su órbita externa, lo que les permite combinar o compartir estos electrones con 4 átomos vecinos, formando así una malla cuadrículada o estructura cristalina. De esta forma no quedan electrones

libres, como en el caso de los conductores que poseen electrones libres en su última órbita que pueden moverse a través de los átomos formando así una corriente eléctrica.

Debido a sus características el silicio en estado puro es prácticamente un aislante. Para poder hacerlo conductor es necesario mezclarlo con pequeñas cantidades de otros elementos, a este proceso se le llama “dopaje”. Básicamente hay dos tipos de dopaje: dopaje “n” y dopaje “p”.

El dopaje “n” consiste esencialmente en mezclar el silicio con fósforo o arsénico en pequeñas cantidades. El fósforo y el arsénico tienen 5 electrones en su órbita externa, esto provoca que cuando se combina en una red de átomos de silicio, un electrón quede libre para moverse. Este hecho permite que una corriente eléctrica fluya a través del silicio dopado.

El dopaje “p”, conserva el mismo proceso descrito anteriormente, solo que en este caso el silicio se combina con boro o galio en pequeñas cantidades. Estos dos elementos tienen 3 electrones en su órbita externa por lo que al combinar cualquiera de ellos con el silicio, faltará un electrón.

Este electrón faltante ocasiona que se formen huecos en la red. Estos huecos permiten que circule una corriente a través del silicio dopado ya que dichos huecos son “tapados” por un electrón de un átomo vecino, claro que esto provoca que se forme un nuevo hueco en el átomo que desprendió dicho electrón; este proceso se repite por lo que se forma una corriente de huecos a través de la red.

Cuando se unen estos dos materiales y se polarizan conectándolos a una fuente de voltaje, conectando el borne positivo al silicio dopado tipo “p” y el borne negativo al silicio dopado tipo “n” (polarización directa), los electrones libres del silicio tipo “n” se repelarán con los electrones libres del borne negativo de la fuente de voltaje, por lo que los primeros se dirigirán a la zona de juntura.

En el borne positivo los huecos del silicio dopado tipo “p” se repelarán con los huecos del borne positivo de la fuente de voltaje, por lo tanto, los huecos del semiconductor se dirigirán a la juntura. En la zona de juntura los electrones y los huecos se recombinan formando así un flujo de corriente permanente.

Cuando un LED se polariza en forma directa, se produce una caída de tensión entre sus extremos, esta caída de tensión es un reflejo de la energía necesaria para que los electrones salten la juntura y es característica de cada tipo de material. Este valor se conoce como potencial de salto de banda (band-gap).

Se puede afirmar entonces que para sacar un electrón de su órbita necesitamos energía y que esta energía se pierde mientras el electrón recorre internamente el LED, esta energía perdida se transforma en energía radiante.

Si la energía requerida es pequeña, se tendrá que dicha energía se emitirá en ondas infrarrojas de relativamente baja frecuencia. En cambio, si el material necesitará más energía para que se produzca el paso de la corriente, las ondas que emitirá el diodo tendrán más energía y se pasará de emitir luz infrarroja a emitir luz roja, naranja, amarilla, verde, azul, violeta y ultravioleta.

En consecuencia, a más alta frecuencia, mayor será la caída de tensión en el LED. Por ejemplo, para un LED infrarrojo será de 1.3 V, para un LED rojo de 1.8 V, para un verde de 2.5 y para un azul de 4.3 V. Esta variedad de longitudes de onda se forma combinando los materiales anteriormente mencionados.

Figura 28: Fenómeno de electroluminiscencia en un LED.

Fuente: Martínez 2012:18

2.3.5 Tipos de LED

Dependiendo de la aplicación, los LED pueden clasificarse como se muestra en la siguiente figura.

Figura 29: Clasificación de los LED según su aplicación

Fuente: Martínez 2012: 13

2.3.3.1 Según su potencia de operación:

La corriente y el voltaje de polarización directa del Led determinan la potencia de operación del Led ($P = V \times I$), la cual está relacionada con la cantidad de flujo luminoso que emite el Led; a mayor potencia de operación el Led puede entregar mayor flujo luminoso (aunque esto no implica eficacia o eficiencia).

Según esto tenemos los siguientes tipos:

- LED indicador: Operan en un rango de 30 a 60 mW de potencia eléctrica.
- LED de potencia: Operan con una potencia eléctrica mayor o igual a 1W.
- LED de potencia media: LED con potencia menor a 1W, útiles para iluminación de espacios menores.

2.3.3.2 Según su longitud de onda:

La aplicación de los LED en iluminación donde requiere luz blanca o de diversos colores y donde se use radiaciones no visibles, sugiere la siguiente clasificación:

- Luz monocromática: Son los LED que emiten luz con una longitud de onda dominante (amarillo, azul, rojo, verde, etc.)
- Luz blanca: Se basan en el LED azul y la adición de fosfato para generar luz blanca. Esta también puede sub clasificarse como luz blanca y cálida.
- Radiación no visible: Son los LED que emiten radiación IR y UV.

2.3.3.3 Por tecnología de fabricación:

Si bien no todas las tecnologías LED tienen un nombre en especial, las más conocidas son las siguientes:

- LED: LED convencional, indicador o de potencia media.
- LED polímero (PLED, Polymer LED): Fabricados con un polímero, su principal atributo es adoptar la forma de una lámina flexible.

- LED orgánico (OLED, organic LED): Son fabricados a partir de un material orgánico, son muy eficientes, pero tienen poco tiempo de vida.
- Diodo láser de inyección, (ILD, Injection Laser Diode): LED que pueden emitir luz coherente (láser).

2.3.3.4 Por características específicas:

- Por su forma de encapsulado: LED cuadrado, rectangular, redondo (2, 5, 10 mm, etc.).
- Por forma de sus terminales: LED de montaje superficial (SMD, Surface mount device); LED de montaje de perforación.
- Por su direccionalidad: LED estándar, LED de luz direccional, LED de luz dispersa.

2.3.6 Partes de una lámpara LED de alta potencia luminosa

Las partes integrantes de una lámpara LED de alta potencia luminosa son las siguientes:

1. **Chip:** Constituye el elemento fundamental del LED, que no debe fallar en largo tiempo si este ha sido bien diseñado y los materiales utilizados son de calidad. Cuando el color de la capa de fósforo que recubre el chip es de color amarillo oscuro (ocre), emitirá luz “cálida” similar a la de una lámpara halógena de igual cantidad de lúmenes, con la diferencia que consumirá menos energía eléctrica en watt. En cambio, cuando la capa de fósforo que recubre el chip es de un color más claro (amarillo limón), emitirá entonces “luz fría” similar a la de una lámpara fluorescente común de tubo recto o circular, o de una LCF (lámpara compacta fluorescente) de similares características.

2. **Disipador de calor:** Este es un elemento imprescindible de utilizar en una lámpara LED de alta potencia luminosa. Su función es disipar la temperatura que se genera en el punto de unión o juntura del diodo LED cuando la lámpara se encuentra encendida, ayudando a mantenerla dentro de un de un rango adecuado. Un disipador mal diseñado puede ocasionar la destrucción del chip del LED.
3. **Controlador o “driver”.** - Su función es controlar el sistema electrónico de trabajo del LED de alta potencia luminosa. Este controlador permite que las lámparas LED de alta potencia luminosa puedan funcionar con corriente alterna (C.A) de la red eléctrica doméstica, en lugar de corriente directa (C.D.).
4. **Componente óptico.** - Puede proporcionar un mayor o menor ángulo de difusión de la luz, pues la que emite el LED se difunde, normalmente, de forma unidireccional.

Figura 30: Diagrama de componentes de un LED

Fuente: www.asifunciona.com

2.3.7 Comparación de lámparas LED con lámparas halógenas y filamento

En la actualidad contamos con gran diversidad de tecnologías para la iluminación, las cuales se dividen de la siguiente manera.

- **Lámparas de incandescencia:** basadas en un filamento y una cámara de vacío con gas inerte. Al pasar corriente eléctrica por el filamento, éste eleva su temperatura hasta el rojo vivo y de este modo emite radiaciones, las mismas que generan luz.
- **Lámparas de descarga gaseosa:** Estas funcionan mediante el uso de gases inertes y mercurio o sodio, según sea el caso. El gas inerte se debe excitar mediante la generación de una descarga eléctrica derivada de una alta diferencia de potencial, de tal modo que el gas se ionice y permita el flujo de electrones, estos desprenden energía que absorbe el mercurio o sodio (según el tipo de lámpara) transformándola en luz visible.
- **Electroluminiscencia:** Este tipo de lámparas funciona por principio fotoeléctrico, el cual consiste en la emisión de fotones al darse caídas de nivel en los electrones de los niveles de energía externos en el átomo, después de inyectársele energía de manera artificial a los electrones antes mencionados.

En la siguiente tabla se muestra a manera de resumen los porcentajes de radiación generados por cada una de las lámparas eléctricas.

Tabla 13: Radiación de las lámparas eléctricas

Tecnología	Luz Visible (%)	Conducción y convección	Infrarrojo (%)	Ultravioleta (%)
Lámparas incandescentes	10	20	70	0
Lámparas Fluorescentes	25	45	30	0
Lámparas Fluorescentes compactas	30	60	20	1
LED	30	70	0	0

Fuente: Martínez 2012: 73

En la siguiente tabla se muestra la comparación de eficiencia lumínica, tiempo de vida útil y el IRC (Índice de Rendimiento de Color), que es la capacidad de la luz para reproducir los colores, mientras más alto es el IRC mejor será la capacidad para reproducir los colores.

Tabla 14: Eficiencia lumínica, vida útil e IRC de lámparas de iluminación

Tecnología	Eficacia (lm/W)	Vida útil (horas)	IRC (%)
Lámparas incandescentes	15	1000	100
Lámparas Fluorescentes	60 – 10	7500 – 30 000	50 – 95
Lámparas Fluorescentes compactas	35 – 80	6000 – 15000	80
LED	> 75	20 000 – 100 000	> 90

Fuente: Martínez 2012: 73

2.3.8 Ventajas y desventajas de la tecnología LED.

Cómo en toda tecnología existen ventajas y desventajas, pero en este caso las primeras son mayores que las segundas, entre las cuales podemos mencionar como las más importantes su eficiencia, bajo consumo de energía (25%<) y vida útil³⁹. Para resumir estas presentamos la siguiente tabla, en la cual se muestra una lista de dichas ventajas y desventajas, en comparación a otras tecnologías de iluminación.

³⁹ Cfr. Martínez 2012: 50

Tabla 15: Ventajas y desventajas de las tecnologías de iluminación

Tecnología de iluminación	Ventajas	Desventajas
LÁMPARA INCANDESCENTES	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo - No necesita de un sistema de alimentación especial (balastro). - Máximo IRC 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja eficiencia - Fragilidad a impactos - Vida útil < 1000 horas
LAMPARAS FLUORESCENTES	<ul style="list-style-type: none"> - Alta eficiencia - Larga vida útil 	<ul style="list-style-type: none"> - Fragilidad a impactos - Necesita direccionamiento para enfocar la luz - Se desgasta al encender y apagar
LEDs	<ul style="list-style-type: none"> - Muy alta eficiencia y bajo consumo de energía. - Mayor vida útil de hasta 100 000 horas - Resistente a impactos - No emite longitudes de onda dañinas - No necesita direccionamiento - Puede producir luz blanca y de color. - Tamaño reducido - Fáciles de controlar y programar. - Rápida respuesta de encendido y apagado, ideal para aplicaciones donde se necesite conmutaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo relativamente elevado - Requiere de un suministro de corriente constante para un correcto funcionamiento

Fuente: MARTINEZ 2012: 74

2.3.9 Aplicaciones

Hoy en día existen muchos mercados que han adoptado esta tecnología por las ventajas presentadas en el punto anterior. Pero sin duda la que mayor uso ha tenido es en las áreas donde utilizan LEDs de color (monocromáticos). A continuación, describiremos las más conocidas.

- a. **Iluminación en vehículos:** Inicialmente fueron utilizadas en las luces de freno e intermitentes, luego se implementaron para el uso en los faros delanteros. Según una publicación del 2006 recopilada por un artículo de Greenpeace, se

estimaba que el mercado automotriz LED, crecería de \$650 millones en ese año a \$1300 millones en 10 años.⁴⁰

- b. **Alumbrado público y semáforos:** Es utilizada de manera exitosa tanto en semáforos y señales peatonales, debido a su mayor longevidad y eficiencia, ya que el cambio continuo de las luces provoca interrupciones y cuantiosos costos. Otra característica por la que es usada es que permite direccionar la luz, disminuyendo la contaminación lumínica.
- c. **Iluminación arquitectónica, publicitaria y decorativa:** Actualmente se la utiliza en la iluminación de edificios y monumentos históricos, para resaltar su estructura y/o belleza. También ya se utilizan en la industria publicitaria, reemplazando a las ya menos usadas lámparas de neón.
- d. **Pantallas electrónicas:** Esta es sin duda la aplicación más conocida, ya que ha permitido una reducción notable del tamaño de los equipos y ahora es utilizada en todos los dispositivos electrónicos modernos, como los teléfonos celulares, cámaras digitales, monitores de computadoras y pantallas de televisión, etc.

2.3.10 Focos o bombillas LED administrables

Son focos que permiten ser controlados a través de una aplicación en una computadora o dispositivo móvil. Sus principales características son:

- Permiten programar ciclos de luz
- Permiten aumentar o disminuir la intensidad de luz.

⁴⁰ Cfr. Greenpeace 2014: 9

- Permiten cambiar de color de luz.
- Permiten reducir el consumo energético.
- Permiten usar el parpadeo como aviso o alarma.
- Poseen conectividad inalámbrica.
- Permiten tener un control centralizado de la iluminación.
- Permiten el acceso y control a través internet.

2.3.10.1 Componentes y funcionamiento del sistema de iluminación administrable.

Según el fabricante los componentes difieren en el número de componentes y la tecnología inalámbrica a utilizar para interconectar el sistema. Así tenemos por ejemplo a Philips y Osram los más grandes productores de Europa que utilizan un coordinador central, y las tecnologías inalámbricas ZigBee y Wi-Fi. Por otro lado, tenemos a LG y Samsung que prescinden de un coordinador central, y utilizan Bluetooth y Wi-Fi, y ZigBee y Wi-Fi respectivamente.

Tomando como ejemplo la solución de Osram llamada Lightify, para hogares y Lightify Pro, de uso industrial tenemos los siguientes componentes. (Ver anexo 4).

- **El Gateway:** Es el corazón del sistema, es un dispositivo que permite controlar todas luminarias (hasta 50) y sirve de puente entre las tecnologías inalámbricas Wi-Fi y ZigBee. Este puede conectarse directamente al dispositivo móvil o hacia un router o access point.⁴¹

⁴¹ Cfr. Osram 2015; 13

- **La aplicación:** Es el software instalado en la computadora o dispositivo móvil, que sirve de interfaz para gestionar el sistema de iluminación.
- **El router:** Es el dispositivo que permitirá la conectividad con el resto de la red LAN y la salida hacia internet.
- **Las luminarias:** Son los dispositivos finales de iluminación.

En la siguiente figura se pueden observar un diagrama con los componentes del sistema de iluminación desarrollado por OSRAM.

Figura 31: Diagrama de componentes de sistema de iluminación LED administrable.

Fuente: Osram: 2015

2.4 METODO DE LAS CAVIDADES ZONALES

En esta parte del capítulo, explicaremos brevemente en que consiste esta metodología para el diseño de un sistema de iluminación interior, es decir el cálculo del número y disposición de las luminarias para la presente propuesta. En el tercer capítulo, se explica y desarrolla esta metodología de manera práctica en nuestro proyecto.

Este es un método muy utilizado en iluminación de interiores, y recomendado por la “Illuminating Engineering Society IES – USA”, y es considerado en Colombia a través de su reglamento técnico de Iluminación y alumbrado público (RETILAP).

El método básicamente consiste en dividir el espacio a iluminar en tres cavidades o espacios imaginarios, los cuales están divididos por 2 planos situados, uno a la altura de las luminarias y otro a la altura del plano de trabajo. Estas cavidades son llamadas de esta manera; cavidad del techo, cavidad del local y cavidad del piso.

En la siguiente figura se pueden apreciar estas cavidades.

Figura 32: Cavidades del local.

Fuente: Rodríguez y Alejandro: 2015, 24

Este método de diseño se basa en el cumplimiento de dos objetivos primordiales, para que el diseño sea exitoso. Estos son:

- **La Iluminancia promedio (lx):** Es el objetivo fundamental, el cual nos indica el nivel de iluminancia promedio que debe existir en toda el área.

- **Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI):** Este valor nos indica la eficiencia energética alcanzada por el diseño calculado, en otras palabras, cuantos luxes se produjeron con la potencia eléctrica de las lámparas. Se busca por lo tanto aquí la mayor producción de luz (lx) con el menor consumo de energía eléctrica.

En la siguiente figura se presenta de manera resumida el procedimiento a manera de algoritmo.

Figura 33: Algoritmo de diseño de las instalaciones de iluminación interior

CAPÍTULO 3: PLANIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

En este capítulo se describe el entorno, se identifican los requerimientos del cliente, se indican y justifican las especificaciones para el diseño de la solución, se plantea el diseño de la solución, detallando los criterios y consideraciones tomadas en cuenta para su elaboración.

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

La presente solución consistirá en el diseño de una red inalámbrica de focos LED administrables, los cuales podrán ser gestionados localmente o remotamente vía internet mediante el uso de una aplicación para dispositivos móviles.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO E IDENTIFICACIÓN DE LOS INTERESADOS

3.2.1 Descripción detallada del entorno

El escenario de la solución es la granja de gallinas ponedoras de la empresa, específicamente en los galpones donde estarán alojadas las aves. El proceso en el cual se intervendrá es en el de crianza de las gallinas en las etapas de levante y postura.

La ubicación geográfica de la granja es cercana al valle del río Chillón, la cual es un terreno principalmente agrícola, sin embargo, la granja se ubica en las faldas de un cerro, por lo que el terreno es seco compuesto de tierra y piedras.

Se puede acceder a la granja desde Lima por la carretera a Canta y luego desviarse y cruzar el río a la altura de Cocayalta para luego continuar por un camino de trocha.

En la imagen siguiente podremos apreciar a la granja y su entorno, líneas arriba descrito.

Figura 34: Vista aérea de la granja.

Fuente: Google Earth 2016

Respecto al acceso a servicios de telecomunicaciones se puede mencionar que existe cobertura de telefonía celular (2G), Internet móvil 2G y 2.5G, por parte de Movistar, además del servicio de telefonía fija ⁴². Claro en su web también señala que tiene cobertura 2G en la zona en mención. ⁴³

⁴² Cfr. www.movistar.com.pe/movil/cobertura-inalambrica

⁴³ Cfr. <http://cobertura.claro.com.pe/cobertura-movil-2g.php>

En la siguiente figura se observa los puntos de interconexión móvil de Telefónica en la zona, donde resalta en punto de Santa Rosa de Macas como el más cercano a la granja.

Figura 35: Cobertura de telefonía móvil de Telefónica del Perú.

Fuente: www.movistar.com.pe/movil/cobertura-inalambrica

En cuanto a la granja en sí, podemos mencionar que cuenta con 6 galpones de dimensiones: 10 m de ancho por 100 m de largo, y un galpón de 10 m de ancho por 50 m de largo. Además de dos almacenes principales, almacenes de alimentos auxiliares y la oficina administrativa. En la figura 31 se muestra un plano de la granja.

Respecto de los galpones estos están fabricados con materiales rústicos como madera, tela, arpillera de polipropileno y mallas como se puede apreciar en la figura del anexo 1.

El conocimiento de la distribución de los galpones, la arquitectura y los tipos de materiales empleados en su construcción, nos permitirán determinar la elección de la tecnología y equipos a utilizar.

En la siguiente figura se muestran en detalle las dimensiones del galpón.

Figura 36: Vista de corte del galpón.

Fuente: Elaboración propia

Figura 37: Vista de planta de la granja.

Fuente: Elaboración propia

Figura 38: Vista en 3D de una sección del galpón

En esta figura se aprecia la estructura de madera del galpón, la cual sirve de soporte para el techo y paredes de arpillera.

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Identificación de los Interesados

Los interesados del proyecto son principalmente los miembros de la empresa, el proveedor, y el ejecutor del presente proyecto.

Tabla 16: Registro de interesados.

	Nombre del Interesado	Organización	Categoría de interesado	Nivel interés	Nivel influencia
1	Gerente General: Darío Soto	Gramobier	Patrocinador	Alto	Alto
2	Gerente de Producción: Jorge Cuenca	Gramobier	Cliente	Alto	Alto
3	Responsable de Granja de Gallinas	Gramobier	Usuario	Medio	Medio
4	Directorio	Gramobier	Alta Dirección	Medio	Alto
5	Directorio	Tech Haus	Proveedor	Medio	Medio
6	Juan Contreras	UPC	Gestor del Proyecto	Alto	Medio

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se aprecia el nivel de interés e influencia de los interesados del proyecto, según su número correspondiente en la tabla anterior.

Figura 39: Nivel de poder e influencia de los interesados

Fuente: Elaboración propia

3.3 REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE

Cómo se mencionó en el capítulo 2, la iluminación juega un papel muy importante en el desarrollo de las aves y por ende el éxito de la campaña productiva. Es por esto por lo que la empresa requiere de una propuesta que le permita manejar de manera fácil y confiable su programa de iluminación.

A continuación, en la siguiente tabla se mencionan, describen y justifican los requerimientos del cliente:

Tabla 17: Requerimientos de la solución de iluminación.

N°	Requerimiento	Descripción	Justificación
1	Alimentación eléctrica	Voltaje usado en Perú (220V)	<ul style="list-style-type: none"> • Compatibilidad
2	Costo	Costo moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Permita realizar la inversión
3	Cambio de color (Blanca y Cálida)	Permitir hacer cambios rápidos en el color de las luces	<ul style="list-style-type: none"> • Prevención sanitaria y manejo de las aves.
4	Duración o vida útil	Mínima de 10 años	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar el reemplazo en el corto y mediano plazo
5	Encendido y apagado	Automático	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar error humano (olvido) • y mayor eficiencia del uso de la energía eléctrica
6	Escalabilidad	Capacidad de crecimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Permitir futuras ampliaciones
7	Flexibilidad	Permitir modificaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Permitir rápidas modificaciones
8	Garantía	Mínima de 1 año	<ul style="list-style-type: none"> • Reposición de equipos defectuosos
9	Gestión de la iluminación	Fácil manejo, centralizada, móvil y remota.	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora en la eficiencia de la gestión de la iluminación
10	Humedad de funcionamiento	Rango de humedad de Lima	<ul style="list-style-type: none"> • Permitir su adecuado funcionamiento
11	Intensidad de Luz	Debe contener el intervalo: 5 – 30 lx	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de las aves. • Facilitar operaciones de manejo por parte del personal.
12	Potencia eléctrica	Menor de 12 W por foco	<ul style="list-style-type: none"> • Ahorro de energía eléctrica
13	Programable	Permitir crear horarios de iluminación (día y hora)	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar errores humanos (olvido)
14	Seguridad	Permita restringir el acceso	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar intrusiones
15	Soporte técnico	24 * 7	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación rápida del sistema
16	Temperatura de funcionamiento	Rango de temperatura de Lima	<ul style="list-style-type: none"> • Permitir su adecuado funcionamiento

Fuente: Elaboración propia

3.4 ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

En este punto se indican y justifican las especificaciones para el diseño de la solución basados en los requerimientos del cliente y el entorno de trabajo.

Sistema de Iluminación

En la siguiente tabla se muestra las especificaciones para el sistema de iluminación.

Tabla 18: Requerimientos y especificaciones del sistema de iluminación.

Nº	Requerimiento	Especificación de diseño	Justificación
1	Alimentación eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> 100 – 240 V CA 	<ul style="list-style-type: none"> Compatibilidad eléctrica
2	Costo	<ul style="list-style-type: none"> CAPEX menor a US\$ 40 000 OPEX menor a US\$1000 	<ul style="list-style-type: none"> Viabilidad del proyecto
3	Cambio de Color	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura de color [2700 K – 6500 K] Vía software 	<ul style="list-style-type: none"> Manejo del color de la luz Gestión simple y remota
4	Duración o vida útil	<ul style="list-style-type: none"> Mayor de 10 000 horas de vida útil 	<ul style="list-style-type: none"> Evitar el reemplazo en el corto y mediano plazo
5	Encendido y apagado	<ul style="list-style-type: none"> Automático Vía software 	<ul style="list-style-type: none"> Evitar error humano Mayor eficiencia del uso de la energía eléctrica. Gestión simple y remota
6	Escalabilidad	<ul style="list-style-type: none"> Controlador con capacidad de gestionar 1 a 50 luminarias Controladores y luminarias actualizables vía software 	<ul style="list-style-type: none"> Capacidad de crecimiento
7	Flexibilidad	<ul style="list-style-type: none"> Controlador capaz de gestionar luminarias cálidas, y/o frías o de color 	<ul style="list-style-type: none"> Cambios rápidos y fáciles
8	Garantía	<ul style="list-style-type: none"> Mínima de 1 año 	<ul style="list-style-type: none"> Reposición de equipos
9	Gestión de la iluminación	Software: <ul style="list-style-type: none"> Interfaz gráfica. Capaz de un manejo global, por grupos o individual de las luces. Capaz de correr sobre un dispositivo móvil con sistema operativo Android o iOS. Acceso remoto a través de una red inalámbrica Wi-Fi y/o ZigBee Acceso a través de internet vía ADSL y/o red móvil 2G o superior. 	<ul style="list-style-type: none"> Gestión simple y remota
10	Humedad de funcionamiento	<ul style="list-style-type: none"> 0 – 90 % 	<ul style="list-style-type: none"> Permita su adecuado funcionamiento
11	Intensidad de Luz	<ul style="list-style-type: none"> 5 – 30 lx en toda su vida útil. Regulable vía software 	<ul style="list-style-type: none"> Manejo de las aves. Facilitar operaciones de manejo.
12	Potencia eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> Menor de 12 W por foco 	<ul style="list-style-type: none"> Ahorro en el consumo de energía eléctrica
13	Programable	<ul style="list-style-type: none"> Creación de horarios de iluminación por día y hora. Vía software 	<ul style="list-style-type: none"> Evitar errores humanos Gestión simple y remota
14	Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> Control de acceso a través de usuario y contraseña 	<ul style="list-style-type: none"> Evitar intrusiones
15	Soporte técnico	<ul style="list-style-type: none"> 24 horas, los 365 días del año 	<ul style="list-style-type: none"> Recuperación rápida del sistema
16	Temperatura de funcionamiento	<ul style="list-style-type: none"> 0 – 40° C 	<ul style="list-style-type: none"> Permita su adecuado funcionamiento

Fuente: Elaboración propia

Red Inalámbrica

La red que dará soporte al sistema de iluminación es predominantemente inalámbrica y está compuesta por los dispositivos de comunicaciones Wi-Fi y ZigBee. Las especificaciones sobre los equipos de red serán mejor precisadas luego del resultado del cálculo del número y disposición de las luminarias a emplear.

En la siguiente tabla se muestra las especificaciones para la red inalámbrica.

Tabla 19: Requerimientos y especificaciones de la red inalámbrica.

N°	Requerimiento	Especificación de diseño	Justificación
1	Arquitectura	<ul style="list-style-type: none">• Capaz de soportar arquitecturas tipo estrella, y malla	<ul style="list-style-type: none">• Usados por redes Wi-Fi y ZigBee
3	Cobertura (RSSI)	<ul style="list-style-type: none">• Mayor de – 85 dBm en toda el área requerida	<ul style="list-style-type: none">• Potencia que asegura una mínima tasa de transferencia de 1Mbps
4	Compatibilidad	<ul style="list-style-type: none">• IEEE 802.11a/b/g/n o superior• IEEE 801.15.4 2006 o superior	<ul style="list-style-type: none">• Fácil adquisición y reemplazo de equipos
5	Escalabilidad	<ul style="list-style-type: none">• Diseño de núcleo contraído• Access point capaz de manejar al menos 5 controladores• Equipos actualizables	<ul style="list-style-type: none">• Capacidad de crecimiento
6	Potencia eléctrica	<ul style="list-style-type: none">• Hardware con un máximo de consumo de 17 W	<ul style="list-style-type: none">• Ahorro en el consumo de energía eléctrica
7	Seguridad	<ul style="list-style-type: none">• Control de acceso mediante usuario y contraseña• Utilizar los protocolos (WPA o WPA2)• Dispositivos con firmwares actualizables	<ul style="list-style-type: none">• Evitar ataques o intrusiones
8	Tasa de transferencia	<ul style="list-style-type: none">• Mayor de 250 kbps	<ul style="list-style-type: none">• Tasa mínima para aplicaciones de domótica*

* Ver anexo 7

Fuente: Elaboración propia

Red guiada o cableada

La red estará compuesta por el cableado y los equipos de comunicaciones. El cableado debido al bajo tráfico que soportará la red tendrá una máxima velocidad de transmisión de 1000 Mbps. No se requerirá de blindaje en los cables porque estarán protegidos por tubos y/o canaletas existentes o por instalar según amerite. Se empleará PoE para reducir el tendido de cableado eléctrico. Las especificaciones sobre los equipos de red serán precisadas luego del resultado del cálculo del número y disposición de las luminarias a emplear.

En la siguiente tabla se muestra las especificaciones para el cableado.

Tabla 20: Requerimientos y especificaciones de la red cableada.

N°	Requerimiento	Especificación de diseño	Justificación
1	Tipo de cableado	<ul style="list-style-type: none">• 1000BASE-T• IEEE 802.3ab• UTP Categoría 5e	<ul style="list-style-type: none">• Bajo nivel de tráfico que se manejará.• Mayor compatibilidad
2	Power over ethernet (PoE)	<ul style="list-style-type: none">• IEEE 802.3af (15.4 W)	<ul style="list-style-type: none">• Disminuir el cableado eléctrico

Fuente: Elaboración propia

3.5 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

Tomando en cuenta el escenario planteado y las especificaciones requeridas en la etapa anterior. Se procederá a realizar un diseño previo basado en las especificaciones teóricas de los estándares involucrados, el cual posteriormente será validado en el capítulo 5, mediante herramientas de simulación y una prueba de concepto.

Proceso de diseño:

Etapa 1: Se realiza la evaluación del entorno y recolección de los requerimientos del cliente.

Etapa 2: Se determina el número de luminarias en cada galpón (dispositivos finales) y su disposición estratégica a fin de cumplir con los requerimientos de iluminación.

Etapa 3: Se determina el número de coordinadores o gateways, y su localización óptima, según el número de luminarias por galpón, para brindarles la mejor cobertura.

Etapa 4: Se calcula el número y tipo de access point en cada galpón, y se elige su localización óptima.

Etapa 5: Se determina la cantidad, ubicación y el tipo de switches a desplegar en toda la granja. Lo mismo que se hará con el router.

Etapa 6: Con la topología ya establecida y los dispositivos de la red ya localizados, se determina la cantidad de cable a utilizar y los lugares por donde pasará.

Etapa 7: Se asigna los canales Wi-Fi a los access point en la frecuencia de 2.4 GHz

Etapa 8: Finalmente, se asignan las direcciones IPv4 a los dispositivos que lo requieran.

Figura 40: Proceso de diseño del sistema de iluminación

Fuente: Elaboración propia

3.5.1 Determinación del número y localización de las luminarias

Para alcanzar el requerimiento de una intensidad luminosa de 5 - 30 lx, debemos calcular el número de focos LED a emplear, y la distribución de los mismos en cada galpón. Para realizar dicho cálculo aplicaremos el **método de las cavidades**, el cual vimos en el capítulo anterior.

Cálculo de las instalaciones de alumbrado:

▪ Parámetros de entrada:

Para asegurarnos estar dentro del rango solicitado (**5 – 30 lx**) estableceremos como objetivo de iluminación un 25% más del valor máximo, es decir 37.5 lx, lo que redondearemos en **38 lx**. Las dimensiones del local, la altura del plano de las luminarias, plano de trabajo y de piso (el mismo, porque las aves están en el suelo) se aprecian en la siguiente figura.

Figura 41: Vista de corte con luminarias

Fuente: Elaboración propia

- **Largo (l):** 100 m
- **Ancho (a):** 10 m
- **Altura de la cavidad del local (h):** 2.5 m
- **Luminaria:** El flujo luminoso del foco LED a evaluar es de 810 lm.
- **Índice de cavidad del local (k):** Para hallar este dato, utilizamos la siguiente fórmula

Donde:

a
 $l = \text{largo (m)}$
 $h = \text{altura (m)}$

$$k = \frac{5 * h(l + a)}{(l * a)} \quad (m)$$

Así tenemos entonces:

$$k = \frac{5 \text{ m} * 2.5 \text{ m} (100 \text{ m} + 10 \text{ m})}{10 \text{ m} * 100 \text{ m}} = 1.38$$

- Coeficiente de reflexión de techo, paredes, y suelo:

Para hallar estos valores se utilizará la siguiente tabla.

Tabla 21: Factor de reflexión del techo, paredes y suelo

	Color	Factor de reflexión
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	Claro	0.5
	Medio	0.3
Paredes	Claro	0.5
	Medio	0.3
	Oscuro	0.1
Suelo	claro	0.3
	oscuro	0.1

Fuente: Boix 2004

Debido a que el material de fabricación de las paredes es de arpillera de polipropileno de color blanco, el techo fabricado de estera y forrado interiormente con arpillera blanca y el suelo es de tierra.

Tenemos entonces:

- Reflexión del techo: Medio = 0.3
 - Reflexión de las paredes: Medio = 0.3
 - Reflexión del suelo: Oscuro = 0.1
- **Factor de utilización (η):** A partir del índice local y los factores de reflexión. Estos valores se encuentran tabulados y los suministran los fabricantes.

Tabla 22: Factor de utilización

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo											
		0.8			0.7			0.5			0.3		
		Factor de reflexión de las paredes											
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
0% 85 % $D_{max} = 1.1 H_m$ f_m	0.6	.37	.32	.29	.37	.32	.29	.37	.32	.29	.32	.29	.28
	0.8	.47	.42	.38	.46	.42	.38	.46	.41	.38	.41	.38	.37
	1.0	.54	.48	.45	.54	.48	.45	.53	.48	.45	.48	.45	.43
	1.25	.60	.56	.52	.60	.55	.52	.60	.55	.52	.54	.52	.50
	1.5	.66	.61	.57	.65	.60	.57	.64	.60	.57	.59	.56	.55
	2.0	.72	.67	.64	.71	.67	.64	.70	.66	.63	.66	.63	.62
	2.5	.76	.71	.68	.75	.71	.68	.73	.71	.68	.70	.67	.65
	3.0	.79	.75	.72	.78	.75	.71	.77	.73	.71	.72	.71	.69
	4.0	.82	.79	.77	.81	.79	.76	.80	.77	.75	.76	.75	.73
	5.0	.84	.82	.79	.83	.81	.78	.82	.79	.77	.78	.77	.75

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Fuente: Boix 2004

Con el índice de local (k) de 1.38 calculado, según la tabla el valor que le corresponde está entre 0.54 y 0.59, por lo que interpolando obtenemos 0.57

- **Factor de mantenimiento (f_m):** Este coeficiente depende del grado de suciedad ambiental del local y de la frecuencia de limpieza del local.

Tabla 23: Valores de f_m sugeridos por la Comisión Internacional de Iluminación

Frecuencia de limpieza (años)	1				2			
Condiciones ambientales.	P	C	N	D	P	C	N	D
Luminarias abiertas.	0,96	0,93	0,89	0,83	0,93	0,89	0,84	0,78
Reflector parte superior abierta.	0,96	0,90	0,86	0,83	0,89	0,84	0,80	0,75
Reflector parte superior cerrada.	0,94	0,89	0,81	0,72	0,88	0,80	0,69	0,59
Reflectors cerrados.	0,94	0,88	0,82	0,77	0,89	0,83	0,77	0,71
Luminarias a prueba de polvo.	0,98	0,94	0,90	0,86	0,95	0,91	0,86	0,81
Luminarias con emision indirecta.	0,91	0,86	0,81	0,74	0,86	0,77	0,66	0,57

P: Pure – Puro; **C:** Clean – Limpio; **N:** Normal; **D:** Dirty - Sucio

Fuente: CIE 2012

En este caso debido a que las luminarias estarán instaladas en los galpones, dónde existen muchas partículas de polvo, y el mantenimiento se realizara al terminar cada campaña (1.5 – 2 años), se opta por el valor de **0.59**.

- **Flujo luminoso (Φ_T):** Para el cálculo del flujo luminoso necesario se aplica la siguiente fórmula.

Donde:

E: iluminancia media o deseada (lux)

S: superficie del local (m^2)

η : factor de utilización

f_m : factor de mantenimiento

$$\Phi_T = \frac{E \cdot S}{\eta \cdot f_m}$$

Reemplazando tenemos:

$$\Phi_T = \frac{38 * 1000 m^2}{0.57 * 0.59} = 112\,994.35 \text{ lx}$$

- **Número de luminarias (N)**

Donde:

Φ_T : iluminancia deseada

n: focos por lámpara

Φ_L : flujo luminoso de la lámpara (lm)

$$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L}$$

Reemplazando:

$$N = \frac{112\,994.35}{1 * 810 \text{ lm}} = 139.50$$

Así tenemos que, redondeando son 140 luminarias las mínimas necesarias para satisfacer el objetivo planteado.

Luego de determinar el número de luminarias a emplear se deberá calcular el flujo luminoso real emitido por estas.

- **Flujo luminoso real (Φ real)**

Donde:

N: Número de luminarias requeridas
n: Número de focos por luminaria
 Φ_L : flujo luminoso de la bombilla (lm)

$$\Phi_{\text{real}} = N * n * \Phi_L$$

Reemplazando:

$$\Phi_{\text{real}} = 140 * 1 * 810 \text{ lm} = 113\,400 \text{ lm}$$

Teniendo ya calculado el flujo luminoso real se calcula la iluminancia promedio real

- **Iluminancia media real o promedio (E_m)**

Donde:

Φ_{real} : Flujo luminoso real
n: Número de focos por luminaria
 f_m : factor de mantenimiento
S: superficie del local (m^2)

$$E_m = \frac{\Phi_{\text{real}} * \eta * f_m}{S}$$

Reemplazando:

$$E_m = \frac{113\,400 * 1 * 0.59}{1000 \text{ m}^2} = 38.14 \text{ lx}$$

Este valor de iluminancia promedio encontrado es aceptable, pues es muy cercano al valor objetivo planteado (38 lx).

- **Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI)**

Donde:

P: Potencia activa requerida por el número de luminarias
S: Superficie del local (m^2)
 E_m : Iluminancia media

$$VEEI = \frac{P * 100 \text{ lx}}{S * E_m}$$

Reemplazando:

$$VEEI = \frac{(9.5 \text{ W} * 1 * 140) * 100 \text{ lx}}{1000 \text{ m}^2 * 38.14 \text{ lx}} = 3.487 \text{ W/m}^2 * 100 \text{ lx}$$

Este valor de VEEI es aceptable, pues está por debajo de los valores máximos permitidos. Ver anexo 6.

Emplazamiento de las luminarias.

Una vez que hemos calculado el número mínimo de lámparas procederemos a distribuir las sobre la planta del local. En los locales de planta rectangular las luminarias se reparten de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del local según las fórmulas.

Donde **N** es el número de luminarias

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N_{\text{total}}}{\text{largo}}} \times \text{ancho}$$

$$N_{\text{largo}} = N_{\text{ancho}} * \left(\frac{\text{largo}}{\text{ancho}}\right)$$

Reemplazando tenemos:

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{140}{100 \text{ m}}} \times 10 \text{ m} = 3.7$$

$$N_{\text{largo}} = 3.74 * \left(\frac{1000 \text{ m}}{10 \text{ m}}\right) = 37.4$$

Estos valores calculados son referenciales los cuales se deberán ajustar a la cantidad de focos necesarios. En este caso redondeando tendríamos que usar **4** focos por fila y

37 focos por columna, llegando a un total de 148 focos por galpón, es decir excediéndonos en 8 focos, por lo que para ajustarlo utilizaremos **35** en cada columna, teniendo así los **140** focos o lámparas.

La distancia entre luminarias en la columna será de 2.86 m, y la distancia entre las filas será de 2.50 m.

En la siguiente figura se muestra la ubicación de los focos en una sección del galpón.

Figura 42: Vista de planta de una sección del galpón con las luminarias

Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Determinación del número y localización de los Gateway

Los gateway son dispositivos que sirven de interface entre la red Wi-Fi y la red ZigBee por lo que deben cumplir con los estándares 802.11a/b/g/n y 802.15.4 respectivamente.

- **Número de Gateways**

Según la compañía Osram, tenemos que un gateway puede controlar hasta 50 luminarias, por lo que para controlar las 140 luces desplegadas en cada galpón necesitaremos de **3** de estos dispositivos, excepto en el Galpón 1, donde solo se necesita de 2 gateways por contar solo con 70 luminarias.

- **Localización**

Para definir su localización, se divide el área total del galpón **en 3 sub áreas iguales** una por cada gateway, de 33.33 m de largo por 10 de ancho. El gateway se ubicará al centro, para lograr una cobertura uniforme a todas las luminarias. Ver figuras 43 y 44.

- **Cobertura**

Según el estándar 802.15.4 el alcance teórico máximo de estos dispositivos es de 50 m o 100 m lineales, según la bibliografía que se consulte. Ver página 44 y 63, en este caso consideramos 50 m. Luego tenemos que en cada sub área, el punto más distante a cubrir esta dada por la distancia que hay entre el vértice de la sub área y el gateway (17.74 m). Al comparar ambas distancias, se observa que teóricamente se superaría las necesidades de cobertura en cada sub área y por consiguiente en todo el galpón. En la siguiente tabla y figura se puede apreciar mejor este cálculo.

Tabla 24: Cálculo de la cobertura del gateway para un área del galpón

Cobertura Teórica 802.15.4 (m)	Cobertura mínima Requerida (m)	Cobertura Sobrante (m)
50.00	Largo 16.67 Ancho 5.00 Radio 17.40	$50.00 - 16.67 = 33.33$ $50.00 - 5.00 = 45.00$ $50.00 - 17.40 = 32.60$

Fuente: Elaboración propia

Figura 43: Cobertura ZigBee requerida para una sub área del galpón

Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Determinación del número y localización de los Access Point

Estos equipos son los que transmiten la señal Wi-Fi a los galpones, los cuales son recepcionados por los gateways y los dispositivos móviles de los usuarios.

▪ Cantidad de Access Point

Según el estándar 802.11n, el alcance teórico de estos equipos es de 50 m a 100 m, según la bibliografía que se consulte, ver pag 63 (en este caso

tomaremos 50 m), y debido a que no existen paredes interiores que atenúen la señal, solo sería suficiente uno de estos. Sin embargo, para asegurar una mayor y mejor calidad de la cobertura a los alrededores de los galpones y por ende en toda la granja, emplearemos dos por cada galpón. Excepto en el primer galpón donde se utilizará solo uno, debido a que solo tiene la mitad de área respecto de los otros galpones (500 m²).

- **Localización**

Los access point estarán ubicados estratégicamente al centro del ancho del galpón, y a lo largo de manera equidistante entre los gateways, para lograr una cobertura uniforme. Ver figura 44.

- **Cobertura**

Según el estándar 802.11n el alcance teórico de estos dispositivos es de 50 m o 100 m, según la bibliografía que se consulte, ver página 63, (en este caso tomaremos 50 m). La distancia requerida es de 16.67 m, el cual es la distancia entre el access point y los gateways. Por lo que teóricamente se tendría la cobertura suficiente.

Tabla 25: Cálculo de la cobertura del access point

Cobertura Teórica 802.11.n (m)	Cobertura mínima Requerida (m)	Cobertura Sobrante (m)
50.00	Distancia del access point al gateway: 16.67	$50.00 - 16.67 = 33.33$

Fuente: Elaboración propia

- **Especificaciones principales que deben cumplir los access point**

Aquí cabe señalar que si bien solo bastaría con emplear un estándar de baja tasa de transferencia como puede ser el 802.11b (11 Mbps), debido a la baja

tasa de transferencia de ZigBee (ver anexo 7), las soluciones de iluminación gestionadas vía remota encontradas en el mercado trabajan con los estándares 802.11 **a/b/g/n**, básicamente para aprovechar las mejores tasas de transferencia y asegurar la compatibilidad con los access point.

Por otro lado, si en el futuro se desea incorporar otro tipo de aplicaciones en la red, se recomienda emplear equipos que puedan operar con mayores tasas de transferencia como 802.11 n (600 Mbps).

En la siguiente tabla se puede apreciar en resumen las características que debe tener el access point.

Tabla 26: Características técnicas de los access point

Nº	Característica	Especificación	Justificación
1	EIRP	<ul style="list-style-type: none"> Mínima de 19 dBm 	<ul style="list-style-type: none"> Cobertura de la señal
2	Frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> 2.4 GHz 	<ul style="list-style-type: none"> Compatibilidad
3	Ganancia de antena	<ul style="list-style-type: none"> Mínima de 1.8 dBi 	<ul style="list-style-type: none"> Cobertura de la señal
3	PoE	<ul style="list-style-type: none"> IEEE 802.3af 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del cableado
4	Potencia eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> Menor de 17 W 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del consumo de energía eléctrica
5	Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> WEP, WPA, WPA2 	<ul style="list-style-type: none"> Evitar ataques e intrusiones
6	Standars	<ul style="list-style-type: none"> IEEE 802.11 a/b/g/n 	<ul style="list-style-type: none"> Compatibilidad
7	Tasa de transferencia	<ul style="list-style-type: none"> Mínima de 11 Mbps 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor velocidad Escalabilidad

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se puede apreciar mejor las ubicaciones y coberturas requeridas para los gateways y access point dentro del galpón.

Figura 44: Plano de planta con la ubicación del access point y gateways

Fuente: Elaboración propia

3.5.4 Determinación del número y localización de los switches

Estos son los equipos que distribuyen las señales digitales a través de cables de par trenzado por toda la granja.

▪ Cantidad de Switches

Considerando la ubicación en el plano de los dispositivos a ser interconectados en la granja, la longitud máxima recomendada de cable UTP que puede ser tendido antes de debilitarse la señal (100 m), y a la vez minimizando el uso en metros de este cable, se determina que se requieren 5 de estos equipos.

▪ Localización

Su ubicación en la granja será como se describe en la tabla 27, considerando su posición en el plano.

En la figura 46 y 47, se aprecia mejor la disposición de los switches en el plano.

Tabla 27: Ubicación de los switches en la granja

Switch	Ubicación	Localización	Observaciones
SW1	Galpón 2	En el centro del galpón ▪ Al centro del largo (50 m) ▪ Al centro del ancho (5 m)	Enlaza al AP 1, AP 2 y SW 2
SW2	Galpón 2	▪ Al inicio del galpón (0.2 m) ▪ Al centro del ancho (5 m)	Enlaza al AP 3, SW 1, SW 3 y Router
SW3	Galpón 3	Esquina inferior derecha ▪ Al lado derecho (0.2 m) ▪ A la parte inferior (0.2 m)	Enlaza al AP 4, AP 5, SW2 y SW4
SW4	Galpón 4	En el centro izquierda del galpón ▪ Al centro del largo (50 m) ▪ Al lado izquierdo (0.2 m)	Enlaza al AP 6, AP 7, AP 8, AP 9 y SW 3
SW5	Galpón 6	En el centro del galpón ▪ Al centro del largo (50 m) ▪ Al centro del ancho (5 m)	Enlaza al AP 10, AP 11, AP 12, AP 13 y SW 4

Fuente: Elaboración propia

- **Especificaciones principales que deben cumplir los switches**

Tabla 28: Características técnicas de los Switches

N°	Requerimiento	Especificación de diseño	Justificación
1	Capacidad de conmutación	<ul style="list-style-type: none"> • 16 Gbps 	<ul style="list-style-type: none"> • Rápido reenvío
2	Densidad de puertos y tasa de transferencia	<ul style="list-style-type: none"> • 8 (100/1000 Mbps) 	<ul style="list-style-type: none"> • No se requiere de más, según el resultado del diseño
3	Potencia eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Menor de 7 W sin PoE • Menor de 130 W con PoE 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del consumo de energía
4	PoE	<ul style="list-style-type: none"> • 802.3af 	<ul style="list-style-type: none"> • Compatibilidad
5	Presupuesto PoE	<ul style="list-style-type: none"> • No menor de 50 W 	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentación suficiente de los puertos.
6	Puertos PoE	<ul style="list-style-type: none"> • No menor de 4 	<ul style="list-style-type: none"> • No se requiere de más, según el resultado del diseño
7	Tamaño de tabla MAC	<ul style="list-style-type: none"> • No menor de 4K 	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento de direcciones MAC
8	Tasa de transmisión	<ul style="list-style-type: none"> • No menor de 1.19 Mpps 	<ul style="list-style-type: none"> • Rápido reenvío de paquetes

3.5.5 El Router

Es el responsable de comunicar la red de la granja con otras redes e internet. Este será proporcionado por un proveedor de telecomunicaciones.

- **Cantidad de Routers**

Solamente se requiere de un solo dispositivo, para manejar el tráfico generado por la red. No se requiere redundancia, debido a que una caída de este solo cortará el acceso remoto (no crítico) al sistema.

- **Localización**

La localización de este dispositivo estará cercano al galpón 2, dentro de la oficina administrativa. Ver figura 46.

- **Características principales que debe cumplir el router**
 - El router podrá ser ADSL con un servicio de (1Mbps) o inalámbrico 2G (20 kbps – 473 kbps) o superior, pues existen ambas opciones en la zona, y satisfacen al ancho de banda requerido por el sistema de iluminación basado sobre la red ZigBee (250 kbps).
 - El equipo deberá tener de preferencia 2 o más puertos Ethernet de al menos 100 Mbps y access point incluido con señal Wi-Fi 802.11 a/b/g/n.
 - Potencia eléctrica: Menor de 17 W, para lograr ahorro de energía eléctrica.

3.5.6 El cableado de la red

Basado en el plano y las distancias entre los dispositivos de red, se necesitará de 867.30 m de cable UTP categoría 5E, como medio de transmisión entre los switches, los access point y el router de la granja. Ver anexo 11.

- **Consideraciones**
 - El cableado será de categoría 5e debido al bajo tráfico que soportará la red, por lo que con una máxima velocidad de transmisión 1000 Mbps, es suficiente. Esto también será suficiente pensando en otras posibles aplicaciones que pueda soportar la red.
 - El cableado estará protegido por tubos de PVC (Policloruro de vinilo) tanto en los tramos subterráneos entre los galpones (profundidad 30 cm), como en los internos dentro de los galpones.
 - Se tomará en cuenta para el despliegue las normas de cableado estructurado ANSI/TIA–568-c.2 y ANSI/TIA-569.

En el siguiente cuadro se resume la cantidad de los principales componentes de la red o del sistema de iluminación.

Tabla 29: Componentes principales de la red

	Componente	Función	Cantidad
1	Luces LED Inteligentes	<ul style="list-style-type: none"> • Proveen la luz requerida cumpliendo los requerimientos funcionales. 	910
2	Gateways	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositivos de interfaz entre la red Wi-Fi y red ZigBee. 	20
3	Access point	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Envían y reciben la señal inalámbrica a los gateways y dispositivos móviles. 	13
4	Switches	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Interconectan la red alámbrica 	5
5	Router	<ul style="list-style-type: none"> • Permite la conexión con internet 	1
6	Cableado UTP Categoría 5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Medio utilizado para la transmisión de las comunicaciones en la red cableada. 	867.30 m

Fuente: Elaboración propia

En la figura 45 se puede observar cómo queda la topología lógica de la red, en la figura 46 la topología física, y en la figura 47 un esquema del canalizado del cableado.

3.5.7 Asignación de canales en la banda de 2.4 GHz

Se trabajará con la frecuencia de 2.4 GHz debido a que ZigBee trabaja solo en esa frecuencia a nivel mundial. Para la asignación de los canales nos basaremos en dos criterios para evitar interferencias entre las señales de los equipos.

Figura 45: Topología lógica de la red de la granja (192.168.1.0/24)

Leyenda		
Red 192.168.1.0/24		
Símbolo	Total	Descripción
13	Access Point
5	Switch
1	Router
20	Gateway
1	Nube

Fuente: Elaboración propia

Figura 46: Topología física de la red de la granja

Fuente: Elaboración propia

Figura 47: Esquema del canalizado del cableado de la red de la granja

Fuente: Elaboración propia

1. La ubicación de los access points en la granja, definida en el diseño.
2. Rango de frecuencias usada por los canales Wi-Fi en la banda 2.4 GHz. Ver anexo 9.

Si bien ZigBee posee canales en la frecuencia 2.4 GHz (ver anexo 8). Existen al menos 2 canales, (25 y 26), los cuales no interfieren con los canales Wi-Fi de 2.4 GHz. Estos canales son asignados automática y óptimamente por el gateway a fin de evitar posibles interferencias. Por otro lado, los dispositivos ZigBee poseen un bajo ciclo de operación, por lo tanto, no utilizan un canal por mucho tiempo. Además, normalmente emplean bajos niveles de transmisión, lo cual minimiza una posible interferencia.

Luego de ese análisis tenemos los resultados en la siguiente tabla y figura:

Tabla 30: Distribución de canales y frecuencias de operación

Galpón	Equipo	SSID	Canal	Límite Inferior (MHz)	Límite Superior (MHz)
1	Access Point 1	Galpón 1	1	2401	2423
2	Access Point 2	Galpón 2A	6	2426	2448
	Access Point 3	Galpón 2B	11	2451	2473
3	Access Point 4	Galpón 3A	1	2451	2462
	Access Point 5	Galpón 3B	6	2426	2448
4	Access Point 6	Galpón 4A	1	2451	2462
	Access Point 7	Galpón 4B	6	2426	2448
5	Access Point 8	Galpón 5A	11	2451	2473
	Access Point 9	Galpón 5B	1	2451	2462
6	Access Point 10	Galpón 6A	1	2401	2423
	Access Point 11	Galpón 6B	6	2426	2448
7	Access Point 12	Galpón 7A	11	2451	2473
	Access Point 13	Galpón 7B	1	2451	2462

Fuente: Elaboración propia

Figura 48: Distribución de los canales Wi-Fi (2.4 GHz) en la granja

Fuente: Elaboración propia

3.5.8 Asignación de direcciones IP

Se trabajará con el protocolo IPv4 y la red a emplear será la 192.168.1.0 /24.

Los equipos que contarán con direcciones estáticas reservadas serán el router y los access point. Los switches no requieren una dirección pues no serán administrables. Para los dispositivos de usuario se utilizará el protocolo DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) gestionado por el router.

En la tabla siguiente se presenta dicha asignación de direcciones.

Tabla 31: Direccionamiento IP de los equipos

EQUIPO	DIRECCIÓN
Router	192.168.1.1
Access point 1	192.168.1.101
Access point 2	192.168.1.102
Access point 3	192.168.1.103
Access point 4	192.168.1.104
Access point 5	192.168.1.105
Access point 6	192.168.1.106
Access point 7	192.168.1.107
Access point 8	192.168.1.108
Access point 9	192.168.1.109
Access point 10	192.168.1.110
Access point 11	192.168.1.111
Access point 12	192.168.1.112
Access point 13	192.168.1.113

Fuente: Elaboración propia

3.6 ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓN DEL TRABAJO

Para la elaboración del diseño de la presente solución nos guiaremos del nuevo modelo de ciclo de vida de CISCO de tres fases: PBM (Plan Build Management) o planear, hacer y administrar.⁴⁴ En este caso el proyecto estará inmerso en la primera fase y parte de la segunda. Ver anexo 20.

Figura 49: EDT del Proyecto

Fuente: Elaboración propia

⁴⁴ Cfr. Bruno y Jordan 2017: 9

CAPÍTULO 4: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

En este capítulo se comparan las alternativas de hardware y software que podrían ser empleados. Se selecciona el más idóneo en función de los requerimientos del diseño realizado y justificando los criterios para dicha elección. Se determinan los recursos a emplear para la implementación, y finalmente se calcula el costo de la solución planteada.

4.1 COMPARACIÓN DEL HARDWARE Y SOFTWARE A EMPLEAR

Como se explicó, la solución de iluminación consistirá en el despliegue de una red inalámbrica de focos LED administrables, para lo cual debemos comparar equipos, de costo moderado, considerando el carácter experimental del proyecto. Estos equipos deberán ser lo más idóneos que satisfagan el diseño elaborado en el capítulo anterior.

4.1.1 Luces LED administrables

En este punto se comparan las dos alternativas más reconocidas y ofrecidas por empresas líderes en iluminación en el mundo.

En la siguiente tabla se presenta una comparación de las soluciones ofrecidas por las empresas Osram y Philips. Estas consisten en focos LED, el puente o gateway y el software o aplicación para móviles.

Tabla 32: Características de los sistemas de iluminación de Osram y Philips

Nombre Comercial	LIGHTIFY	HUE
Fabricante	OSRAM	PHILIPS

Foco o Bombillo LED		
Modelo	Classic A 60W	A19
Rosca	E27	E27
Potencia eléctrica	9.5 W	9.5 W
Tipo de bulbo	A60	A60
Vida útil	20 000 horas	25 000 horas
Encendido y apagado	Automático, instantáneo	Automático, instantáneo
Software actualizable	Si	Si
Potencia lumínica	810 lm	800 lm
Temperatura de color	2700 K – 6500 k	2700 K – 6500 K
Programable	Si	Si
Luz regulable	Si	Si
Colores	RGBW	16 millones
Precio	US\$ 29.00	US\$ 23.00
Gateway o Bridge		
Focos por gateway o puente	50	50
Consumo de energía	180 mA	300 mA
Estándar	ZigBee - Wi-Fi a/b/g/n	ZigBee - Wi-Fi a/b/g/n
Frecuencia	2405- 2480 MHZ	2400 - 2483.5 MHz
Conectividad al Access Point	Inalámbrica Wi-Fi	Cableada vía Puerto Ethernet
Dimensiones	5.96 – 5.96 – 8 cm	8.89 – 8.89 – 2.54 cm
Peso	50 g	227 g
Alimentación eléctrica	100- 240 V CA / 50 - 60 Hz	100- 240 V CA / 50 - 60 Hz
Temperatura de funcionamiento	0 – 40 °C	0 - 40 °C
Humedad de funcionamiento	0 – 90 %	0 - 90 %
Garantía	3 años	2 años
Precio	US\$ 35.00	US\$ 65.00
Software (aplicación móvil)		
Sistemas Operativo sobre los cuales puede operar	iOS 8.0 y Android 2.4, o superiores	iOS 8.0 y Android 2.3, o superiores
Precio	Gratis	Gratis

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Access Point

De acuerdo con los requerimientos planteados en el diseño, comparamos tres alternativas más aparentes.

Tabla 33: Principales características de los Access Point

Fabricante	LINKSYS	DLINK	TRENDNET

Gama	LinkSys Business	D-Link Business	Trendnet Indoor
Modelo	LAPN300	DAP-2330	TEW-755AP
Standars	IEEE 802.11 a/b/g/n	IEEE 802.11 a/b/g/n	IEEE 802.11 a/b/g/n
Frecuencia	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz
Tasa de transferencia	Hasta 300 Mbps	Hasta 300 Mbps	Hasta 300 Mbps
Ganancia de antena	1,8 dBi	3 dBi	2 x 4 dBi
EIRP	19.87 dBm	20 dBm	19 dBm
PoE	802.3af, 802.3at	802.3af	802.3af
Seguridad	WEP, WPA, WPA2, RADIUS	WEP, WPA, WPA2, RADIUS	WEP, WPA, WPA2, RADIUS
Consumo de energía	12.5 W	4.8 W	9.6 W
Garantía	5 años	5 años	3 años
Precio	US\$ 100	US\$ 115	US\$ 105

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Switches

De acuerdo con los requerimientos planteados en el diseño, comparamos tres alternativas más idóneas.

Tabla 34: Principales características de los Switches

Fabricante	LINKSYS	DLINK	TRENDNET

Gama	LinkSys Business	D-Link Business	
Modelo	LGS108P	DGS-1008P	TPE-T80H
Capacidad de conmutación	16 Gbps	16 Gbps	1.6 Gbps
Puertos	8 (10/100/1000 Mbps)	8 (10/10/1000 Mbps)	8 (10/100 Mbps)
Puertos POE	4	4	8
Presupuesto POE	50 W	52 W	125 W
Estándares POE	802.3af, 802.3at	802.3af	802.3af, 802.3at
Tasa de transferencia	Hasta 2000 Mbps (full duplex)	Hasta 2000 Mbps (full duplex)	Hasta 200 Mbps (full duplex)
Tasa de reenvío de paquetes	1.48 Mpps	1.48 Mpps	1.19 Mpps
Tamaño de tabla MAC	8K	4K	4K
Consumo de energía	7 W	6.2 W sin PoE 63.2 W con PoE	5.3 W sin PoE Máx 130 W con PoE
Garantía	5 años	5 años	3 años
Precio	US\$ 210	US\$ 200	US\$ 207

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Router

No se realiza una selección de un equipo en especial pues será provisto por el proveedor del servicio de internet. Sin embargo, se verificará que cumpla con los requisitos planteados.

4.2 SELECCIÓN DEL HARDWARE Y SOFTWARE A EMPLEAR

En este punto se evalúan los atributos de los productos comparados en el punto anterior a fin de seleccionar el más idóneo.

4.2.1 Luces LED administrables

Para la elección del sistema de iluminación se evalúan las características técnicas, de los focos, el puente o gateway, y el software o aplicación móvil.

En primer lugar, se realiza una evaluación técnica que es la de mayor peso ponderado en la evaluación (0.4), pues esta determina en cuanto la solución satisface los requerimientos técnicos.

En la siguiente tabla se muestra esta evaluación con un sistema de calificación basado en una escala del 1 al 5, donde 1 es el peor y 5 es el mejor.

Tabla 35: Evaluación técnica de las soluciones de iluminación

Nombre Comercial	PESO	LIGHTIFY	HUE	LIGHTIFY	HUE
Fabricante		OSRAM	PHILIPS	OSRAM	PHILIPS
Luz LED (foco)		Puntaje		Total	
Rosca	0.04	5	5	0.20	0.20
Potencia eléctrica	0.08	5	5	0.40	0.40
Vida útil	0.08	4	5	0.32	0.40
Software actualizable	0.04	5	5	0.20	0.20
Potencia lumínica	0.08	5	4.7	0.40	0.38
Temperatura de color	0.05	5	5	0.25	0.25
Luz regulable	0.08	5	5	0.40	0.40
Colores	0.05	5	5	0.25	0.25
El puente o gateway					
Focos por puente	0.08	5	5	0.40	0.40
Consumo de energía	0.06	5	4	0.30	0.24
Estándares inalámbricos	0.08	5	5	0.40	0.40
Frecuencia de operación	0.08	5	5	0.40	0.40
Conectividad al Access Point	0.07	5	3	0.35	0.21
Dimensiones y peso	0.01	5	3	0.05	0.03
Software (Aplicación)					
Sistemas operativos compatibles	0.06	5	5	0.30	0.30
Facilidad de uso	0.06	5	5	0.30	0.30
Total evaluación técnica	1.00			4.92	4.76

Fuente: Elaboración propia

El resultado de esta evaluación nos indica que ambas soluciones satisfacen los requerimientos técnicos, sin embargo, la solución de Lightify es ligeramente

superior, porque la conectividad entre el gateway y el access point es inalámbrica (Wi-Fi), mientras que en HUE es cableada (vía cable UTP), lo que implicaría instalar más infraestructura de cableado, y contar con más puertos en los switches.

En la evaluación general se evalúan, además, otros atributos importantes como el precio, la garantía, el prestigio del fabricante, etc. para tomar la decisión final sobre la elección.

Tabla 36: Evaluación general de las soluciones de iluminación

Nombre Comercial	PESO	LIGHTIFY	HUE	LIGHTIFY	HUE
Fabricante		OSRAM	PHILIPS	OSRAM	PHILIPS
Evaluación técnica	0.40	4.92	4.76	1.97	1.90
Precio	0.15	4.00	5.00	0.60	0.75
Fabricante	0.15	5.00	5.00	0.75	0.75
Escalabilidad	0.10	5.00	5.00	0.50	0.50
Soporte post venta	0.10	5.00	5.00	0.50	0.50
Garantía	0.10	5.00	4.00	0.50	0.40
TOTAL	1.00			4.82	4.80

Fuente: Elaboración propia

El resultado de esta evaluación es que no existen mayores diferencias significativas, pudiéndose usar una u otra opción, esto debido a que ambas soluciones provienen de empresas de gran prestigio, si bien Philips ofrece una solución algo menos costosa, la garantía que otorga Osram es mejor. Es así como la decisión se define más por el tema técnico. Por lo tanto, el equipo seleccionado es el de la empresa alemana Osram.

4.2.2 Access Point

Primeramente, se realiza una evaluación técnica que es la de mayor peso ponderado en la evaluación (0.4) pues esta determina en cuanto la solución satisface los requerimientos técnicos.

En la siguiente tabla se muestra esta evaluación con un sistema de calificación basado en una escala del 1 al 5, donde 1 es el peor y 5 es el mejor.

Tabla 37: Evaluación técnica de los access point

FABRICANTE	PESO	DLINK	LINKSYS	TRENDNET	DLINK	LINKSYS	TRENDNET
Modelo		DAP-2330	LAPN300	TEW-755AP	DAP-2330	LAPN300	TEW-755AP
Compatibilidad (Estándares)	0.20	5	5	5	1.00	1.00	1.00
EIRP	0.20	5	4.5	4.5	1.00	0.90	0.90
Frecuencia	0.15	5	4.5	4.5	0.75	0.68	0.68
Tasa de transferencia	0.15	5	5	5	0.75	0.75	0.75
POE	0.15	4.5	5	5	0.68	0.75	0.75
Seguridad	0.10	5	5	5	0.50	0.50	0.50
Consumo de energía	0.05	5	3	4	0.25	0.15	0.20
Total evaluación técnica	1.00				4.93	4.73	4.78

Fuente: Elaboración propia

El resultado de esta evaluación nos indica que las tres soluciones satisfacen los requerimientos, sin embargo, la solución de D-link es ligeramente superior, principalmente debido a su mayor EIRP (20 dBm). En la evaluación general se evalúan otros atributos importantes para tomar la decisión final sobre la elección.

Tabla 38: Evaluación general de los access point

FABRICANTE	PESO	DLINK	LINKSYS	TRENDNET	DLINK	LINKSYS	TRENDNET
Modelo		DAP-2330	LAPN300	TEW-755AP	DAP-2330	LAPN300	TEW-755AP
Evaluación técnica	0.40	4.93	4.80	4.78	1.97	1.92	1.91
Precio	0.15	4.50	5.00	4.80	0.68	0.75	0.72
Fabricante	0.15	5.00	4.50	4.00	0.75	0.68	0.60
Referencias	0.10	4.70	5.00	4.00	0.47	0.50	0.40
Soporte post venta	0.10	5.00	5.00	5.00	0.50	0.50	0.50
Garantía	0.10	5.00	5.00	3.00	0.50	0.50	0.30
TOTAL	1.00				4.87	4.85	4.43

Fuente: Elaboración propia

En esta evaluación no existen mayores diferencias significativas entre D-link y Linksys, debido a que ambas soluciones provienen de empresas reconocidas. D-Link tiene mayor reconocimiento como fabricante según el cuadrante mágico de Gartner 2015 (ver anexo 17), sin embargo, Linksys goza de una mejor referencia según las opiniones brindadas por colegas. Finalmente se eligió D-Link.

4.2.3 Switches

Primeramente, se realiza una evaluación técnica que es la de mayor peso ponderado en la evaluación (0.4) pues esta determina en cuanto la solución satisface los requerimientos técnicos.

En la siguiente tabla se muestra esta evaluación con un sistema de calificación basado en una escala del 1 al 5, donde 1 es el peor y 5 es el mejor.

Tabla 39: Evaluación técnica de los switches

FABRICANTE	PESO	DLINK	LINKSYS	TRENDNET	DLINK	LINKSYS	TRENDNET
Modelo		DGS-1008P	LGS108P	TPE-T80H	DGS-1008P	LGS108P	TPE-T80H
Capacidad de conmutación	0.25	5	5	3	1.25	1.25	0.75
Cantidad de puertos	0.20	5	5	5	1.00	1.00	1.00
Tasa de transferencia	0.20	5	5	3	1.00	1.00	0.60
POE	0.20	4	3.5	5	0.80	0.70	1.00
Consumo de energía	0.10	4	4	5	0.40	0.40	0.50
Tamaño de tabla MAC	0.05	5	5	3	0.25	0.25	0.15
Total evaluación técnica	1.00				4.70	4.60	4.00

Fuente: Elaboración propia

El resultado de esta evaluación evidencia que no hay una marcada diferencia entre las dos primeras, sin embargo, hay una ligera ventaja en el equipo de D-Link, principalmente por el mayor presupuesto en PoE (52 W) respecto a Linksys, y mejor tasa de transferencia (2000 Mbps) respecto a Trendnet.

Tabla 40: Evaluación general de los switches

FABRICANTE	PESO	DLINK	LINKSYS	TRENDNET	DLINK	LINKSYS	TRENDNET
Modelo		DGS-1008P	LGS108P	TPE-T80H	DGS-1008P	LGS108P	TPE-T80H
Evaluación técnica	0.40	4.70	4.60	4.00	1.88	1.84	1.60
Precio	0.15	5.00	4.80	4.90	0.75	0.72	0.74
Fabricante	0.15	5.00	4.50	4.00	0.75	0.68	0.60
Referencias	0.10	4.50	5.00	4.00	0.45	0.50	0.40
SopORTE post venta	0.10	5.00	5.00	5.00	0.50	0.50	0.50
Garantía	0.10	5.00	5.00	3.00	0.50	0.50	0.30
TOTAL	1.00				4.83	4.74	4.14

Fuente: Elaboración propia

El resultado de esta evaluación es que no existen mayores diferencias significativas entre D-link y Linksys, debido a que ambas soluciones provienen de empresas reconocidas. D-Link tiene mayor reconocimiento como fabricante, pero Linksys goza de una mejor opinión según las referencias brindadas por colegas. Finalmente se eligió D-Link.

4.3 RECURSOS HUMANOS A EMPLEAR

La empresa no cuenta con personal especializado en redes y comunicaciones, por lo que el personal necesario a contratar para la implementación es el siguiente:

- 1 gerente del proyecto
- 1 jefe de operaciones
- 2 técnicos en redes

A continuación, en la siguiente tabla se describen las funciones y competencias del personal.

Tabla 41: Personal a cargo del proyecto

Nombre del Rol	Gerente de proyecto
Funciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elaborar el plan de gestión del proyecto ▪ Supervisar y cerrar el proyecto ▪ Coordinar con los interesados
Educación	▪ Ingeniero de redes, electrónico o de sistemas.
Conocimientos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gestión de proyectos ▪ MS Project, MS Office
Habilidades	▪ Organización, comunicación, motivación y proactividad
Experiencia	▪ Como mínimo 3 años de experiencia en proyectos de redes.

Nombre del Rol	Jefe de operaciones
Funciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ejecutar y monitorear el proyecto ▪ Coordinar con los interesados
Educación	▪ Ingeniero de redes o electrónico
Conocimientos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redes y comunicaciones ▪ Instalaciones eléctricas e iluminación
Habilidades	▪ Organización, comunicación, motivación y proactividad
Experiencia	▪ Como mínimo 3 años de experiencia en instalación de cableado estructurado y redes inalámbricas.

Nombre del Rol	Técnico en redes
Funciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Instalación de cableado eléctrico y de redes ▪ Instalación y configuración de equipos de red ▪ Colaborar proactivamente frente a los obstáculos del proyecto
Educación	▪ Técnico en redes o electrónica
Conocimientos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redes y comunicaciones ▪ Instalaciones eléctricas
Habilidades	▪ Organización, comunicación, motivación y proactividad
Experiencia	▪ Como mínimo 2 años de experiencia en instalación de redes inalámbricas y cableado estructurado

Fuente: Elaboración propia

4.4 COSTO DE LA SOLUCIÓN

En primer lugar, se procede a estimar el monto de la inversión del nuevo sistema de iluminación, de acuerdo con los equipos y materiales requeridos por el diseño, y a la selección de hardware realizada. Luego se calcula el costo anual de operación del sistema.

En la siguiente tabla se muestra los equipos, materiales y sus respectivos costos, que forman parte de la solución propuesta, además del costo de implementación para su puesta en marcha.

Tabla 42: Inversión en activos e implementación

N°	Descripción	C.U	Cant	Total
		US\$	Unid	US\$/.
Inversión en Iluminación LED				
1	LIGHTIFY Classic A60 (Focos SmartLED)	26.00	910	23,660.00
2	LIGHTIFY Gateway	35.70	20	714.00
	<i>Sub Total</i>			24,374.00
Inversión en Networking				
3	Access point D-Link DAP-2330	115.00	13	1,495.00
4	Switch D-Link DGS-1008P	200.00	5	1,000.00
5	Router + Modem 3G	40.00	1	40.00
6	Cableado y canalizado (ver anexo 11 y 12)	1,218.11	1	1,218.11
10	Tablet	110.00	1	110.00
	<i>Sub Total</i>			3,863.11
Costo total de la inversión en activos				28,237.11
Costo de planificación y diseño				1,000.00
Costo de instalación, configuración y entrenamiento				2,000.00
Total Inversión				31,237.11

Fuente: Elaboración propia

En la tabla siguiente se muestran los costos de mantenimiento por año, para mantenerla operativa.

Tabla 43: Costo de operación anual

N°	Descripción	C.U	Cant	Total
		US\$	Unid	US\$
1	Soporte técnico (anual)	600.00	1	600.00
2	Servicio de internet (anual)	360.00	1	360.00
Total Gastos Operacionales				960.00

Fuente: Elaboración propia

4.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Ubicándonos en un escenario conservador en cuanto a las mejoras productivas esperadas, y que además existe una curva de aprendizaje. Se espera que el incremento en el número de huevos sea de 4 en los primeros 2 años, 5 en los 2 años siguientes y 6 al quinto año.

En la siguiente tabla se muestra el flujo de caja y los indicadores económicos esperados dentro de un escenario conservador.

Tabla 44: Flujo de caja

Escenario Conservador

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos por mejoras productivas*		11,125.73	11,125.73	13,907.16	13,907.16	16,688.60
Ingresos por ahorros de energía**		1,160.96	1,160.96	1,160.96	1,160.96	1,160.96
Gastos operativos		960.00	1,008.00	1,058.40	1,111.32	1,166.89
Inversión	-31,237.11					
Total	-31,237.11	11,326.69	11,278.69	14,009.72	13,956.80	16,682.67

Periodo de recuperación de la Inversión (años): **2.62**

Valor actual neto (VANE): **\$ 7,576.79**

Tasa interna de retorno (TIRE): **29.85%**

Fuente: Elaboración propia

Los resultados y detalles de este, y de otros dos escenarios planteados (optimista y pesimista) se muestran en el anexo 16.

CAPÍTULO 5: PRUEBAS, RESULTADOS Y VALIDACIÓN

En este capítulo se validó el diseño elaborado en el capítulo 3, para lo cual se realizaron tres pruebas. Primero una simulación vía software de la iluminación, luego una simulación de la cobertura de las señales inalámbricas en cada galpón y en toda la granja y finalmente una prueba de concepto del sistema de iluminación elegido.

5.1 SIMULACIÓN DE LA ILUMINACIÓN

Para la simulación, realizamos una prueba de la cantidad de lux recibida en las instalaciones, para lo cual usamos un software libre de diseño de instalaciones de iluminación, denominado “DIALux”. Según su web con este software puede diseñar, calcular y visualizar luz profesionalmente - habitaciones individuales, pisos enteros, edificios y escenas al aire libre. Puede planificar y diseñar utilizando los catálogos de luminarias electrónicas de los principales fabricantes de luminarias del mundo.⁴⁵

En este caso utilizamos la versión llamada DIALux Evo 7, y específicamente la funcionalidad cálculo de la iluminancia media real, para confirmar los resultados del diseño.

Procedimiento

1. En primer lugar, se colectan todos los datos técnicos que serán requeridos e ingresados en el software para la realizar la simulación, los mismos proporcionados y calculados en el punto 3.5.1.

⁴⁵ Cfr. www.dial.de

Los valores requeridos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 45: Parámetros y valores requeridos por el software

Parámetros	Valores
Largo del local	100 m
Ancho del local	10 m
Altura de las luminarias	2.5 m
Altura del plano de trabajo	0 m
Altura de la cavidad del local	2.5 m
Reflexión del techo	30 %
Reflexión de la pared	30%
Reflexión del suelo	10%
Factor de mantenimiento	0.59
Flujo luminoso del foco	810 lm
Número de focos calculados	140

Fuente: Elaboración propia

- En segundo lugar, se ingresan los valores al software y se elige el foco más parecido al elegido para el proyecto.

En las siguientes figuras se muestran algunas capturas de pantalla de este proceso.

Figura 50: Ingreso de datos al software

Terreno activo

Nombre
GALPON 1

Descripción
Galpón de gallinas ponedoras

☐ Crear outputs para este terreno

Perfil de usuario activo

Área Áreas de tránsito generales...

Aplicación Pasos para peatones, puntos...

(Info icon) Edición

Mantenimiento

☒ Global ☐ CIE 97:2005

Factor fijo de mantenimiento MF 0.59

Orientación de terreno

Local Lima

Longitud -77.10 °

Latitud -12.10 °

Orientación hacia el norte 0.00 °

Zona horaria (UTC-05:00) Bogotá, Lima, Quito, Rio Branco

Fuente: Elaboración propia

- Finalmente, se ingresa la disposición de las 140 luminarias (35 x 4) y el objetivo esperado para ejecutar la simulación (38 lx).

En la figura siguiente se presenta una vista general de la interface gráfica del DIALux Evo 7, donde se aprecia el plano de un galpón y la disposición de las luminarias.

Figura 51: Interface gráfica de trabajo del software DIALux Evo 7

Fuente: Elaboración propia

5.2 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DE LA ILUMINACIÓN

Luego de realizado el procedimiento anterior, el software nos dice que el valor de iluminancia media es de **30.8 lx**.

Figura 52: Resultado de la simulación

Fuente: Elaboración propia

Figura 53: Resultado de la simulación en 3D en el galpón

Fuente: Elaboración propia

Análisis:

El valor iluminancia media encontrado de **(30.8 lx)** satisface los requerimientos planteados al inicio del diseño **(5 - 30 lx)**. Si bien este valor es aceptable, es un poco diferente al valor calculado manualmente (38 lx), esto se debe a que el software maneja algunos otros parámetros adicionales y considera otros factores como la forma del techo, grosor del piso, localización geográfica del local, etc.

En cuanto a la simulación en 3D se puede apreciar la disposición de las luces en el galpón. También se muestran los valores de iluminancia recibidos por el suelo, expresadas mediante curvas Isolux. Por ejemplo, el área del piso que está más perpendicular al foco recibe la mayor cantidad de luz, por encima de los 40 lx.

En resumen, se puede concluir que el diseño de las instalaciones de iluminación (número y disposición de las luminarias) es correcto.

5.3 SIMULACIÓN DE LA COBERTURA DE LAS SEÑALES INALÁMBRICAS

Para la simulación, realizamos una prueba de cobertura de la señal, para lo cual usamos un software de planificación y diseño de redes inalámbricas, llamado “Ekahau Site Survey”. Según su web, este programa nos proporciona un estimado, en una vista de planta, de la cobertura actual de una red inalámbrica. También es capaz de realizar estudios predictivos que faciliten la planificación de la red inalámbrica, en la etapa previa al despliegue⁴⁶.

Para nuestro caso utilizamos la versión 5.1, y específicamente la funcionalidad de planeamiento predictivo para confirmar los resultados del diseño.

⁴⁶ Cfr. www.ekahau.com

Procedimiento

- 1 En primer lugar, se colectan todos los datos técnicos que serán requeridos e ingresados en el software para la realizar la simulación.

Los valores requeridos son:

a. La potencia isotrópica irradiada equivalente (EIRP)

En la tabla siguiente se muestra los valores proporcionados por los fabricantes, en dbm, los cuales fueron transformados a mW, por ser la unidad con que trabaja el programa. Se utilizó la siguiente fórmula.

$$P(mW) = 1mW \cdot 10(P(dBm)/10)$$

b. La altura a la que estarán los dispositivos

En este caso es de 3 m, que es la altura de la viga sobre las paredes del galpón

Tabla 46:

Valores de EIRP y altura de instalación de los dispositivos

EQUIPO	POTENCIA mW	POTENCIA dBm	ALTURA m
Access Point: D-Link DAP-2330	100.00	20.00	3.0
Gateway: Lightify (Wi-Fi)	87.10	19.40	3.0
Gateway: Lightify (ZigBee)	9.14	9.61	3.0
Lámpara: Lightify (ZigBee)	5.16	7.13	2.5

Fuente: Elaboración propia

c. La verticalidad de la antena

En este caso es de 90° respecto al piso. “⊥”

d. La forma de expansión de la señal

En nuestro caso será de forma casi circular por ser una antena omnidireccional (ver anexo 4 y 22).

Figura 54: Carga del plano y despliegue de los dispositivos inalámbricos.

Fuente: Elaboración propia

- 2 En segundo lugar, se cargan los planos del galpón y de la granja que sirven como plantilla, para delimitar las paredes exteriores, según el tipo de material del que está hecho, a fin de conocer el grado de absorción de la señal. En este caso se usó la más baja (1dB).
- 3 En tercer lugar, se insertan los dispositivos inalámbricos según la ubicación señalada en el diseño, y luego se ingresan los respectivos valores recogidos en el punto uno, a cada uno de estos.
- 4 Finalmente, se selecciona el rango en dBm para crear la escala de fortaleza de la señal. En nuestro caso utilizamos el intervalo de <-85 a $-20 \geq$ dBm. El resultado final es representado mediante una gama de colores, donde las áreas con tonalidades verdes, naranjas y rojas no indican que la señal es buena, regular y baja, respectivamente.

Valores referenciales para la evaluación de los resultados

Para poder comparar los resultados obtenidos nos valdremos de los valores referenciales proporcionados por el software Ekahau y los datos proporcionados por D- Link para su access point.

En la siguiente tabla se resumen los principales valores de sensibilidad del receptor.

Tabla 47: Valores de sensibilidad del receptor del access point

Estándar	Potencia (dBm)	Ratio (Mbps)
IEEE 802.11b	-80	2
IEEE 802.11b	-76	11
IEEE 802.11g	-82	6
IEEE 802.11g	-81	9
IEEE 802.11g	-79	12
IEEE 802.11g	-77	18
IEEE 802.11g	-74	24
IEEE 802.11g	-70	36
IEEE 802.11g	-66	48
IEEE 802.11g	-65	54

Estándar IEEE 802.11N

2.4 GHz / HT-20	Mbps	2.4 GHz / HT-40	Mbps
-82 DBm at MCS0 / 8	6.5	-79 DBm at MCS0 / 8	15
-79 DBm at MCS1 / 9	13	-76 DBm at MCS1 / 9	30
-76 DBm at MCS2 / 10	19.5	-74 DBm at MCS2 / 10	45
-74 DBm at MCS3 / 11	26	-71 DBm at MCS3 / 11	60
-70 DBm at MCS4 / 12	39	-67 DBm at MCS4 / 12	90
-66 DBm at MCS5 / 13	52	-63 DBm at MCS5 / 13	120
-65 DBm at MCS6 / 14	58.5	-62 DBm at MCS6 / 14	135
-64 DBm at MCS7 / 15	65	-61 DBm at MCS7 / 15	150

Fuente: D-Link.com.tr

Tabla 48: Valores de potencia, ratio de datos y perdida de paquetes según Ekahau

REQUERIMIENTO	POTENCIA DE LA SEÑAL dBm (al menos)	RATIO DE DATOS Mbps (al menos)	PAQUETES PERDIDOS % (no más de)
Basic Connectivity	-85	1	10
Email/web	-75	2	10
Healthcare	-65	11	5
High speed, High use	-75	11	5
High speed connectivity	-75	11	5
Latency sensitive applications	-75	5.5	3
Location Tracking	-62	2	5
Voice	-70	5.5	5
Voice: Cisco 802.11 abg	-67	11	2

Fuente: Ekahau 5.1 software

Para nuestro caso se utiliza los valores de referencia más bajos (Basic connectivity), tanto en potencia como en ratio de datos, debido a que el requerimiento de esta aplicación ZigBee, es alcanzar una potencia de la señal en el área que brinde al menos 250 kbps, como se vio en el marco teórico.

5.4 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE LA COBERTURA DE LAS SEÑALES INALÁMBRICAS

Luego de realizar la simulación con el software los resultados obtenidos son los siguientes.

5.4.1 Cobertura de la señal inalámbrica ZigBee del foco LED inteligente.

Para evaluar la cobertura del dispositivo, se tomó como referencia el punto, más lejano de su respectivo gateway. En este caso se representa a un foco ubicado en una de las esquinas del galpón.

Resultado:

Según el resultado de la simulación tenemos que, la potencia de la señal en el lugar donde encuentra ubicado el gateway tiene en un rango entre **-75 dBm y - 70 dBm**.

Análisis:

El rango encontrado supera el valor mínimo requerido – **85 dBm** proporcionado por Ekahau, para tener al menos 1 Mbps de tasa de transferencia. Esto confirma que la potencia de la señal del foco es suficiente para el escenario planteado y su localización es adecuada.

En la figura siguiente se muestra el resultado arrojado por el software sobre la cobertura de la señal inalámbrica ZigBee de este dispositivo, donde las áreas de colores representan la fortaleza de la señal en dBm.

Figura 55: Cobertura de la señal ZigBee del foco

Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Cobertura de la señal inalámbrica ZigBee del Gateway.

Para evaluar la cobertura del dispositivo, se tomó como puntos de referencia los focos, más lejanos. En este caso los ubicados cerca de las esquinas del galpón y entre los gateways.

Resultado:

Según el resultado de la simulación tenemos, que la potencia en el lugar donde se encuentran ubicados los focos más distantes se encuentra en un rango entre **-70 dBm y - 65 dBm**.

Análisis:

Estos valores encontrados son favorables debido a la muy baja atenuación de la señal, producto de la inexistencia de paredes interiores y solo la presencia del equipamiento del galpón. El rango hallado supera el valor mínimo requerido – **85 dBm** según Ekahau, para tener al menos 1 Mbps de tasa de transferencia. Por lo tanto, podemos confirmar que la potencia de la señal del gateway es suficiente para el escenario planteado y su localización es adecuada.

En la siguiente figura se muestra el resultado arrojado por el software sobre la cobertura de la señal inalámbrica ZigBee de este dispositivo, donde las áreas de colores representan la fortaleza de la señal en dBm.

Figura 56: Cobertura de la señal ZigBee de los gateways

Fuente: Elaboración propia

5.4.3 Cobertura de la señal inalámbrica Wi-Fi del Gateway.

Para evaluar la cobertura del dispositivo, se tomó como puntos de referencia a los access point, por ser los que van recibir las señales Wi-Fi 802.11n de los gateways.

Resultado:

Según el resultado de la simulación tenemos que la potencia en el lugar donde encuentran ubicados los access point, se encuentra en un rango entre **-60 dBm y -55 dBm**.

Análisis:

Estos valores encontrados son favorables debido a la muy baja atenuación de la señal, debido a la inexistencia de paredes interiores y solo la presencia del equipamiento del galpón. El rango hallado supera el valor mínimo requerido lo que supera el mínimo valor requerido – **85 dBm** según Ekahau, para tener al menos 1 Mbps de tasa de transferencia. Por lo que podemos confirmar que la potencia de la señal del gateway para el escenario planteado es suficiente y su localización es adecuada.

En la siguiente figura se muestra el resultado arrojado por el software sobre la cobertura de la señal inalámbrica Wi-Fi de este dispositivo, donde las áreas de colores representan la fortaleza de la señal en dBm.

Figura 57: Cobertura de la señal Wi-Fi del gateway

Fuente: Elaboración propia

5.4.4 Cobertura de la señal inalámbrica Wi-Fi del access point.

Para evaluar la cobertura del dispositivo, se tomó como puntos de referencia a los gateways, por ser los que van a recibir las señales Wi-Fi 802.11n del access point.

Resultado:

Según el resultado de la simulación tenemos que la potencia en el lugar donde se encuentran ubicados los gateways más alejados, se encuentra en un rango entre **- 60 dBm y - 55 dBm.**

Análisis:

Estos valores encontrados son favorables debido a la muy baja atenuación de la señal, producto de la inexistencia de paredes interiores y solo la presencia del equipamiento del galpón. El rango encontrado supera el valor mínimo requerido lo que supera el mínimo valor requerido – **85 dBm** según Ekahau, para tener al menos 1 Mbps de tasa de transferencia. Según D-Link, entre esos valores de potencia tendríamos una tasa de al menos 54 Mbps y 150 Mbps si se usan los estándar g y n respectivamente. Por lo que podemos confirmar que la potencia de la señal del access point es suficiente para el escenario planteado y su localización es correcta.

En la siguiente figura se muestra el resultado arrojado por el software sobre la cobertura de la señal inalámbrica Wi-Fi de este dispositivo, donde las áreas de colores representan la potencia de la señal en dBm.

Diagrama de cobertura de una red de acceso inalámbrico. Se muestran tres puntos de acceso (Access Point) etiquetados como "Gateway" y dos dispositivos móviles etiquetados como "n1" y "n6". Las líneas de cobertura se extienden desde los puntos de acceso, mostrando niveles de potencia de señal. Un recuadro amarillo indica: "Potencia de la señal: -60 dBm - -55 dBm". En la parte inferior, una leyenda muestra los símbolos para "Dispositivos de la Red" y una escala de potencia de señal que va desde -85,0dBm hasta $\geq -20,0\text{dBm}$.

148

5.4.5 Cobertura de la señal inalámbrica Wi-Fi en toda la granja.

Para evaluar la cobertura de los dispositivos, se tomó en cuenta a los 13 access point, y el router de la oficina con funciones de access point (EIRP 20 dBm) proporcionado por el proveedor de internet

Resultados:

Según el resultado de la simulación tenemos que la potencia a los alrededores de los galpones (área naranja), se encuentran en un rango entre **-75 dBm y - 65 dBm**,

Análisis:

Estos valores encontrados son favorables debido a la muy baja atenuación de la señal, producto de la inexistencia de paredes interiores, solo presencia del equipamiento del galpón, y que las paredes de los galpones son de material ligero. El rango encontrado supera el valor mínimo requerido lo que supera el mínimo valor requerido de – **85 dBm** según Ekahau. Por lo que podemos confirmar que la potencia de la señal de los access point es suficiente y su localización es correcta.

En la figura siguiente se muestra la cobertura de la señal inalámbrica Wi-Fi 802.11n de todos access point de la granja, donde las áreas coloreadas representan la potencia de la señal en dBm, y además los canales usados por estos, distribuidos según la tabla 30, para evitar interferencias.

Figura 59: Cobertura de la señal Wi-Fi de todos los access point de la granja

Fuente: Elaboración propia

5.4.6 Ratio de datos de la señal inalámbrica Wi-Fi en toda la granja.

Para evaluar la cobertura de los dispositivos, se tomó en cuenta a los 13 access point y el router de la oficina proporcionado por el proveedor de internet con funciones de access point (EIRP 20 dBm).

En la figura siguiente se muestra la ratio de datos de la señal inalámbrica Wi-Fi 802.11n de todos access point de la granja, donde las áreas coloreadas representan la tasa de transferencia de datos en Mbps.

Resultado:

Según el resultado de la simulación tenemos que la ratio de datos en los alrededores de los galpones (áreas verdes), se encuentran alrededor de los **150 Mbps**.

Análisis:

Estos valores encontrados son favorables debido a la muy baja atenuación de la señal, producto de la inexistencia de paredes interiores, solo presencia del equipamiento del galpón, y que las paredes de los galpones no son de material noble.

Este valor supera largamente el mínimo valor requerido de **0.250 Mbps** requerido por la aplicación. Según D-Link con los valores de potencia hallados en el resultado anterior, tendríamos una tasa de al menos **18 Mbps** y **30 Mbps** si se usan los estándar g y n respectivamente. Por lo que podemos confirmar que la ratio de datos de las señales de los access point es más que suficiente.

Figura 60: Tasa de transferencia de la señal Wi-Fi de todos los access point

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra una tabla comparativa resumen con los valores de RSSI encontrados en las simulaciones de cobertura de los dispositivos inalámbricos, en los lugares de interés evaluados.

Tabla 49: Resumen de resultados de la evaluación de potencia

Dispositivo	Punto o lugar de evaluación	Potencia mínima de la señal requerida (RSSI) en dbm	Potencia mínima de la señal encontrada (RSSI) en dBm	Cumplió el requerimiento
Foco	Gateway	-85	- 75	Si
Gateway (ZigBee)	Foco más lejano	-85	- 70	Si
Gateway (Wi-Fi)	Access Point	-85	- 60	Si
Access Point	Gateway	-85	- 60	Si
Access Point	Toda la granja	-85	-75	Si

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se muestra una tabla comparativa resumen con las tasas de transferencia 802.11n encontrados en las simulaciones de cobertura de los dispositivos inalámbricos, en los lugares de interés evaluados.

Tabla 50: Resumen de resultados de la evaluación de la tasa de transferencia

Dispositivo	Punto o lugar de evaluación	Ratio de la señal requerida en Mbps	Ratio de la señal encontrada en Mbps	Cumplió el requerimiento
Gateway	Access Point	0.250	142 - 150	Si
Access Point	Gateway	0.250	142 - 150	Si
Access Point	Alrededores de los galpones	0.250	126 - 150	Si

Fuente: Elaboración propia

5.5 PRUEBA DE CONCEPTO

La prueba se realizó en el domicilio del autor de esta tesis (Lima). Para realizarla se importó desde Alemania los equipos de iluminación mínimos necesarios para implementar un prototipo básico del sistema, que nos permita validar el diseño (cobertura) y funcionalidades del mismo.

5.5.1 Equipos y materiales

El prototipo consta de los siguientes componentes.

- 1 gateway ZigBee: Marca Osram, modelo Lightify.
- 1 foco: Marca Osram, modelo CLA 60 TW (Rosca E27, 810 lm, 9.5W).
- 1 foco: Marca Osram, Modelo CLA 60 W Clear (Rosca E27, 810 lm, 9W).
- 1 router / access point: Marca D-Link DIR 905L (EIRP 23 dBm, 300 Mbps).
- 1 router: marca Hitron, modelo CGNV21 (Movistar).
- 1 tablet: marca Samsung.

Figura 61: Fotografía de los embalajes de los equipos

Fuente: Elaboración propia

Se utilizaron además los siguientes materiales

- 1 extensión de corriente
- 1 guincha o cinta métrica
- 1 lámpara

5.5.2 Procedimiento

1. Reconocimiento físico de los equipos

Para validar el cumplimiento de algunos de los requisitos establecidos en el capítulo 3, se verificó mediante observación, que el equipo muestre las características técnicas requeridas, tanto en el embalaje como en el mismo producto en sí.

Figura 62: Fotografía de los equipos de iluminación Lightify

Fuente: Elaboración propia

2. Instalación y configuración del equipo de iluminación

Paso 1: Se instala y configura el access point: Se le asigna una dirección IP (192.168.1.101), se nombra un SSID “Galpón1”, se selecciona un canal (CH 1) y el modo de seguridad (WPA).

Figura 63: Configuración del access point

The screenshot displays the configuration interface of a D-Link router, specifically the 'WIRELESS' settings page. The interface has a top navigation bar with four tabs: 'SETUP' (selected), 'ADVANCED', 'TOOLS', and 'STATUS'. Below the navigation bar, there is a section titled 'WIRELESS' with an orange header. This section contains a descriptive text block and two buttons: 'Save Settings' and 'Don't Save Settings'. Below this is a section titled 'WI-FI PROTECTED SETUP (ALSO CALLED WCN 2.0 IN WINDOWS VISTA) :'. This section includes a checkbox for 'Enable' which is checked, a 'Current PIN' field showing '80181330', and buttons for 'Generate New PIN' and 'Reset PIN to Default'. It also shows the 'Wi-Fi Protected Status' as 'Enabled / Configured' with a 'Reset to Unconfigured' button. The final section is 'WIRELESS NETWORK SETTINGS'. It includes a checkbox for 'Enable Wireless' which is checked, a dropdown menu set to 'Always', and an 'Add New' button. Below this are fields for 'Wireless Network Name' (set to 'GALPON1' with a note '(Also called the SSID)'), '802.11 Mode' (set to 'Mixed 802.11n and 802.11g'), 'Enable Auto Channel Scan' (unchecked), 'Wireless Channel' (set to '2.412 GHz - CH 1'), 'Channel Width' (set to 'Auto 20/40 MHz'), and 'Visibility Status' (radio buttons for 'Visible' and 'Invisible', with 'Visible' selected).

Fuente: Elaboración propia

Paso 2: Se descarga e instala, gratuitamente, en el teléfono móvil la aplicación proporcionada por el fabricante en Google Play (ver anexo 18).

Paso 3: Se configura el gateway siguiendo los pasos proporcionados por el asistente de la aplicación. Se crea un usuario y contraseña para administrar el sistema y se conecta a la red Wi-Fi del lugar.

Paso 4: Luego, se conectan los focos al suministro eléctrico para ser automáticamente detectados por la aplicación en el móvil. (ver anexo 18).

En la siguiente figura se muestra el menú de configuración de la aplicación, donde podemos resaltar, que se requiere de una cuenta de usuario y contraseña (Account) para poder ingresar a administrar el sistema.

Figura 64: Menú de configuración de la aplicación

Fuente: www.osram.com/lightify-4you

3. Prueba de conectividad

Una vez instalado el sistema se procedió a evaluar la conectividad, colocando a los focos, en unas lámparas, a las distancias indicadas en el diseño, para comprobar si estas recibían la señal y podían trabajar normalmente.

En primer lugar, para evaluar la cobertura de la señal ZigBee entre el gateway y el foco, se colocó a estos separados por una distancia de 17.40 m (distancia requerida por el diseño), para verificar su normal funcionamiento.

En segundo lugar, para evaluar la cobertura de la señal Wi-Fi entre el gateway y el access point, se los colocó separados a una distancia de 16.67 m (distancia requerida por el diseño), para verificar su normal funcionamiento.

En la siguiente figura se ilustra esta prueba.

Figura 65: Esquema de la separación entre los dispositivos inalámbricos

Fuente: Elaboración propia

4. Prueba de gestión de las luces

Una vez comprobada la conectividad entre los equipos, se procedió a gestionar los focos; encenderlos y apagarlos, cambiar la temperatura de color y el nivel de iluminación, y programar horarios de iluminación.

En la siguiente figura se muestra la programación del temporizador de iluminación, donde en cada semana se establece un intervalo en el cual las luces estarán encendidas. En este ejemplo se reproduce el programa de iluminación de presentando en la tabla 2.

Figura 66: Programación de los intervalos de iluminación en la aplicación

Fuente: Elaboración propia

5.6 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CONCEPTO

5.6.1 Resultados de la prueba de conectividad

En la siguiente tabla se muestran los valores encontrados en la prueba de conectividad.

Tabla 51: Resultados de las pruebas de conectividad

	Conectividad inalámbrica Entre:	Distancia especificada por el diseño	¿Hay Conectividad?
1	Gateway ↔ Foco	17.40 m	Si
2	Gateway ↔ Access Point	16.67 m	Si

Fuente: Elaboración propia

Análisis:

El equipo evaluado pudo gestionarse satisfactoriamente a las distancias mínimas requeridas, e incluso se tuvo un alcance mayor a lo requerido, ya que en ambos casos se evaluó hasta 20 m. Estos resultados alcanzados son debido por un lado a que el sistema opera con un bajo flujo de datos, y por otro lado debido a que no existen mayores barreras u obstáculos que atenúen la señal.

Por lo tanto, los resultados respaldan los resultados de la simulación vía software y comprueban nuevamente que el diseño cumple el requerimiento de cobertura y conectividad.

5.6.2 Resultados de la prueba de gestión de las luces

En la siguiente tabla se muestra si los requerimientos fueron cumplidos en la prueba de gestión de las luces.

Tabla 52: Resultados de la evaluación de los requerimientos del sistema

	REQUERIMIENTO	ESPECIFICACIÓN DE DISEÑO	SE CUMPLE
1	Encendido y apagado	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Luminaria automática ▪ Vía software 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Si
2	Programable	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vía software 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Si
3	Temperatura de color	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permitir cambios entre luz cálida y blanca (2700 K – 6500 K) ▪ Vía software 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Si ▪ Si
4	Intensidad de Luz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Luminaria regulable [5 – 30 lx] en toda su vida útil. ▪ Vía software 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Si
5	Potencia eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Luminaria de 12 W o menos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Si (9.5 W)
6	Gestión de la iluminación	Sistema de iluminación con software: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Interfaz sencilla ▪ Capaz de un manejo global, por grupos o individual de las luces ▪ Capaz de correr sobre un dispositivo móvil. ▪ Seguridad (acceso con contraseña y datos encriptados) ▪ Acceso a través de una red inalámbrica. ▪ Acceso a través de internet. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Si ▪ Si ▪ Si ▪ Si ▪ Si ▪ Si
7	Duración o vida útil	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Luminaria con más de 10 000 horas de vida útil 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Si (20 000 h)

Fuente: Elaboración propia

Análisis:

El equipo evaluado cumplió satisfactoriamente los requerimientos exigidos en el capítulo 3. La instalación fue fácil de realizar con la ayuda del asistente de la aplicación. El encendido y apagado de las luces a través de la aplicación tenía un retardo entre 0 a 1 segundo, debido principalmente al retardo, ocasionado por el procesamiento de los dispositivos, y fundamentalmente por la distancia que viajan las señales inalámbricas ZigBee y Wi-Fi.

La aplicación permitía hacer varias programaciones de luz, escoger por días y horas, cuando debían apagarse y prenderse las luces. En este punto cabe resaltar, que la programación no presentó ninguna falla, es decir no hubo encendidos y apagados ausentes o tardíos. Por otro lado, el cambio en los niveles de potencia de iluminación y los colores fue simple, a través de un disco a manera de dial que se muestra en la aplicación (ver anexo 18).

En cuanto al acceso remoto a través de internet también fue validado y se comprobó que la gestión se puede realizar desde cualquier dispositivo móvil conectado a internet, que tenga instalada la aplicación, y posea el usuario y contraseña para iniciar la sesión.

En lo referente a la potencia eléctrica, los 9.5 W, se aprecia impreso en el foco este valor, y en cuanto a la duración de las luminarias de 20 000 horas, se muestra este valor en el embalaje de la misma (ver anexo 19).

CONCLUSIONES

1. El método de las cavidades es una forma simple, rápida, efectiva, y muy utilizada de calcular el número y disposición de las luminarias en espacios cerrados.
2. El software de diseño de iluminación “DIALux Evo” es un software gratuito, de fácil uso, que permite incorporar para sus cálculos los catálogos de productos de iluminación de los principales fabricantes del mundo.
3. Las curvas Isolux, generadas por software “DiaLux Evo”, nos muestran de forma gráfica, similar a las curvas de nivel, los niveles de iluminación en el plano de trabajo a iluminar, lo que nos permite validar el diseño elaborado.
4. La prueba de concepto es un paso previo a la implementación que nos permite validar o corregir, el diseño propuesto y los equipos seleccionados, en un ambiente aislado y de manera real.
5. El nuevo sistema de iluminación permitiría un ahorro de energía de 78% respecto de un sistema convencional con focos incandescentes, y un 34.40% respecto a otro con fluorescentes.
6. El proyecto alcanza la viabilidad económica en los escenarios, optimista VANE US\$ 40,849.54; TIRE 69.5% y conservador VANE US\$ 7,576.79; TIRE 29.9%.

RECOMENDACIONES

1. Implementar y evaluar el sistema de iluminación en la granja o parte de ella durante una campaña de crianza, para validar los beneficios, y generar conocimiento para la empresa.
2. Desarrollar e implementar un plan de contingencia en caso de un corte en el suministro de energía eléctrica.
3. Contar con un plan de capacitación del personal encargado de la empresa en casos de presentarse problemas técnicos menores en el nuevo sistema de iluminación.
4. Contar con un contrato de soporte, mantenimiento y actualización del sistema de iluminación.
5. Investigar otras aplicaciones que permitan aprovechar la infraestructura instalada, como el control de la temperatura y contenido de humedad del ambiente dentro de un galpón, mediante sensores conectados a la red inalámbrica.
6. Aprovechar las campañas de marketing de la empresa, para resaltar el uso del nuevo sistema de iluminación LED, con relación al tema de la responsabilidad con el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

ANTHONY, B. Y JORDAN, S. (2017) Cisco Certified Design Associate, CCDA 200 – 310 Official Cert Guide. Indianapolis. Cisco Press.

ASI FUNCIONA, Así funcionan los diodos LED (consulta 25 de septiembre de 2015). http://www.asifunciona.com/fisica/af_leds/af_leds_1.htm

AVISA, (2011) Efectos de la Luz en Avicultura. <http://avisa.org.ve/2011/07/efectos-de-la-luz-en-avicultura/>

BECERRA, Eduardo. (2010) Diseño e implementación de una red ZigBee mediante módulos XBEE-Z para el monitoreo de sensores de temperatura (Tesis). Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga.

BUXADÉ, Carlos. (2000) La gallina ponedora: sistemas de explotación y técnicas de reproducción. Edición 2º Ed. Madrid: Mundiprensa.

BOIX, Oriol. (2004) Luminotecnia, iluminación de interiores y exteriores <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html> (consulta 18 de enero de 2017)

CAMPOS, Gonzalo (2009) Caracterización del consumo en redes ZigBee/802.15.4 (proyecto de fin de carrera) Universidad de Málaga. Málaga.

CANO, Edgar (2012) Diseño y desarrollo del sistema de entrenamiento Ironblue para las tecnologías ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi (Tesis) Universidad Tecnológica de las Mixteca. Oaxaca.

CARBALLAR, José (2010). WI-FI Lo que se necesita conocer. Madrid. Ed. RC Libros.

CERVANTES, Daniel (2015). Manual de buenas prácticas para el diseño de una red ZigBee (Tesis). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.

DAINTREE NETWORKS, (2008). Getting started with ZigBee and IEEE 802.15.4. (https://products.currentbyge.com/sites/products.currentbyge.com/files/documents/document_file/DT200-GE-ZigBee-Primer-Whitepaper.pdf)

DIGNANI, Pablo (2011). Análisis del protocolo ZigBee. Monografía. Universidad de La Plata. Buenos Aires.

EKAHAU (2016), Web de la empresa (consulta: abril 2016). (<http://www.ekahau.com>).

EVANS, Dave. (2011) Internet de las cosas: Cómo la próxima evolución del internet lo cambia todo. Cisco Internet Business Solutions Group

ETAP (2011) Dossier LED, una nueva fuente de iluminación. Edición 2°. Madrid.

GAGO, A Y FRAILE J. (2012) Iluminación con tecnología LED. España. Ediciones Paraninfo S.A.

GRAMOBIER (2010) Web de la empresa. (Consulta: mayo 2015). (<http://www.gramobier.com>).

HEVIA, M. L Y QUILES, A. (2005) Influencia de la luz sobre el comportamiento de las aves, Dpto. de Producción animal, Facultad de veterinaria, Universidad de Murcia.

HUCABY, David (2014) Cisco Certified Network Associate, CCNA Wireless 640 – 722 Official Cert Guide. Indianapolis. Cisco Press.

HY-LINE (2011) Guía de manejo comercial de la Gallina Ponedora. Iowa: Hy-Line International.

KELLY, Vivian (2014). New IEEE 802.11ac Specification driven by evolving market need for higher, multi-user throughput in wireless LAN. En: IEEE Standards Association. News & Events: Press Releases (Consulta 11 de septiembre de 2015) https://standards.ieee.org/news/2014/ieee_802_11ac_ballot.html

LEDIA GROUP (2014). Tipo de lámparas LED. ¿Cuál elegir? (consulta 14 de septiembre de 2015) <http://lediagroup.com/tecnologia-led/tipos-de-lamparas-led-smd-y-cob/>

LOYOLA, M Y BECERRA P. (2015) Manual para la aplicación de la tecnología ZigBee para edificios inteligentes en la ciudad de Cuenca. (Tesis), Cuenca.

MARTINEZ GUEVARA. Andrés (2012) Iluminación LED (monografía de ingeniería). Veracruz: Universidad Veracruzana.

MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO DE COLOMBIA. (2012) Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP). Bogotá.

MORENO, J Y FERNÁNDEZ D. (2007) Informe Técnico: Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4). http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1109/7/Informe_ZigBee.pdf

NOVOGEN (2009), NovoGen White Light, guía de manejo de ponedoras comerciales. Francia.

OSRAM. (2016) Guide - LIGHTIFY wireless lighting control system (consulta: 20 de diciembre). <http://www.osram.com/media/resource/hires/603461/lightify---the-smarter-lighting-control-solution-gb.pdf>

ORTIZ, Andrés. Factores influenciando el tamaño del huevo. Consulta: 22 de abril 2017) http://www.adiveter.com/ftp_public/A280208.pdf

PELLEJERO, Izaskun, ANDREU Fernando y LESTA Amaia (2006). Fundamentos y aplicaciones de seguridad en redes WLAN. Barcelona. Ed. Marcombo.

R.A ERNST y col. (1988) Revisión de los programas de iluminación para ponedoras comerciales., p 45-55. En: revista World's Poultry Sci. Jour., Vol. 1, Núm. 43

RODRIGUEZ, J y ALEJANDRO C. (2012) Guía para el diseño de instalaciones de iluminación interior utilizando DIALux. (Tesis) Universidad Tecnológica de Pereira.

SALVETTI, Diego (2011) Redes Wireless: Instalación, configuración y mantenimiento de hardware y software. Buenos Aires. Fox Andina.

STALLING, William (2004) Comunicaciones y redes de computadores. Madrid. Edición 7º Ed. Pearson Education.

TANENMBAUM, A y WETHWEHALL D. (2012) Redes de computadoras. México. Pearson Education.

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE (2016) Efecto de la luz sobre la actividad reproductiva (Consulta 20 de abril) www7.uc.cl/sw_educ/prodanim/caracter/fi11.htm

WALTERS, Mark. (2017), ZigBee 3.0: The Foundation for the Internet of Things: Launched and Open for Certifications, p.5. En revista ZigBee Resource Guide. 2016 – 2017 Edition. www.ZigBeeResourceGuide.com

ZIGBEE ALLIANCE. (2017) (Consulta: 17 de abril) www.ZigBee.org

GLOSARIO

Coefficiente de utilización (CU o K): Relación entre el flujo luminoso que llega a la superficie a iluminar (flujo útil) y el flujo total emitido por una luminaria.

Curva Isolux: Línea que une todos los puntos que tengan la misma iluminancia en el plano horizontal, para una altura de montaje de 1 m o 10 m y un flujo luminoso de 1.000 lm.

Domótica: Conjunto de técnicas orientadas a automatizar una vivienda, que integran la tecnología en los sistemas de seguridad, gestión energética, bienestar y comunicaciones.

Galpón: Construcción techada, de material ligero empleada para criar a las aves.

Gateway: Es el dispositivo que interconecta la WLAN con los focos LED.

Dbi: Es una unidad para medir la ganancia de una antena en referencia a una antena isótropa teórica.

Dbm: A veces DBmW o decibelio-milivatio. Es una unidad de medida de potencia expresada en decibelios (dB) relativa a un milivatio (mW).

EIRP: Es la cantidad de potencia que emitiría una antena isotrópica teórica (es decir, aquella que distribuye la potencia exactamente igual en todas direcciones) para producir la densidad de potencia observada en la dirección de máxima ganancia de una antena. El EIRP tiene en cuenta las pérdidas de la línea de transmisión y en los conectores e incluye la ganancia de la antena.

Eficiencia luminosa de una fuente: Relación entre el flujo luminoso total emitido por una fuente luminosa (bombilla) y la potencia de la misma. La eficacia de una fuente se expresa en lúmenes/vatio (lm/W).

Factor de mantenimiento (Fm): Factor usado en el cálculo de la luminancia e iluminancia después de un período dado y en circunstancias establecidas. Tiene en cuenta la hermeticidad de la luminaria, la depreciación del flujo luminoso de la bombilla, la clasificación de los niveles de contaminación del sitio y el período de operación (limpieza) de la luminaria.

IEEE 802.11: Es un estándar internacional que define las características de una red de área local inalámbrica (WLAN).

Internet de las cosas (IoT): Es la comunicación entre máquinas o M2M, es decir es cualquier tipo de objeto físico o virtual o entidad que pueda hacerse direccionable, y que tenga la capacidad de transmitir datos sin la intervención de una persona.

Internet de todo (IoE): Es la conexión inteligente de personas, procesos, datos y cosas. Es más expansivo e incluye, además de las comunicaciones M2M, las interacciones de máquina a persona (M2P) y las de persona a persona (P2P) asistida por tecnología.

Iluminancia promedio horizontal mantenida (Eprom): Valor por debajo del cual no debe descender la iluminancia promedio en el área especificada. Es la iluminancia promedio en el período en el que debe ser realizado el mantenimiento. También se le conoce como Iluminancia media mantenida

Indicador de fuerza de la señal recibida: Es una escala de referencia (con relación a 1 mW) para medir el nivel de potencia de las señales recibidas por un dispositivo en las redes inalámbricas (típicamente Wi-Fi o telefonía móvil).

Inmótica: La incorporación al equipamiento de edificios de uso terciario o industrial, de sistemas de gestión técnica automatizada de las instalaciones, con el objetivo de reducir el consumo de energía, aumentar el confort y la seguridad de los mismos.

Levante: Etapa de crianza que inicia en el primer día de vida de las gallinas, hasta el momento en que ponen el primer huevo, dentro de la semana 20 aproximadamente.

Lux: Es la unidad derivada del sistema internacional de unidades para la iluminancia o nivel de iluminación (símbolo lx). Equivale a un lumen/m².

Lumen: Es la unidad del sistema internacional de medidas para medir el flujo luminoso, una medida de la potencia luminosa emitida por la fuente (símbolo: lm).

kW: El Kilovatio es una unidad de medida de potencia. Su unidad básica es el vatio (W) y equivale a un julio por segundo ($1000\text{ W} = 1\text{ kW}$).

kWh: El kilovatio hora es un término de energía y se define para ver la potencia utilizada durante un periodo de tiempo, en este caso una hora.

Plano de trabajo: Es la superficie horizontal, vertical u oblicua, en la cual el trabajo es usualmente realizado, y cuyos niveles de iluminación deben ser especificados y medidos.

Programa de iluminación: Programa que define los intervalos de luz y oscuridad a la que estarán sometidas las aves en todo su ciclo de vida productivo.

Power over ethernet o PoE: Es una tecnología que incorpora alimentación eléctrica a una infraestructura LAN estándar. Está regulada en una norma denominada IEEE 802.3af.

Sistema de iluminación: Componentes de la instalación de iluminación y sus interrelaciones para su operación y funcionamiento.

Tasa de error binario o BER: Se define como el número de bits de forma incorrecta respecto al total de bits enviados durante un intervalo especificado de tiempo.

Transceiver: Un transceptor es un dispositivo que cuenta con un transmisor y un receptor que comparten parte de la circuitería o se encuentran dentro de la misma caja.

Wi-Fi: "Fidelidad inalámbrica", a veces incorrectamente abreviado WiFi, es el nombre de la certificación otorgada por la Wi-Fi Alliance, grupo que garantiza la compatibilidad entre dispositivos que utilizan el estándar 802.11.

ZigBee: Es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal.

SIGLARIO

AES: Advanced Encryption Standard

AODV: Ad Hoc On-Demand Distance Vector

APDU: Application Support Sublayer Protocol Data Unit

APL: Application Layer

APSDE: Application Support Sublayer Data Entity

APSME: Application Support Sublayer Management Entity

ASDU: APS Service Data Unit

BER: Bit Error Rate

BPSK: Differential Binary Phase Shift Keying

CAPEX: Capital Expenditures

CCA: Clear Channel Assessment

CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance

DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum

DBPSK: Differential Binary Phase Shift Keying

DECT: Digital Enhanced Cordless Telephone

DQPSK: Differential Quadrature Phase Shift Keying

ED: Energy Detection

EIRP: Equivalent Isotropically Radiated Power

ETSI: European Telecommunications Standards Institute

FSH: Follicle Stimulating Hormone

FCS: Frame check Sequence

FFD: Full Function Device

GSM: Global System for Mobile communications.

GTS: Guaranteed Time Slot

HDR: Header

HSDPA: High-Speed Download Packet Access

IBSG: Cisco Internet Business Solutions Group

ISM: Industrial, Scientific and Medical

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

IRC: Índice de Refracción Cromática

IRDA: Infrared Data Association

LAN: Local Area Network

LED: Light Emitting Diode

LH: Luteinizing Hormone

LQI: Link Quality Indicator

LMDS: Local Multipoint Distribution Service

LTE: Long Term Evolution

OPEX: Operating Expense

OFDM: Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

OSI: Open System Interconnection

MMDS: Microwave Multipoint Distribution Service

MPPS: Millions of Packets per Second

MAC: Medium Access Control

MIC: Message Integrity Code

MPDU: MAC protocol Data Unit

MSDU: MAC Service Data Unit

MLME: MAC Layer Management Entity

MLME-SAP: Mac Layer Management Entity Service Access Point

NLDE: Network Layer Data Entity

NLME: Network Layer Management Entity

NPDU: Network Protocol Data Unit

NSDU: Network Service Data Unit

NWK: Network Layer

O-QPSK: Offset Quadrature Phase Shift Keying

OSI: Open System Interconnection

PBM: Plan Build Management

PAN: Personal Area Network

PD: Physical Data

PHY: Physical Layer

PIB: Pan Information Base

PLME: Physical Layer Management Entity

PPDU: Physical Protocol Data Unit

PSDU: Physical Service Data Unit

PIB: Pan Information Base

PoE: Power Over Ethernet

PVC: Polyvinyl chloride

RFD: Reduced Function Device

RX: Receptor

SAP: Service Access Point

SNR: Signal to Noise Ratio

RADIUS: Remote Authentication Dial-In User Service

RSSI: Received Signal Strength Indicator

TIR: Tasa Interna de Retorno

TKIP: Temporal Key Integrity Protocol

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

UNII: Unlicensed National Information Infrastructure.

VAN: Valor Actual Neto

VEEI: Valor de Eficiencia Energética de la Instalación

WLAN: Wireless Local Area Network

WPA: Wi-Fi Protected Access

ZC: ZigBee Coordinator

ZDO: ZigBee Device Object

ZED: ZigBee End Device

ZR: ZigBee Router

ANEXOS

Anexo 1: Imágenes de un galpón de gallinas

Fuente: avicultura.com

Fuente: avicultura.com

Anexo 2: Longitudes de onda, colores y sustancias con la que fabrican los LED

Longitud de Onda	Color		Tensión de polarización directa	Intensidad	Materiales
940 nm.	Infrarrojo	--	1,5 V @ 20 mA.	16 mW @ 50 mA.	GaAs
880 nm.	Infrarrojo	--	1,7 V @ 20 mA.	18 mW @ 50 mA.	GaAlAs
660 nm.	Ultra Rojo		1,8 V @ 20 mA.	2000 mcd @ 20 mA.	GaAlAs
635 nm.	Rojo Alta Eficiencia		2,0 V @ 20 mA.	200 mcd @ 20mA.	GaAsP/GaP
633 nm.	Súper Rojo		2,2 V @ 20 mA.	3500 mcd @ 20 mA.	InGaAlP
620 nm.	Súper Naranja		2,2 V @ 20 mA.	4500 mcd @ 20 mA.	AlInGaP
612 nm.	Rojo – Naranja		2,2 V @ 20 mA.	6500 mcd @ 20 mA.	InGaAlP
605 nm.	Naranja		2,1 V @ 20 mA.	160 mcd @ 20 mA.	GaAsP/GaP
592 nm.	Amarillo Puro		2,1 V @ 20 mA.	7000 mcd @ 20mA.	GaAsP/GaP
585 nm.	Amarillo		2,1 V @ 20 mA.	100 mcd @ 20 mA.	AlInGaP
570 nm.	Verde Lima		2,0 V @ 20 mA.	1000 mcd @ 20 mA.	InGaAlP
565 nm.	Verde		2,1 V @ 20 mA.	200 mcd @ 20mA.	GaP
555 nm.	Verde Puro		2,1 V @ 20 mA.	80 mcd @ 20 mA.	InGaAP
525 nm.	Verde Acuoso		3,5 V @ 20 mA.	7000 mcd @ 20 mA.	SiC/GaN
505 nm.	Verde turquesa		3,5 V @ 20 mA.	2000 mcd @ 20 mA.	InGaN/Zafiro
480 nm.	Súper Azul		3,6 V @ 20 mA.	2000 mcd @ 20 mA.	SiC/GaN
430 nm.	Azul		3,8 V @ 20 mA.	100 mcd @ 20 mA.	GaN
370 nm.	Ultravioleta	--	5 V. @ 20 mA.	-----	GaN

Fuente: GAGO, A Y FRAILE J. (2012) Pag 20.

Anexo 3: Tipos de tramas MAC IEEE 802.15.4

Trama de baliza

Octets:2	1	4/10	2	var	var	var	2
Frame control	sequence number	Addressing fields	Superframe specification	GTS fields	Pending address fields	Beacon payload	FCS
MHR			MAC Payload				MFR

Trama de dato

Octets:2	1	section 7.2.2.2.1 IEEE 802.15.4	Variable	2
Frame control	sequence number	Addressing fields	Data Payload	FCS
MHR			MAC Payload	MFR

Trama de reconocimiento

Octets:2	1	2
Frame control	sequence number	FCS
MHR		MFR

Trama de comando

Octets:2	1	section 7.2.2.4.1 IEEE 802.15.4	1	Variable	2
Frame control	sequence number	Addressing fields	Command Frame Identifier	Command Payload	FCS
MHR			MAC Payload		MFR

Tipos de tramas de comando

Command Frame ID	Command frame
0x01	Association request(Tx)
0x02	Association response(Rx)
0x03	Disassociation notification(Tx,Rx)
0x04	Data request(Tx)
0x05	PAN ID conflict notification(Tx)
0x06	Orphan notification(Tx)
0x07	Beacon request(Tx)
0x08	coordinator realignment(Rx)
0x09	GTS Request
0x0a-0xFF	Reserved

Fuente: <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Zigbee-MAC-layer-frame-format.html>

Anexo 4: Patrón de radiación para una antena omnidireccional dipolo típica

Patrón en los planos E (elevación) y H (azimut)

Patrón en tres dimensiones

Fuente: Hucaby, 2014:95

Anexo 5: Programa de Iluminación

Edad (días)	Edad (días)	Peso Corporal al inicio de la semana (g)	Promedio de Producción de huevo semanal	Duración de la luz en horas	Intensidad de la Luz
0	0 a 2			22.00	20-40 lux
1	3 a 7			20.00	20-30 lux
2	8 a 14			19.00	10-20 lux
3	15 a 21			17.00	5-10 lux
4	21 a 28			15.00	5-10 lux
5	29 a 35			13.00	5-10 lux
6	36 a 42			11.00	5-10 lux
7	43 a 49			10.00	5-10 lux
8	50 a 56			09.00	5-10 lux
9	57 a 63			09.00	5-10 lux
10	64 a 70			09.00	5-10 lux
11	71 a 77			09.00	5-10 lux
12	78 a 84			09.00	5-10 lux
13	85 a 91			09.00	5-10 lux
14	92 a 98			09.00	5-10 lux
15	99 a 105			09.00	5-10 lux
16	106 a 112	(3)		09.00(3)	5-10 lux
17	113 a 119	1125-1185		11.00	5-15 lux
18	120 a 126	1190-1255	0-1%	12.00	5-15 lux
19	127 a 133	1250-1320	0-3%	13.00 (1)	5-15 lux
20	134 a 140	1315-1390	2-25 %	13.30	5-15 lux
21	141 a 147	1365-1440	30-55%	14.00	5-15 lux
22	148 a 154	1405-1482	55-82%	14.30	5-15 lux
23	155 a 161	1450-1530	80-90%	15.30	5-15 lux
24	162 a 168	1485-1570	85-92%	15.30 (2)	5-15 lux
25	169 a 175	1515-1600	88-93%	15.30 (2)	5-15 lux
25 +	176 a 182	1545-1630		15.30 (2)	5-15 lux
	183 a 189	1575-1660		15.30 (2)	

(1) La estimulación de luz a la media noche, se puede iniciar a partir de la semana 19.

(2) Puede ser aumentada a 16 horas de acuerdo al consumo de alimento.

(3) De acuerdo al peso promedio del huevo requerido por el mercado, se puede estimular las aves una semana antes

Fuente: Novogen, 2009: 12

Anexo 6: Valores de VEEI, máximos permitidos

En esta tabla se indican los Valores Límite de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) que deben cumplir los recintos interiores de las edificaciones; criterio adaptado de la norma UNE 12464-1 de 2003. Los valores de VEEI se establecen en dos grupos de zonas en función de la importancia que tiene.

Zonas de baja importancia lumínica. Corresponde a espacios donde el criterio de diseño, la imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación, queda relegado a un segundo plano frente a otros criterios como el nivel de iluminancia, el confort visual, la seguridad y la eficiencia energética.

Zonas de alta importancia lumínica o espacios donde el criterio de diseño, la imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación, son relevantes frente a los criterios de eficiencia energética.

Estos valores incluyen la iluminación general y el alumbrado direccional, pero no las instalaciones de iluminación de vitrinas y zonas de exposición. iluminación, estas son

Grupo	Actividad de la zona	VEEI máximo
1. Zonas de baja importancia lumínica.	Administrativa en general	3,5
	Andenes de estaciones de transporte	3,5
	Salas de diagnóstico	3,5
	Pabellones de exposición o ferias	3,5
	Aulas y laboratorios	4
	Habitaciones de hospital	4,5
	Zonas comunes	4,5
	Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5
	Parqueaderos	5
	Zonas deportivas	5
2. Zonas de alta importancia lumínica	Administrativa en general	6
	Estaciones de transporte	6
	Supermercados, hipermercados y almacenes	6
	Bibliotecas, museos y galerías de arte	6
	Zonas comunes en edificios residenciales	7,5
	Centros comerciales (tiendas excluidas)	8
	Hostelería y restauración	10
	Centros de culto religioso en general	10
	Salones de reuniones, auditorios, convenciones	10
	Tiendas y pequeño comercio	10
	Zonas comunes	10
	Habitaciones de hoteles	12

Fuente: RETILAP 2010, 113

Anexo 7: Cálculo del ancho de banda requerido

A. Para transmitir una trama ZigBee entre los Focos y el Gateway.

Supuestos:

- Se asume que se va a transmitir una trama ZigBee de tamaño máximo (127 bytes).
- Los 50 focos transmitan a la vez (según nuestro diseño).

Datos:

- Regimen binario o tasa de transferencia Zigbee (2.4 GHz) es 31.25 bytes/ms ó **250 kbps**.
- ZigBee normalmente usa una sola trama para enviar un comando o estado.

Cálculo:

TX en kbps = 127 bytes x 8 bits/byte x 50 focos = 50,800 bit/s o **50.8 kbps**.

B. Para transmitir una trama ZigBee entre los Gateways y el Access Point

Supuestos:

- Se esta asumiendo que se va a transmitir una trama ZigBee de tamaño máximo, dentro de una trama ethernet inalambrica.
- Los 2 gateways asociados a una access point transmitan a la vez (según nuestro diseño).

Dato: Regimen binario o tasa de transferencia 802.11n es 25 Mbyte/s ó 200 000 kbps

Cálculo:

Trama Ethernet = Cabecera Ethernet + Trama ZigBee

Trama Ethernet = 32 bytes + 127 bytes = 159 bytes

Tx en kbps = 159 bytes x 8 bits/byte x 2 Gateways = **2544 bit/s** o **2.544 kbps**.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 8: Canales y frecuencias usadas por ZigBee en la banda de 2.4 GHz.

Canal	Frecuencia			BW
	Inferior	Central	Superior	
1	2404	2405	2406	2
2	2409	2410	2411	2
3	2414	2415	2416	2
4	2419	2420	2421	2
5	2424	2425	2426	2
6	2429	2430	2431	2
7	2434	2435	2436	2
8	2439	2440	2441	2
9	2444	2445	2446	2
10	2449	2450	2451	2
11	2454	2455	2456	2
12	2459	2460	2461	2
13	2464	2465	2466	2
14	2469	2470	2471	2
15	2474	2475	2476	2
16	2479	2480	2481	2

Fuente: Elaboración propia, basada en Campos 2009: 14

Anexo 9: Canales y frecuencias usadas por Wi-Fi en la banda de 2.4 GHz.

Canal	Frecuencia MHz			BW
	Inferior	Central	Superior	
1	2401	2412	2423	22
2	2404	2417	2428	24
3	2411	2422	2433	22
4	2416	2427	2438	22
5	2421	2432	2443	22
6	2426	2437	2448	22
7	2431	2442	2453	22
8	2436	2447	2458	22
9	2441	2452	2463	22
10	2446	2457	2469	23
11	2451	2462	2473	22
12	2456	2467	2478	22
13	2461	2472	2483	22
14	2473	2477	2495	22

Fuente: Elaboración propia, basado en Hucaby 2014:49

Anexo 10: Cálculo de la cantidad y costo del cableado UTP y canalizado

N°	Enlace		Distancia Horizontal (m)	Distancia Vertical (m)	Distancia Total (m)	COSTO TOTAL (US\$)
	Origen	Destino				
1	Switch 1	Switch 2	50.00	-	50.00	43.40
2	Switch 1	Access Point 1	53.00	8.00	61.00	51.67
3	Switch 1	Access Point 2	17.00	-	17.00	15.17
4	Switch 2	Access Point 3	17.00	-	17.00	13.73
5	Switch 2	Router	60.00	8.00	68.00	55.66
6	Switch 2	Switch 3	39.00	8.00	47.00	39.07
7	Switch 3	Access Point 4	72.00	-	72.00	61.92
8	Switch 3	Access Point 5	22.00	-	22.00	17.68
9	Switch 3	Switch 4	90.00	8.00	98.00	79.46
10	Switch 4	Access Point 6	22.00	-	22.00	19.84
11	Switch 4	Access Point 7	22.00	-	22.00	19.12
12	Switch 4	Access Point 8	50.00	8.00	58.00	47.86
13	Switch 4	Access Point 9	50.00	8.00	58.00	47.56
14	Switch 4	Switch 5	61.00	8.00	69.00	56.35
15	Switch 5	Access Point 10	17.00	-	17.00	15.17
16	Switch 5	Access Point 11	17.00	-	17.00	15.17
17	Switch 5	Access Point 12	50.00	8.00	58.00	50.02
18	Switch 5	Access Point 13	45.00	8.00	53.00	43.25
SubTotal					826.00	692.10
Reserva (5%)					41.30	34.61
Total					867.30	1,218.11

Fuente: Elaboración propia

Anexo 11: Cálculo del costo del cableado UTP categoría 5e

N°	Enlace		Distancia Total (m)	Cable UTP Cat 5e		Conectores			Costo (US\$)
	Origen	Destino		Costo (US\$/m)	Total	Costo (US\$/m)	Unid	Total (US\$)	
2	Switch 1	Switch 2	50.00	0.25	12.50	0.15	2	0.3	12.80
3	Switch 1	Access Point 1	61.00	0.25	15.25	0.15	2	0.3	15.55
4	Switch 1	Access Point 2	17.00	0.25	4.25	0.15	2	0.3	4.55
5	Switch 2	Access Point 3	17.00	0.25	4.25	0.15	2	0.3	4.55
6	Switch 2	Router	68.00	0.25	17.00	0.15	2	0.3	17.30
7	Switch 2	Switch 3	47.00	0.25	11.75	0.15	2	0.3	12.05
8	Switch 3	Access Point 4	72.00	0.25	18.00	0.15	2	0.3	18.30
9	Switch 3	Access Point 5	22.00	0.25	5.50	0.15	2	0.3	5.80
10	Switch 3	Switch 4	98.00	0.25	24.50	0.15	2	0.3	24.80
11	Switch 4	Access Point 6	22.00	0.25	5.50	0.15	2	0.3	5.80
12	Switch 4	Access Point 7	22.00	0.25	5.50	0.15	2	0.3	5.80
13	Switch 4	Access Point 8	58.00	0.25	14.50	0.15	2	0.3	14.80
14	Switch 4	Access Point 9	58.00	0.25	14.50	0.15	2	0.3	14.80
15	Switch 4	Switch 5	69.00	0.25	17.25	0.15	2	0.3	17.55
16	Switch 5	Access Point 10	17.00	0.25	4.25	0.15	2	0.3	4.55
17	Switch 5	Access Point 11	17.00	0.25	4.25	0.15	2	0.3	4.55
18	Switch 5	Access Point 12	58.00	0.25	14.50	0.15	2	0.3	14.80
19	Switch 5	Access Point 13	53.00	0.25	13.25	0.15	2	0.3	13.55
SubTotal			826.00		206.50		36	5.4	211.90
Reserva (5%)			41.30	0.25	10.33	0.15	2.00	0.3	10.63
Total			867.30		216.83		38.00	5.70	713.97

Fuente: Elaboración propia

Anexo 12: Cálculo del costo del canalizado

N°	Enlace		Distancia Total (m)	Tubo PVC		Codos o "T"			Abrazaderas			Tornillos			COSTO Total US\$
	Origen	Destino		Costo (US\$/m)	Total	Costo (US\$/Un)	Unid	Total	Costo (US\$/Un)	Unid	Total	Costo (US\$/Un)	Unid	Total	
2	Switch 1	Switch 2	50.00	0.54	27.00	0.10	0	0.00	0.30	10	3.00	0.03	20	0.60	30.60
3	Switch 1	Access Point 1	61.00	0.54	32.94	0.10	3	0.30	0.30	8	2.40	0.03	16	0.48	36.12
4	Switch 1	Access Point 2	17.00	0.54	9.18	0.10	0	0.00	0.30	4	1.20	0.03	8	0.24	10.62
5	Switch 2	Access Point 3	-	0.54	9.18	0.10	0	0.00	0.30	0	0.00	0.03	0	0.00	9.18
6	Switch 2	Router	68.00	0.54	36.72	0.10	2	0.20	0.30	4	1.20	0.03	8	0.24	38.36
7	Switch 2	Swicht 3	47.00	0.54	25.38	0.10	2	0.20	0.30	4	1.20	0.03	8	0.24	27.02
8	Switch 3	Access Point 4	72.00	0.54	38.88	0.10	0	0.00	0.30	15	4.50	0.03	8	0.24	43.62
9	Switch 3	Access Point 5	-	0.54	11.88	0.10	0	0.00	0.30	0	0.00	0.03	0	0.00	11.88
10	Switch 3	Switch 4	98.00	0.54	52.92	0.10	3	0.30	0.30	4	1.20	0.03	8	0.24	54.66
11	Switch 4	Access Point 6	22.00	0.54	11.88	0.10	0	0.00	0.30	6	1.80	0.03	12	0.36	14.04
12	Switch 4	Access Point 7	17.00	0.54	11.88	0.10	0	0.00	0.30	4	1.20	0.03	8	0.24	13.32
13	Switch 4	Access Point 8	17.00	0.54	31.32	0.10	3	0.30	0.30	4	1.20	0.03	8	0.24	33.06
14	Switch 4	Access Point 9	17.00	0.54	31.32	0.10	0	0.00	0.30	4	1.20	0.03	8	0.24	32.76
15	Switch 4	Switch 5	69.00	0.54	37.26	0.10	1	0.10	0.30	4	1.20	0.03	8	0.24	38.80
16	Switch 5	Access Point 10	17.00	0.54	9.18	0.10	0	0.00	0.30	4	1.20	0.03	8	0.24	10.62
17	Switch 5	Access Point 11	17.00	0.54	9.18	0.10	0	0.00	0.30	4	1.20	0.03	8	0.24	10.62
18	Switch 5	Access Point 12	58.00	0.54	31.32	0.10	3	0.30	0.30	10	3.00	0.03	20	0.60	35.22
19	Switch 5	Access Point 13	12.00	0.54	28.62	0.10	0	0.00	0.30	3	0.90	0.03	6	0.18	29.70
SubTotal			531.00		446.04		17	1.70		92	27.60		162	4.86	480.20
Reserva (5%)			26.55	0.54	22.30	0.10	2	0.2	0.30	4	1.2	0.03	8	0.24	23.94
Total			557.55		468.34		19.00	1.90		96.00	28.80		170.00	5.10	504.14

Fuente: Elaboración propia

Anexo 13: Cálculo del ahorro de energía

CÁLCULO DEL CONSUMO DE ENERGÍA POR CAMPAÑA - SISTEMA SMART LED

Dispositivo	Consumo	Unid	Horas	Consumo	Precio S/. (kW.h)
	W		Uso	Total (kW/h)	0.5
Luminarias	9.5	910	1,883	16,278.54	8,139.27
Gateway ZigBee	5.0	20	13,440	1,344.00	672.00
Access Point	4.8	7	13,440	451.58	225.79
Switch	63.2	5	13,440	4,247.04	2,123.52
Router	12.0	1	13,440	161.28	80.64
TOTAL				22,482.44	11,241.22

CÁLCULO DEL CONSUMO DE ENERGÍA POR CAMPAÑA - SOLO LUCES

Dispositivo	Consumo	Unid	Horas	Consumo	Precio S/. (kW.h)
	Watts		Uso	Total (kW/h)	0.5
Foco Incandescente	60.0	910	1,883	102,811.80	51,405.90
Fluorescentes	20.0	910	1,883	34,270.60	17,135.30
Luminarias LED	9.5	910	1,883	16,278.54	8,139.27

CÁLCULO DEL AHORRO EN UN AÑO

Tipo de iluminación	Consumo	Total	Total	Ahorro	Ahorro	% Ahorro
	Watts	S/. Campaña	S/. Año	S/.	US\$	
Incandescente	60.00	51,405.90	33,413.84	26,107.04	7,911.22	78.13%
Fluorescente	20.00	17,135.30	11,137.95	3,831.15	1,160.96	34.40%
Sistema Smart LED	9.50	11,241.22	7,306.79			-

CÁLCULO DEL TIEMPO DE VIDA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Vida útil total horas	Horas uso x campaña	Vida útil campañas	Vida útil años
20,000	1,883	10.62	16.34

Fuente: Elaboración propia

Anexo 14: Cálculo de los ingresos por el incremento en la productividad

Supuestos:

1. En teoría un buen sistema de iluminación puede lograr un incremento de hasta 14 huevos por campaña.
2. La granja tiene una población de 52,00 gallinas en producción.

Número de Huevos	Peso huevo kg	Peso total	Precio S/. x kg	Ingreso adicional x	TC (S/. x US\$)
1	0.062	0.062	4.38	0.27	3.3

	Número de gallinas en producción					
	1,000	8,000	10,000	20,000	40,000	52,000
Ingresos por productividad S/.	271.56	2,172.48	2,715.60	5,431.20	10,862.40	14,121.12

Ingreso adicional por campaña y año		
	Semanas	S/.
Campaña	80	14,121.12
Año	52	9,178.73

Gallinas en Producción	
Area	1,000 m2
Densidad	8 aves/m2
Num Aves	8,000
Galpones	6.5
Total Aves	52,000

CALCULO DE INGRESO POR INCREMENTO EN LA PRODUCTIVIDAD

Escenario	Número de Huevos adicionales por	Peso huevo kg	Peso total kg	Precio S/. x kg	Ingreso adicional x ave (S/.)	Número gallinas	Ingreso campaña S/.	Ingreso anual S/.	Ingreso anual US\$
Pesimista	1	0.062	0.062	4.38	0.27	52,000	14,121.12	9,178.73	2,781.43
	2	0.062	0.124	4.38	0.54	52,000	28,242.24	18,357.46	5,562.87
	3	0.062	0.186	4.38	0.81	52,000	42,363.36	27,536.18	8,344.30
Conservador	4	0.062	0.248	4.38	1.09	52,000	56,484.48	36,714.91	11,125.73
	5	0.062	0.310	4.38	1.36	52,000	70,605.60	45,893.64	13,907.16
	6	0.062	0.372	4.38	1.63	52,000	84,726.72	55,072.37	16,688.60
	7	0.062	0.434	4.38	1.90	52,000	98,847.84	64,251.10	19,470.03
Optimista	8	0.062	0.496	4.38	2.17	52,000	112,968.96	73,429.82	22,251.46
	9	0.062	0.558	4.38	2.44	52,000	127,090.08	82,608.55	25,032.89
	10	0.062	0.620	4.38	2.72	52,000	141,211.20	91,787.28	27,814.33
	11	0.062	0.682	4.38	2.99	52,000	155,332.32	100,966.01	30,595.76
	12	0.062	0.744	4.38	3.26	52,000	169,453.44	110,144.74	33,377.19
Excelente	13	0.062	0.806	4.38	3.53	52,000	183,574.56	119,323.46	36,158.63
	14	0.062	0.868	4.38	3.80	52,000	197,695.68	128,502.19	38,940.06

Fuente: Elaboración propia

Anexo 15: Proyección de ingresos para 3 escenarios en toda la vida útil de las luces.

Supuestos:

- Las mejoras productivas son teóricas, y estan enmarcadas en un rango de 1 a 14 huevos adicionales.
- En nuestro caso se toma en cuenta que la empresa ya tiene un sistema que aunque no sea eficiente, ya existe algún tipo de mejora, por lo que se va a tomar como máximo 10 huevos.

Escenario Optimista

Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
N° Huevos	8	8	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Ingreso S/.	73,429.82	73,429.82	82,608.55	82,608.55	91,787.28	91,787.28	91,787.28	91,787.28	91,787.28	91,787.28	91,787.28	91,787.28	91,787.28	91,787.28	91,787.28	91,787.28
Ingreso US\$	22,251.46	22,251.46	25,032.89	25,032.89	27,814.33	27,814.33	27,814.33	27,814.33	27,814.33	27,814.33	27,814.33	27,814.33	27,814.33	27,814.33	27,814.33	27,814.33

Escenario Conservador

Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
N° Huevos	4	4	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Ingreso S/.	36,714.91	36,714.91	45,893.64	45,893.64	55,072.37	55,072.37	55,072.37	55,072.37	55,072.37	55,072.37	55,072.37	55,072.37	55,072.37	55,072.37	55,072.37	55,072.37
Ingreso US\$	11,125.73	11,125.73	13,907.16	13,907.16	16,688.60	16,688.60	16,688.60	16,688.60	16,688.60	16,688.60	16,688.60	16,688.60	16,688.60	16,688.60	16,688.60	16,688.60

Escenario Pesimista

Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
N° Huevos	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Ingreso S/.	9,178.73	9,178.73	18,357.46	18,357.46	27,536.18	27,536.18	27,536.18	27,536.18	27,536.18	27,536.18	27,536.18	27,536.18	27,536.18	27,536.18	27,536.18	27,536.18
Ingreso US\$	2,781.43	2,781.43	5,562.87	5,562.87	8,344.30	8,344.30	8,344.30	8,344.30	8,344.30	8,344.30	8,344.30	8,344.30	8,344.30	8,344.30	8,344.30	8,344.30

Fuente: Elaboración propia

Anexo 16: Evaluación económica del proyecto a 5 años.

Escenario Optimista

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos por mejoras productivas*		22,251.46	22,251.46	25,032.89	25,032.89	27,814.33
Ingresos por ahorros de energía**		1,160.96	1,160.96	1,160.96	1,160.96	1,160.96
Gastos operativos		960.00	1,008.00	1,058.40	1,111.32	1,166.89
Inversión	-31,237.11					
Total	-31,237.11	22,452.42	22,404.42	25,135.45	25,082.53	27,808.40

Periodo de recuperación de la Inversión (años): 1.39
Valor actual neto (VANE): \$ 40,849.54
Tasa interna de retorno (TIRE): 69.49%

Análisis: Los indicadores son muy buenos debido a los ingresos proyectados por las mejoras productivas (8,9 y 10 huevos adicionales). El periodo de recuperación es muy corto, el VANE nos dice que el flujo generado en ese tiempo supera ampliamente la inversión, y la TIRE es muy atractiva para invertir.

Escenario Conservador

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos por mejoras productivas*		11,125.73	11,125.73	13,907.16	13,907.16	16,688.60
Ingresos por ahorros de energía**		1,160.96	1,160.96	1,160.96	1,160.96	1,160.96
Gastos operativos		960.00	1,008.00	1,058.40	1,111.32	1,166.89
Inversión	-31,237.11					
Total	-31,237.11	11,326.69	11,278.69	14,009.72	13,956.80	16,682.67

Periodo de recuperación de la Inversión (años): 2.62
Valor actual neto (VANE): \$ 7,576.79
Tasa interna de retorno (TIRE): 29.85%

Análisis: Los indicadores son aceptables debido a los ingresos proyectados por las mejoras productivas (4,5 y 6 huevos adicionales). El periodo de recuperación es corto, el VANE nos dice que el flujo generado en ese tiempo supera moderadamente la inversión, y la TIRE es atractiva para invertir.

Escenario Pesimista

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos por mejoras productivas*		2,781.43	2,781.43	5,562.87	5,562.87	8,344.30
Ingresos por ahorros de energía**		1,160.96	1,160.96	1,160.96	1,160.96	1,160.96
Gastos operativos		960.00	1,008.00	1,058.40	1,111.32	1,166.89
Inversión	-31,237.11					
Total	-31,237.11	2,982.39	2,934.39	5,665.42	5,612.50	8,338.37

Periodo de recuperación de la Inversión (años): 5.68
Valor actual neto (VANE): \$ -17,377.77
Tasa interna de retorno (TIRE): -5.48%

Análisis: Los indicadores no son buenos debido a que los ingresos proyectados por las mejoras productivas son muy pobres (1,2 y 3 huevos adicionales). El periodo de recuperación es largo, el VANE nos dice que el flujo generado en ese tiempo no supera la inversión, y la TIRE es muy desalentadora para invertir.

Nota: Para el cálculo del VANE se empleó un $i=20\%$ como costo de oportunidad del capital.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 17: Cuadrante mágico de Gartner 2015 respecto a fabricantes de infraestructura inalámbrica.

Fuente: Gartner 2015

Anexo 18: Imágenes de la aplicación

Fuente: www.osram.com/lightify-4you

Home

Standard settings, status overview, groups and scenes

Fuente: www.osram.com/lightify-4you

Group settings

Fuente: www.osram.com/lightify-4you

Add product

Fuente: www.osram.com/lightify-4you

Light Control

Fuente: www.osram.com/lightify-4you

Scheduler

Fuente: www.osram.com/lightify-4you

Anexo 19: Características técnicas del gateway y foco Lightify

Fuente: Elaboración propia

Anexo 20: El ciclo de vida de una red de Cisco (PBM)

Actualmente Cisco está introduciendo un simplificado ciclo de vida de la red de tres fases llamado Plan, Build y Manage, el cuál es sucesor del histórico ciclo de seis fases: Prepare, Plan, Design, Implement, Operate y Optimizar, más conocido como PPDIOO.

El ciclo de vida la una red de Cisco - PBM

Fuente: Bruno y Jordan 2017:10

Plan (Planificar): Esta fase incluye procesos para la evaluación y estrategia de la red, diseño de redes y definición de un plan.

Build (Construir): Esta fase incluye procesos para la validación de la solución, el despliegue de nuevas soluciones informáticas y de red, y la migración a nuevas infraestructuras.

Manage (Gestionar): Esta fase incluye procesos para soporte de productos, soporte de soluciones, optimización, y gestión de operaciones de la red.

Anexo 21: Hoja técnica del foco Lightify LF CLAS 60 TW E27

TECHNICAL DATA

	Electrical data					Photometrical data					
Product description	Power factor λ	Nominal wattage	Claimed equiv. conventional lamp power	Rated wattage	Nominal voltage	Light color (designation)	Color rendering index Ra	Nominal luminous flux	Lumen main.fact.at end of nom.life time	Rated luminous flux	Rated peak intensity
LF CLAS A TW E27 ¹⁾	0.70	9.50 W	60 W	9.50 W	240 V	Tunable White	>80	810 lm	0.70	810 lm	110 cd

				Light technical data			Dimensions & weight		Lifespan		
Product description	Adjustable color temperature		Color temperature	Warm-up time (60 %)	Light control	Starting time	Diameter	Length	Lumen maintenance at end of service life		Rated lamp life time
LF CLAS A TW E27 ¹⁾	2700...6500 K		2500 K ²⁾	0.43 s	Adjustable color temperature	0.4 s	60.0 mm	110.0 mm	0.70		20000 h

				Additional product data	Capabilities		Certificates & standards	
Product description	Nominal lamp life time		Number of switching cycles	Base (standard designation)	LIGHTIFY technology	Dimmable	Energy consumption	Energy efficiency class
LF CLAS A TW E27 ¹⁾	20000 h		100000	E27	Yes	Yes ³⁾	10 kWh/1000h	A+

	Country specific categorizations	
Product description	ILCOS	Order reference
LF CLAS A TW E27 ¹⁾	DRAA/F-10-220-240-E27-60/110	LF CLA 60 TW FR

¹⁾ All technical parameters apply to the entire lamp/Due to the complex production process for light-emitting diodes, the typical values shown for the technical LED parameters are purely statistical values that do not necessarily match the actual technical parameters of each individual product, which can vary from the typical value/in development, data preliminary

²⁾ Reference color temperature

³⁾ Via LIGHTIFY function

Fuente: Osram.com

Anexo 22: Hoja técnica del Access Point D-LINK DAP-2330

Technical Specifications		
General		
Device Interfaces	• 802.11b/g/n wireless ¹	• 1 Gigabit LAN PoE port
LED	• Power / Status	
Standards	• IEEE 802.11b/g/n ¹	• IEEE 802.3u/ab/af
Wireless Frequency Range	• 2.4 to 2.4835 GHz	
Antennas	• Two internal 3 dBi	
Maximum Output Power	• 26 dBm	
Functionality		
Security	• WPA-Personal • WPA-Enterprise • WPA2-Personal • WPA2-Enterprise • WEP 64/128-bit encryption	• SSID broadcast disable • MAC address access control • Network Access Protection (NAP) • Internal RADIUS server
Network Management	• Telnet • Secure Telnet (SSH) • HTTP • Secure HTTP (HTTPS)	• Traffic control • SNMP • D-Link Central WiFManager • AP Array
Physical		
Dimensions	• 170 x 170 x 28 mm (6.69 x 6.69 x 1.1 inches)	
Weight	• 288.2 grams (10.16 ounces) with antennas	
Operating Voltage	• 12 V / 1 A or 802.3af PoE	
Maximum Power Consumption	• 4.8 Watts	
Temperature	• Operating: 0 to 40 °C (32 to 104 °F)	• Storage: -20 to 65 °C (-4 to 149 °F)
Humidity	• Operating: 10% to 90% non-condensing	• Storage: 5% to 95% non-condensing
Certifications	• FCC • IC • CE	• UL • Wi-Fi® Certified
Antenna Pattern		
Orientation	H-Plane	E-Plane
Ceiling Mounted
Wall Mounted

Nota: El EIRP es de 20 dBm (<https://fk.by/tochka-dostupa-d-link-dap-2330-32015>)

Fuente: D-Link.com

Anexo 23: Hoja técnica del Switch D-Link DGS-1008P

Technical Specifications

What this product does

The DGS-1008P offers an economical way for businesses to benefit from the increased bandwidth of Gigabit Ethernet. It provides 8 Gigabit ports for fast server deployment to meet increasing network loads. The Gigabit PoE ports provide a larger bandwidth for high speed network applications, especially IEEE 802.11n Access Points, high resolution video cameras, and IP phones.

Your Network Setup

Key Features

- 8 10/100/1000 Mbps Gigabit Ports
- Auto MDI/MDIX Crossover for all ports
- Store-and-forward Switching Scheme
- Full/half-duplex for Ethernet/Fast Ethernet Speeds
- IEEE 802.3x Flow Control
- Plug-and-play Installation
- Built-in D-link Green Technology
- RoHS Compliant
- IEEE 802.1p QoS (4 Queues, Strict Mode)
- Supports Cable Diagnostics
- Supports 9220 KBytes Jumbo Frames

Switching Capability

- 16 Gbps

Standards

- IEEE 802.3 10BASE-T Ethernet
- IEEE 802.3u 100BASE-TX Fast Ethernet
- IEEE 802.3ab 1000BASE-T Gigabit Ethernet
- ANSI/IEEE 802.3 NWay Auto-negotiation
- IEEE 802.3x Flow Control
- IEEE 802.1p QoS

PoE Features

- Supports IEEE 802.3af
- Supplies power to PD: up to 15.4 Watts
- Total PoE budget: 52 Watts
- PoE port count/Average PoE watts per port: 4 (Port 1 - 4) / 13 Watts

Data Transfer Rates

- Ethernet:
 - 10 Mbps (half duplex)
 - 20 Mbps (full duplex)
- Fast Ethernet:
 - 100 Mbps (half duplex)
 - 200 Mbps (full duplex)
- Gigabit Ethernet
 - 2000 Mbps (full duplex)

Power Consumption

- Power On (Standby):
 - DC input: 0.48 Watts
 - AC input: 2.1 Watts
- Maximum (PoE Off)
 - DC input: 4.48 Watts
 - AC input: 6.2 Watts
- Maximum (PoE On)
 - DC input: 57.83 Watts
 - AC input: 63.2 Watts

Power Adapter

- AC input: 100 to 240 VAC, 50/60 Hz
- DC output: DC 48 V/1.25 A (60 Watts)

Operating Temperature

- Device:
 - 0 to 50 °C (32 to 122 °F)
- External Power Adapter:
 - 0 to 40 °C (32 to 104 °F)

Topology

- Star

Media Interface Exchange

- Auto MDI/MDIX adjustment for all ports

Network Cables

- 10BASE-T:
 - UTP CAT 3/4/5/5e (100 m max.)
 - EIA/TIA-568 100-ohm STP (100 m max.)
- 100BASE-TX, 1000BASE-T:
 - UTP CAT 5/5e (100 m max.)
 - EIA/TIA-568 100-ohm STP (100 m max.)

LED Indicators

- Per port: Link/Activity/Speed/PoE Status
- Per device: Power/PoE Max

Transmission Method

- Store-and-forward

MAC Address Table

- 4K Entries per device

MAC Address Learning

- Automatic update

Packet Filtering/Forwarding Rates

- Ethernet: 14,880 pps per port
- Fast Ethernet: 148,800 pps per port
- Gigabit Ethernet: 1,488,000 pps per port

RAM Buffer

- 192 KBytes per device

Storage Temperature

- -40 to 70 °C (104 to 158 °F)

Operating Humidity

- 0% to 95% RH non-condensing

Storage Humidity

- 0% to 95% RH non-condensing

Device Dimensions (W x D x H)

- 190 x 120 x 38 mm (7.5 x 4.7 x 1.5 inches)

Certifications

- FCC Class B
- ICES-003 Class B
- CE Class B
- C-Tick Class B
- VCCI Class B
- cUL
- LVD

Fuente: D-Link.com