

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO



**ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
EDIFICIO INTELIGENTE Y AMBIENTALMENTE SOSTENIBLE SOBRE
UNA RED IP CONVERGENTE**

Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería de las
Telecomunicaciones que presenta

CARLOS ANDRÉS DÍAZ ROJAS

Dirigido por

MSC. ALESSANDRO DEFILIPPI ELÍAS

San Miguel, 2016

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ALCANCE DEL TRABAJO	8
INTRODUCCIÓN.....	9
HIPÓTESIS EXPLORATORIA.....	11
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE	17
2.1 Edificios comerciales en la actualidad	17
2.1.1 Arquitectura actual de los sistemas de automatización de edificios ...	17
2.1.2 Visión a futuro de sistemas de automatización de edificios	18
2.2 Transición a Edificios Inteligentes.....	18
2.2.1 Sistemas TIC Fundamentales.....	18
2.2.2 Sistemas TIC Básicos.....	19
2.2.3 Sistemas de Valor Agregado	19
2.3 Convergencia de sistemas de edificio.....	19
2.4 Beneficios tecnológicos	20
2.5 Generación de Valor de los Edificios Inteligentes	22
2.6 Edificios Ambientalmente Sostenibles en el Perú con Certificación LEED	24
2.7 Conocimientos Teóricos Previos	24
2.7.1 Eficiencia Energética	24
2.7.2 Gases de Efecto Invernadero	25
2.7.3 Huella de Carbono.....	25
2.8 Caracterización de un Edificio Tipo.....	27
2.8.1 Características físicas del edificio	29
2.8.2 Sistemas en un edificio.....	36
CAPÍTULO 3: DISEÑO DE ARQUITECTURA ‘GREEN-IP’	39
3.1 Soluciones de Red Core/MAN	40
3.1.1 Bypass Óptico de Plano IP (IPoDWDM)	40
3.1.2 Optimización de Algoritmos	47
3.2 Soluciones de Centros de Datos	52
3.2.1 Virtualización de Equipamiento.....	52
3.2.2 Cloud Computing.....	62
3.3 Soluciones de Sedes Principales y Remotas.....	72
3.3.1 Convergencia de Sistemas de TI.....	72

3.3.2 Ethernet Eficiente (802.3az)	78
CAPÍTULO 4: APLICACIÓN DE ARQUITECTURA GREEN-IP Y ANÁLISIS DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA.....	84
4.1 Arquitectura Green-IP.....	84
4.2 Ahorro Energético Teórico y Práctico	86
4.3 Estimación de Ahorro Global de un Edificio Inteligente.....	86
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RENTABILIDAD	89
5.1 Descripción de Equipamiento Requerido.....	89
5.2 Determinación de Diferencial de CAPEX.....	90
5.3 Determinación de Diferencial de OPEX	93
5.4 Determinación de Ahorro Económico y PayBack.....	94
CONCLUSIONES.....	96
RECOMENDACIONES.....	98
BIBLIOGRAFÍA.....	99
ANEXO 1: CÁLCULO DE CONSUMO Y AHORRO ENERGÉTICO DE SOLUCIONES DE AIRE ACONDICIONADO, ILUMINACIÓN Y TELEFONÍA.....	104
1 Determinación de sistemas de estudio.....	104
2 Sistema de Iluminación	105
2.1 Estudio de campo.....	105
2.2 Supuestos del cálculo energético	106
2.3 Cálculo de consumo energético.....	107
3 Sistema de Aire Acondicionado y Calefacción (HVAC)	110
3.1 Estudio teórico.....	110
3.2 Supuestos de cálculo energético	113
3.3 Cálculo de consumo eléctrico	114
4 Sistema de Telefonía IP.....	117
4.1 Cálculo teórico.....	118
4.1.1 Teléfonos de Gama Media.....	118
4.1.2 Teléfonos de Gama Alta	120
4.2 Supuestos del cálculo energético	123
4.3 Cálculo de consumo energético.....	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Distribución de consumo energético global (Mishra, Irwin, Shenoy, Kurose, & Zhu, 2013).....	12
Figura 2 – Distribución de consumo energético de un edificio (Cisco Systems, 2015)	13
Figura 3 – Proyección de Tráfico IP Global (Visual Networking Index (VNI), 2015).	14
Figura 4 – Crecimiento Global de Dispositivos y Conexiones (Visual Networking Index (VNI), 2015)	14
Figura 5 – Conceptualización de integración de redes (Karnouskos, Vasseur, Wetterwald, Martocci, & Humpal).....	20
Figura 6 – Actividades que originan la huella de carbono (Ministerio de Energía y Minas del Perú)	25
Figura 7 – Componentes de Control y Automatización de un Edificio (Wetterwald, 2009)	29
Figura 8 – Planta tipo superior del edificio de estudio	32
Figura 9 – Planta tipo superior del edificio de estudio identificando las áreas importantes.....	33
Figura 10 – Planta tipo subsuelo del edificio de estudio.....	34
Figura 11 – Planta tipo subsuelo del edificio de estudio identificando las áreas importantes.....	35
Figura 12 – Conceptualización de un Edificio Inteligente y Convergente desde la perspectiva TIC	38
Figura 13 – Conceptualización de Bypass Óptico (Heddeghem, y otros, 2013)	41
Figura 14 – Ahorro energético porcentual debido al uso del Bypass Óptico (Heddeghem, y otros, 2013)	42
Figura 15 – Redes de prueba para determinar los ahorros energéticos (Heddeghem, y otros, 2013).....	44
Figura 16 – Escenarios de prueba de ahorro energético de Bypass Óptico	45
Figura 17 – Ahorro energético por optimización de algoritmos (Verma, Rizzo, Fernández, Cuevas, & Azcorra, 2012)	49
Figura 18 – Arquitectura de Virtualización (Thiel, 2014).....	54
Figura 19 – Diferenciación del Centro de Datos empresarial, donde se muestra un enfoque tradicional y un enfoque virtualizado	56
Figura 20 – Cuadro comparativo del impacto que tiene el nivel requerido de procesamiento de información en el nivel de consumo energético (Jin, Wen, & Chen, 2011).....	57

Figura 21 – Arquitectura Referencial de una Nube (Cisco Systems, 2009)	63
Figura 22 – Topología detallada del Centro de Datos de un edificio inteligente	66
Figura 23 – Arquitectura de red de alto nivel de la organización, donde se muestra la interconexión de distintas sedes con el centro de datos.....	67
Figura 24 – Estimación de ahorro energético por consolidación de servidores y aplicaciones ubicadas en distintas sedes en dos centro de datos redundantes	68
Figura 25 – Conceptualización tradicional de un edificio con redes paralelas (Cisco Consulting Services, 2014)	73
Figura 26 – Conceptualización de edificio convergente e inteligente (Cisco Consulting Services, 2014)	74
Figura 27 – Arquitectura de red resultante a ser implementada en un edificio inteligente y que corresponde a un edificio inteligente	77
Figura 28 – Funcionamiento de Ethernet Eficiente en tramas de red (Christensen, y otros, 2010)	80
Figura 29 – Comparación de gasto energético con uso de Ethernet Eficiente (Christensen, y otros, 2010).....	81
Figura 30 – Detalle de arquitectura de red, donde se muestra el acceso remoto, a través de la WAN/Internet, a la red interna del edificio inteligente.....	84
Figura 31 – Arquitectura Green IP	85
Figura 32 – Luminaria encontrada en el estudio de campo a un edificio tradicional en San Isidro, Lima, Perú	105
Figura 33 – Cuadrante mágico de Gartner de Telefonía IP que justifica la elección de Cisco como fabricante de referencia en el cálculo de consumo energético (Gartner, 2015)	118
Figura 34 – Teléfono IP Cisco clase 7821 de clase media seleccionado para realizar los cálculos de consumo energético de la telefonía IP en el edificio (Cisco Systems Inc., 2015).....	119
Figura 35 – Teléfono IP Cisco clase 9951 de gama alta seleccionado para realizar los cálculos de consumo energético de la telefonía IP en el edificio (Cisco Systems Inc., 2015).....	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Detalle de diversos factores de emisión de dióxido de carbono, según el tipo de fuente energética	27
Tabla 2 – Características generales del edificio, obtenidas a partir del estudio de campo.....	31
Tabla 3 – Resultados de laboratorio del cálculo de ahorro energético en tres escenarios de topologías distintas debido al bypass óptico	43
Tabla 4 – Ahorro Energético de Bypass Óptico, en un escenario práctico	47
Tabla 5 – Consumo energético de Teléfono IP Cisco 9951	50
Tabla 6 – Comparación de escenarios de consumo energético de teléfono IP Cisco 9951	52
Tabla 7 – Consumo eléctrico de un Servidor tipo Chasis Cisco 5108, en base a la utilización de recursos del servidor y a la cantidad de blades instalados	59
Tabla 8 – Detalle del consumo eléctrico del servidor Cisco 5108 en función a la cantidad de blades instalados y a un funcionamiento de 15% de demanda de recursos del servidor	60
Tabla 9 – Detalle del consumo eléctrico del servidor Cisco 5108 en función a la cantidad de blades instalados y a un funcionamiento de 50% de demanda de recursos del servidor	61
Tabla 10 – Detalle del consumo eléctrico del servidor Cisco 5108 al 15% de recursos en el cálculo de optimización de recursos en Cloud Computing	70
Tabla 11 – Detalle del consumo eléctrico del servidor Cisco 5108 en función a la cantidad de blades instalados y a un funcionamiento del 100% de demanda de recursos del servidor	71
Tabla 12 – Nivel de ahorro energético de soluciones convergentes sobre la red IP78	
Tabla 13 – Medición de consumo energético de conmutadores en un laboratorio de simulación al 10% y 100% de capacidad de procesamiento	82
Tabla 14 – Medición de consumo energético de conmutadores en un laboratorio de simulación, al 0%, 10% y 100% de capacidad de procesamiento	82
Tabla 15 – Medición de consumo energético de conmutadores en un laboratorio de simulación, utilizando el protocolo Ethernet Eficiente y al 0% de su capacidad de procesamiento	83
Tabla 16 – Variación porcentual del consumo energético de conmutadores al utilizar Ethernet Eficiente en comparación a su no-utilización	83
Tabla 17 – Resumen de niveles de ahorro energético logrados en un Edificio Inteligente y Convergente con la Arquitectura ‘Green IP’ implementada.....	86

Tabla 18 – Estimación de ahorro energético de Componentes TIC de un Edificio Inteligente y Convergente	87
Tabla 19 – Estimación de ahorro energético Global en un Edificio Inteligente y Convergente	87
Tabla 20 – Detalle de equipamiento a ser utilizado en el análisis de rentabilidad ...	89
Tabla 21 – Detalle de costo unitario de productos, servicio y mano de obra de equipamiento a ser utilizado en el análisis de rentabilidad.....	90
Tabla 22 – Detalle de costo realizado a medida para los sistemas HVAC e Iluminación	90
Tabla 23 – Detalle de cantidad de equipamiento involucrado en implementaciones Tradicional y Green-IP	91
Tabla 24 – Detalle de estimación de CAPEX de componentes IP en un Edificio Tradicional.....	92
Tabla 25 – Detalle de estimación de CAPEX de componentes IP en un Edificio Green-IP.....	93
Tabla 26 – Detalle de ahorro energético comparando las soluciones utilizadas en un Edificio Tradicional en comparación a un Edificio Green-IP.....	94
Tabla 27 – Detalle de estimación de OPEX anual al utilizar la Arquitectura Green-IP	94
Tabla 28 – Detalle de Payback	95
Tabla 29 – Resultados del análisis de campo realizado a un edificio corporativo en San Isidro, Lima, Perú	106
Tabla 30 – Ahorro energético estimado de iluminación (Heschong Mahone Group, Lighting Efficiency Technology) (Lutron, 2013)	108
Tabla 31 – Cálculo energético de la iluminación en el edificio de estudio	110
Tabla 32 – Valor medio de consumo energético de impresora de oficina	112
Tabla 33 – Consumo energético de equipos electrónicos del edificio	112
Tabla 34 – Cálculo energético del sistema de aire acondicionado	117
Tabla 35 – Potencia eléctrica requerida por los teléfonos IP en cuatro escenarios	124
Tafbla 36 – Tiempo de uso de teléfonos IP según los cuatro distintos escenarios	125
Tabla 37 – Cálculo de consumo energético unitario de teléfonos IP en modo normal y optimizado	127
Tabla 38 – Resumen del cálculo de consumo energético de Telefonía IP modo normal y optimizado.....	129
Tabla 39 – Diferencial de consumo energético	129

ALCANCE DEL TRABAJO

El presente trabajo de tesis es de carácter exploratorio, ya que proporciona una visión general del impacto que tienen los elementos de TI en el consumo energético mundial, cómo es que se esto se puede optimizar y un análisis de rentabilidad que permite determinar el diferencial de inversión requerido para implementar un Edificio Inteligente y Convergente en comparación a un edificio tradicional.

En el contenido se desarrolla una arquitectura de optimización energética, basada en componentes de TI que se interconectarán a la red IP a través del protocolo IP. No se incluye un análisis detallado de terminales finales de usuario como PCs, laptops, proyectores, impresoras, entre otros, por más que puedan conectarse a la red alámbricamente o inalámbricamente.

La arquitectura muestra el nivel de interconexión que puede lograr las organizaciones que deseen implementarla. A pesar que el análisis se centra en el edificio, se analiza el nivel de optimización energética que se podría lograr para un conjunto de edificios que se interconectan a un centro de datos centralizado de la misma corporación, a través de las redes MAN/WAN.

El trabajo no desarrolla un diseño de red IP específico y/o diseños específicos de las otras que se mencionan, tampoco soluciones de seguridad específicas o sistemas avanzados de red como balanceadores de carga, IPS, IDS, ISE, optimizadores de tráfico, entre otros. Están fuera del alcance de trabajo.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis aborda el estudio de distintas soluciones de TI que tienen un impacto en la optimización del consumo eléctrico de edificios empresariales en el Perú.

Se plantea el uso de una arquitectura de red ambientalmente sostenible, basada en el protocolo de comunicación IP, denominada Green-IP. Esta arquitectura estará compuesta por un conjunto de soluciones especialmente seleccionadas, que permitirán optimizar el consumo energético en un Edificio Inteligente.

En el primer capítulo se expone el Planteamiento del Problema, en el cual se hace hincapié que el consumo masivo de energía en las ciudades genera un impacto perjudicial al medio ambiente, lo que ocasiona efectos negativos al planeta y a sus habitantes como variaciones drásticas del clima, destrucción de ecosistemas, desaparición de glaciares, enfermedades, inestabilidad económica, entre otros. Se identifica que una de las industrias que realiza mayor consumo energético es Bienes Raíces, especialmente los edificios y que el equipamiento de TI representa un consumo muy representativo en cada uno de estos edificios.

En el segundo capítulo se describe el Estado del Arte y la definición de los Edificios Inteligentes. Además se especifica cómo generan valor y aumentan los beneficios de una organización. Los principales beneficios se categorizan dentro de los social, económico y tecnológico. Cada uno de estos beneficios se desarrolla en detalle. Adicionalmente, se describen las características del edificio que servirá de estudio en el presente trabajo, en base a estudio de edificios localizados en Perú, Canadá, Ecuador, Venezuela, Argentina, Panamá y Uruguay.

En el tercer capítulo se realiza el Diseño la Arquitectura Green-IP en base a soluciones específicamente seleccionadas y que utilizan el protocolo de comunicación IP. Aquí se detalla cómo se pueden integrar múltiples sistemas empresariales y propios del edificio (sistemas de control, automatización y climatización) para optimizar el consumo energético. Esta arquitectura se basa en una única red IP convergente que sea capaz de interconectar y energizar todos los componentes del edificio, optimizando el consumo energético y reduciendo costos de equipamiento e implementación.

En el cuarto capítulo se detalla la aplicación de la Arquitectura Green-IP y Optimización Energética, donde se muestra en un diagrama esquemático el alcance

de conectividad, y consecuente ahorro energético, de la red LAN/MAN/WAN. Además, se detalla el ahorro energético logrado por cada una de las soluciones del edificio caracterizado para el estudio y la estimación del ahorro total en todo el edificio desde la perspectiva Inteligente en comparación de la tradicional.

En el quinto capítulo se describe el Análisis de Rentabilidad de la implementación de un Edificio Inteligente y Convergente. Aquí se detallan los resultados sobre la conveniencia, o no, de realizar una implementación de este tipo en el Perú.

Finalmente, se brindan las conclusiones y recomendaciones que han sido resultado del presente trabajo de tesis. Adicionalmente, se incluyen el Anexo 1, donde se detalla la información que se recabó en el estudio de campo realizado a dos edificios corporativos en San Isidro y San Borja en Lima, Perú.



HIPÓTESIS EXPLORATORIA

La implementación de la Arquitectura de Green-IP permite optimizar el consumo energético global en un edificio empresarial, por lo menos, en un 15% en comparación con un edificio implementado con tecnología tradicional. Este ahorro energético permitirá cubrir la inversión necesaria para la implementación de un Edificio Inteligente y Convergente en un periodo máximo de cinco (05) años.



CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El mundo se encuentra sumergido en una etapa de producción sin límites, en la cual se demanda cada vez más energía y no se respeta las condiciones del medio ambiente.

De acuerdo al quinto reporte del IPCC (Panel Intergubernamental en Cambio Climático), es posible que a finales del siglo 21 la temperatura de la superficie terrestre se incremente en 1.5°C en comparación con el periodo de 1850-1900, debido a la creciente emisión de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. El 10 de mayo de 2013, los niveles de CO₂ sobrepasaron los 400ppm, algo que no había sucedido desde hace 3 a 5 millones de años (Peng & Yoon Yi, 2013).

Hoy en día, los edificios comerciales tradicionales y viviendas consumen más energía (41%) que cualquier otro sector en la sociedad como el industrial (30%) y transporte (29%). La mayor cantidad de consumo energético de un edificio es por electricidad (70%), la cual es generada en centrales que suelen contaminar aún más el medio ambiente (Mishra, Irwin, Shenoy, Kurose, & Zhu, 2013). En la Figura 1 se muestra la distribución del consumo energético global.

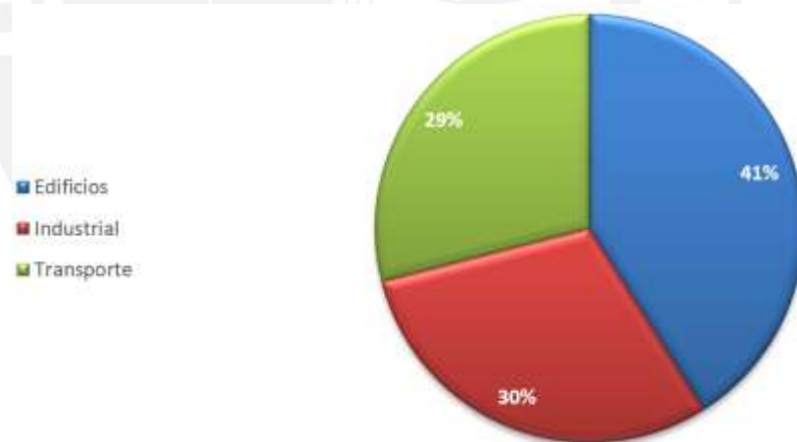


Figura 1 – Distribución de consumo energético global (Mishra, Irwin, Shenoy, Kurose, & Zhu, 2013)

Al analizar el detalle del consumo energético de un edificio comercial, se obtiene que el mayor porcentaje de consumo energético corresponde al aire acondicionado (58%), equipamiento de TI (25%) e iluminación (11%). En la Figura 2 se muestra la distribución del consumo energético de un edificio.

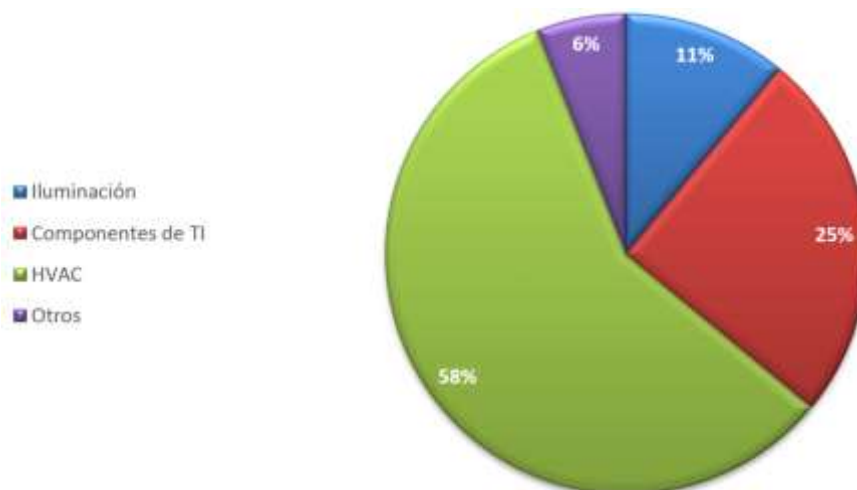


Figura 2 – Distribución de consumo energético de un edificio (Cisco Systems, 2015)

Esta problemática se viene incrementando con el pasar de los años; por ejemplo, en China el consumo de energía se ha incrementado de 10% al 25% del total del consumo en el país desde 1978 y se prevé un incremento constante de 35% en cada año siguiente (Jia, y otros, 2014).

Para reducir el gasto energético, la optimización de la eficiencia energética en los edificios es una prioridad que viene en aumento, debido a los altos niveles de emisión de CO₂ que generan. En grandes edificios comerciales, los ahorros financieros podrían llegar a estar en el orden de 80,000 – 100,000 USD por año (Martani, Lee, Robinson, Britter, & Ratti, 2011).

El problema se agrava, cuando las proyecciones indican que el volumen de tráfico de información a través de redes IP metro (MAN – Metropolitan Area Network) y empresariales (LAN – Local Area Network) se incrementarán a un ritmo exponencial en los próximos diez (10) a quince (15) años. Esto implica que el consumo de energía en este sector se incrementará aún más. En la [Figura 3](#), se aprecia una proyección del incremento exponencial del tráfico IP global en un horizonte de cinco (05) años (Visual Networking Index (VNI), 2015).

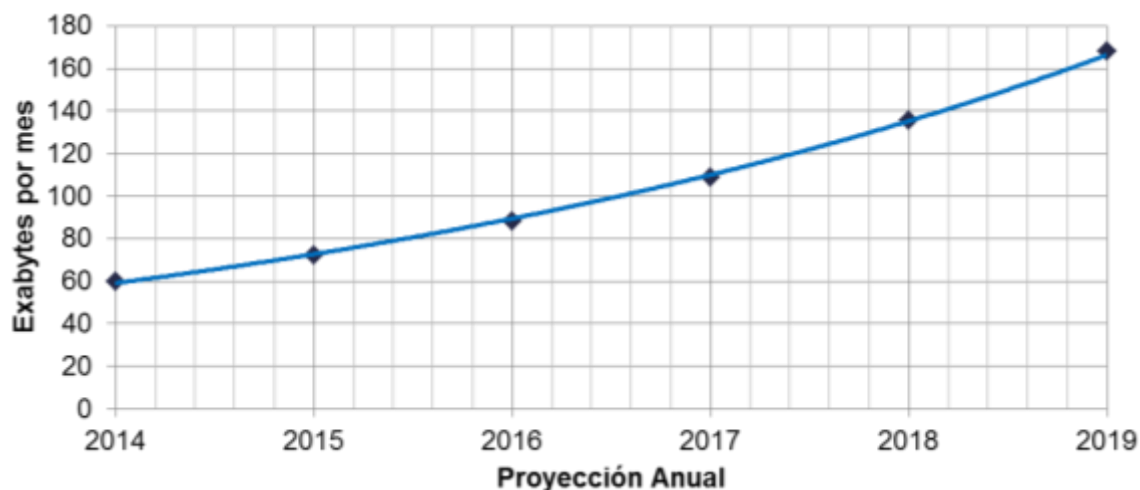


Figura 3 – Proyección de Tráfico IP Global (Visual Networking Index (VNI), 2015)

A partir de los datos brindados por la [Figura 3](#) y tomando como referencia el año 2014, el tráfico IP global podría triplicarse al llegar el año 2019 (Visual Networking Index (VNI), 2015).

Además del incremento de la cantidad de información que se transmitirá por las redes IP, la proliferación de dispositivos también se incrementará, siguiendo la tendencia de Internet de las Cosas (IoT – Internet of Things). En la [Figura 4](#), se aprecia un incremento constante de dispositivos y conexiones a la red IP en un horizonte de cinco (05) años (Visual Networking Index (VNI), 2015).

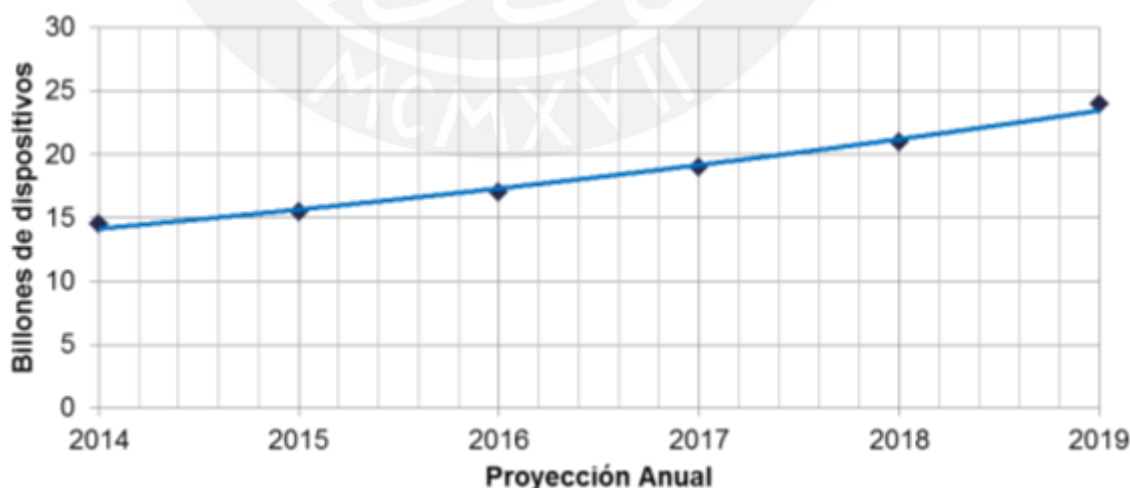


Figura 4 – Crecimiento Global de Dispositivos y Conexiones (Visual Networking Index (VNI), 2015)

Tomando como referencia el año 2014, la cantidad de dispositivos conectados a la red podría llegar a duplicarse. Algunos ejemplos de los dispositivos que se conectarán a la red IP son: computadoras, telefonía IP, video vigilancia, control de acceso, controladores de HVAC, telepresencia, sensores e iluminación (Visual Networking Index (VNI), 2015).

Tanto el incremento de capacidad de procesamiento para transmitir más información por la red, como el incremento de los dispositivos que se conectarán a la red, tendrán un impacto directo en el aumento del consumo energético de los dispositivos TIC de un edificio (Visual Networking Index (VNI), 2015).

De acuerdo al reporte *“Exploring the 2020 global emissions mitigation gap”* publicado por la Unión Europea, se requiere un decremento entre el 15-30% de la emisión de CO₂, hacia el año 2020, para mantener el incremento de temperatura en menos de dos grados Celsius (2°C) (Kumar, Shin, & Buyya, 2011).

Una forma de reducir el impacto al medio ambiente es demostrar a las empresas que se puede obtener rentabilidad económica, a través de la optimización del consumo energético.

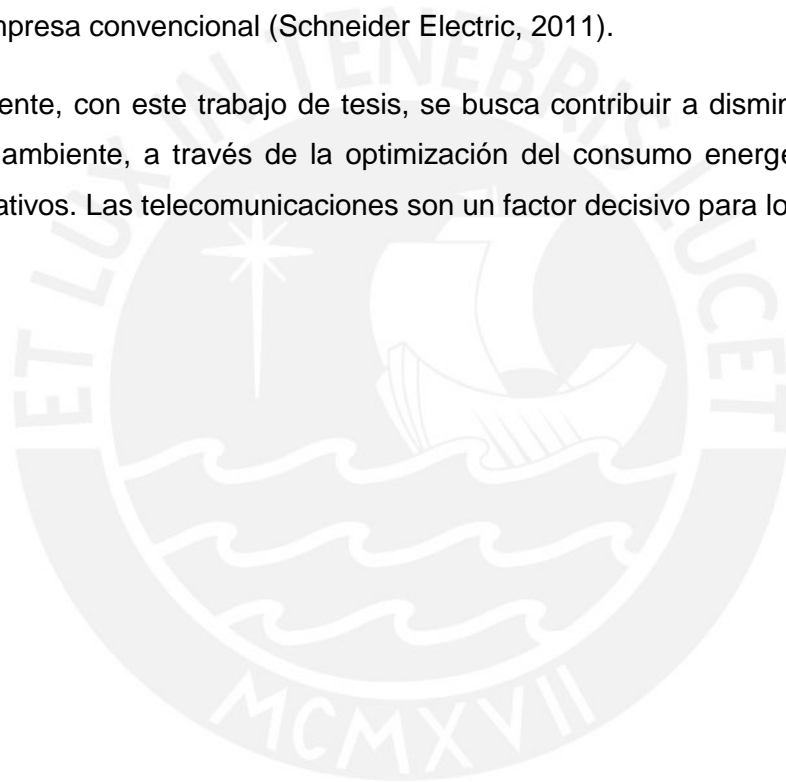
Según un estudio realizado por la firma de consultoría Accenture, implementación de Edificios Inteligentes (definición en el siguiente párrafo) puede reducir el gasto de energía en comparación a edificios tradicionales. La compañía de servicios de alimentos Sysco redujo en 28% el uso de energía en sus edificios y utilizó 18 millones de kWh menos. Un estudio realizado por el Laboratorio de Berkeley a 24 edificios encontró ahorros de energía entre un 10% y 25%. Finalmente, Accenture indica que la implementación de Edificios Inteligentes tiene un tiempo de payback entre 18 a 24 meses, con ahorros de energía entre 10% y 30% lo cual podría hacer rentable la implementación de este tipo de edificios para reducir el impacto al medio ambiente (Accenture, 2011).

Un Edificio Inteligente es una construcción física que cuenta con sistemas, servicios y sensores que recolectan información en tiempo real sobre distintas variables del edificio y que permite describir en tiempo real el funcionamiento del edificio y el comportamiento de sus ocupantes. Además, maximiza las funcionalidades, la productividad y el confort de sus ocupantes, a través de la optimización de sus espacios de trabajo, reducción de gastos operacionales y extensión del ciclo de vida del edificio. Permite desarrollar un nuevo modelo económico en el cual los propietarios y/o inquilinos del edificio reciben beneficios tangibles que incluyen

mayores rentas, mayor confort de ocupantes, diferenciación competitiva, entre otros, que serán descritos en mayor detalle en el capítulo de Estado del Arte (Buro Happold, 2013) (Schneider Electric, 2011).

La implementación de un Edificio Inteligente mejora de imagen de una empresa (privada o pública) que demuestra a los ciudadanos o público objetivo que la organización se muestra preocupada por el cuidado del medio ambiente. En una encuesta realizada por Experience Inc. a un grupo de 2500 estudiantes y recién graduados preocupados por el cambio climático, el 81% indicó que es importante trabajar en una empresa que promueve iniciativas de cuidado del medio ambiente y el 79% aceptaría un trabajo en una empresa que cuida el medio ambiente, frente a una empresa convencional (Schneider Electric, 2011).

Finalmente, con este trabajo de tesis, se busca contribuir a disminuir el impacto al medio ambiente, a través de la optimización del consumo energético en edificios corporativos. Las telecomunicaciones son un factor decisivo para lograr este fin.



CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

El presente trabajo de tesis se enfoca en el desarrollo de una arquitectura de comunicaciones, ambientalmente amigable, denominada Green-IP, la cual sea utilizada para diseñar una red IP convergente para Edificios Inteligentes. Esta arquitectura busca reducir el impacto al medio ambiente que ocasiona la quema indiscriminada de combustibles fósiles para generar electricidad.

Las empresas se verán beneficiadas, principalmente, en tres frentes. (i) Obtendrán beneficios económicos a nivel de CAPEX y OPEX, desde el primer día de operaciones del edificio. (ii) Lograrán beneficios tecnológicos, a nivel de optimización de recursos, red convergente robusta y segura, y facilidad de mantenimiento proactivo de los sistemas desde un solo punto centralizado y un único protocolo. (iii) Finalmente, tendrán beneficios de responsabilidad e imagen corporativa, ya que los colaboradores se sentirán a gusto trabajando con tecnología de última generación que les facilite sus labores. Adicionalmente, la marca de la empresa podrá ganar valor en la sociedad como un ente que ayuda al bienestar de la sociedad.

A continuación, se procede a definir el estado actual de los edificios y la tecnología que podrá ser utilizada para formar parte de la Arquitectura Green-IP (Karnouskos, Vasseur, Wetterwald, Martocci, & Humpal) (Humpal, Karnouskos, & Martocci, 2012) (O'Donnell & Wagener, 2007):

2.1 Edificios comerciales en la actualidad

Los edificios comerciales (tradicionales) en la actualidad no han cambiado mucho desde los últimos veinte (20) años. Se describe, a continuación, las características de estos edificios tradicionales (Humpal, Karnouskos, & Martocci, 2012).

2.1.1 Arquitectura actual de los sistemas de automatización de edificios

Tradicionalmente, los sistemas de automatización de edificios están compuestos de uno o más subsistemas que suelen tener, cada uno de ellos, una red física y sistemas de control con estándares y protocolos diferenciados y no integrables entre sí. Además, requieren un cableado físico específico para energizar los componentes de los sistemas.

Los sistemas tradicionales incluyen aire acondicionado, control de iluminación, monitoreo de seguridad, detección de incendios, entre otros.

Los subsistemas están diseñados para operar independientemente o colaborativamente.

Algunos de los protocolos más conocidos que son utilizados y que son distintos a IP son: BACnet, LonWorks, KNX, ZigBee, entre otros.

2.1.2 Visión a futuro de sistemas de automatización de edificios

El diseño tradicional de sistemas de edificio continúa evolucionando, conjuntamente con tecnología, estándares y costos. Se busca que los componentes (sensores) en el edificio sean preferentemente inalámbricos y la conectividad alámbrica pasará a un segundo plano. Sin embargo, debido a regulaciones de cada país, los sistemas contra incendios seguirán siendo alámbricos.

Los sensores de aire acondicionado e iluminación están comenzando a migrar a tecnología inalámbrica, lo que significa una reducción de costos de instalación y una mayor adaptabilidad. Gracias a los avances de la tecnología las redes inalámbricas son tan confiables como las redes cableadas.

2.2 Transición a Edificios Inteligentes

Cuando se ingresa a un edificio de oficinas, un hotel, hospital, supermercados o teatros, muy rara vez solemos preguntarnos cómo funcionan. Solo esperamos que funcionen y que sean cómodos en el interior. Para comprender su funcionamiento, se deben revisar los tres componentes principales de todo Edificio Inteligente: sistemas TIC fundamentales, sistemas TIC básicos y sistemas de valor agregado (Karnouskos, Vasseur, Wetterwald, Martocci, & Humpal) (Humpal, Karnouskos, & Martocci, 2012).

2.2.1 Sistemas TIC Fundamentales

Corresponde a la infraestructura IP, la misma que está compuesta, principalmente, por enrutadores y conmutadores en el interior del edificio. Las aplicaciones incluidas en estos sistemas incluyen correo electrónico, gestión de documentos, acceso a internet, mensajería, entre otros. Nuevas aplicaciones como voz sobre IP (VoIP) y cámaras IP exigen que la red sea más robusta, confiable y que funcione en tiempo real. La robustez de esta red es importante para lograr la convergencia de distintos sistemas y servicios.

2.2.2 Sistemas TIC Básicos

Es tecnología más antigua que los sistemas TIC Fundamentales, ya que han sido instalados en edificios comerciales desde 1970; sin embargo la gran mayoría no tenía la capacidad de comunicarse a través del protocolo IP. Aún son muy utilizados en los edificios y su mantenimiento está a cargo de un grupo de personas con conocimientos específicos de protocolos, estándares y funcionamiento. Estos sistemas buscan incrementar el confort de los ocupantes del edificio. Una característica de estos sistemas es que son monitoreados constantemente para saber los parámetros y tomar acciones de remediación. Algunos de los sistemas controlados son aire acondicionado, iluminación, video vigilancia, control de acceso y otros más.

2.2.3 Sistemas de Valor Agregado

Corresponde a soluciones específicas utilizadas en determinados tipos de negocio como salud, educación, entretenimiento, entre otros, y que proporcionan un nivel más elevado de confort. Un ejemplo del uso de sistemas de valor agregado se puede apreciar en un hospital, ya que estos suelen tener un conjunto de aplicaciones, bases de datos y sistemas propios para el funcionamiento de la empresa. Historias médicas, colaboración entre doctores, telefonía, seguimiento de pacientes, entre otros, son sistemas de valor agregado que pueden ser integrados en la red IP empresarial del edificio.

2.3 Convergencia de sistemas de edificio

Los sistemas TIC fundamentales, básicos y de valor agregado pueden ser implementados y coexistir sobre una misma red IP como aplicaciones independientes. Por ejemplo, las alarmas de seguridad pueden ser dirigidas exclusivamente al departamento de seguridad del edificio a través de correo electrónico, mensajes de texto o aplicaciones móviles, para que estén al tanto de las incidencias. De este modo, otros departamentos del edificio como Finanzas, por ejemplo, no tendrán conocimiento de la información enviada al departamento de seguridad, lo mismo ocurre con la información enviada a otros departamentos, estos solo podrán ver información autorizada. Otro beneficio es la reducción de costos de instalación y mantenimiento de una sola red IP con todos los sistemas interconectados (Karnouskos, Vasseur, Wetterwald, Martocci, & Humpal) (Humpal, Karnouskos, & Martocci, 2012).

Se espera, aunque prácticamente es un hecho, que la tecnología IP sea el protocolo que permita realizar la convergencia de distintos sistemas y arquitectura. A medida que se migra de tecnologías antiguas, se puede apreciar que todo comienza a tener una relación con IP, lo cual hace pensar que la adopción de IP como el protocolo estándar de aplicaciones permitirá tener la convergencia de múltiples sistemas (Karnouskos, Vasseur, Wetterwald, Martocci, & Humpal).

La convergencia de los sistemas de un Edificio Inteligente se puede resumir como: *“Un Edificio Inteligente proporciona nuevas oportunidades de ahorro, debido al uso de tecnología que brinda nuevas funcionalidades y beneficios a los ocupantes del edificio, lo cual permite la atracción y retención de inquilinos; y diferenciación sobre la competencia. Del mismo modo, integra sistemas empresariales, de gestión y de valor agregado sobre una única red IP, lo cual permite tener una única plataforma de comunicaciones para todos los sistemas y dispositivos, lo cual facilita la eficiencia operacional y reduce los gastos operacionales”*. En la [Figura 5](#), se conceptualiza la premisa de integración de redes en un edificio (Karnouskos, Vasseur, Wetterwald, Martocci, & Humpal).

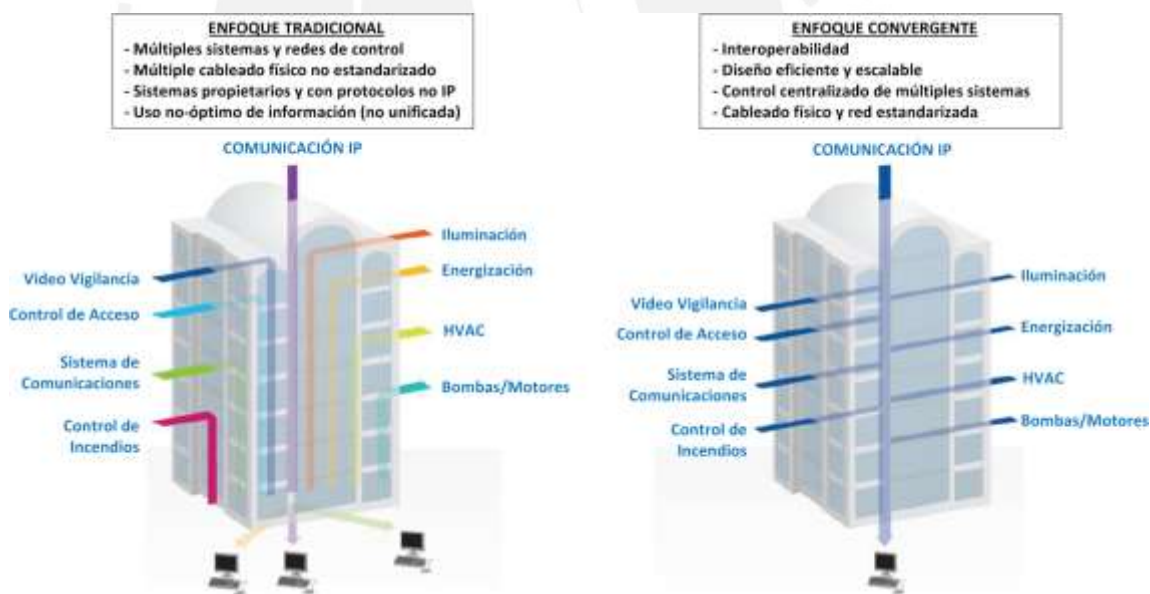


Figura 5 – Conceptualización de integración de redes (Karnouskos, Vasseur, Wetterwald, Martocci, & Humpal)

2.4 Beneficios tecnológicos

Del mismo modo que los elementos de automatización de un edificio (sensores, controladores, sistemas) evolucionan, también lo hace su modo de interconexión.

Estos cambios proporcionan beneficios adicionales como la reducción de los costos de implementación, costos de mantenimiento, mayores funcionalidades y un incremento de la satisfacción de clientes/usuarios, lo que conlleva, a su vez, a una mayor productividad.

A continuación, se describen los beneficios más determinantes de un Edificio Inteligente y Convergente (Karnouskos, Vasseur, Wetterwald, Martocci, & Humpal) (Humpal, Karnouskos, & Martocci, 2012):

- i. **Convergencia de sistemas:** Una sola tecnología es más fácil de monitorear, gestionar, asegurar y reparar que un conjunto de infraestructuras de comunicaciones incompatibles entre sí y de uso específico. La convergencia permitirá una interacción estandarizada entre distintos componentes de sistemas de automatización. Además, esto permitirá que los sistemas evolucionen más rápidamente, ya que las aplicaciones nuevas no van a requerir nuevas redes de comunicaciones.
- ii. **Comunicación IP-nativa:** Una de las diferencias fundamentales entre los sistemas actuales y futuros será la adopción de IP como el protocolo núcleo de comunicaciones. Otra de las motivaciones para tener una red IP nativa es que se crearán sinergias entre distintos sistemas y servicios. Desde un punto de vista técnico, las comunicaciones basadas en IP permitirá la interoperabilidad entre sistemas heterogéneos sin la necesidad del uso de gateways.
- iii. **Cableado estructurado:** Se estandarizan los métodos de instalación y gestión de cableado estructurado en un edificio. La ventaja de este tipo de procedimiento de instalación es proporcionar un método aprobado para el uso, instalación, documentación y uso del cableado de red. Un ejemplo es un sistema basado en IP y que puede ser monitoreado y gestionado directamente desde un centro de control del edificio. En caso de tener dispositivos que no se comuniquen a través de IP, se requeriría cableado distinto y la integración se hace más compleja. El cableado estructurado estandarizado deberá ser de UTP Categoría 6A, como mínimo, para soportar velocidades de transmisión desde 1 Gbps hasta 10 Gbps.
- iv. **Despliegue punto a punto:** Los dispositivos y componentes de gestión deben estar en la capacidad de interactuar directamente entre sí, a través

de una infraestructura IP común y sin el uso de conversores de señal/protocolos (gateways). Esta infraestructura reenviará paquetes de información basado en las políticas definidas en la red. Gracias a esto, se puede crear sistemas flexibles y escalables, los cuales son beneficios fundamentales de una red punto a punto.

- v. **Basado en sistemas TI:** La tendencia actual de los sistemas de automatización, incluyendo sensores y actuadores, es que sean inteligentes e interconectados a través de una red IP. De este modo, las diferencias entre los sistemas clásicos de TI y los sistemas de automatización son, cada vez, menos notorias, ya que usan el mismo protocolo de comunicaciones (IP). Además, las funciones típicas como descubrimiento automático y hallazgo de la descripción de los dispositivos son soportados por el protocolo IP.
- vi. **Funcionalidades tecnológicas:** Las funcionalidades más importantes, proporcionadas por la tecnología, son (O'Donnell & Wagener, 2007):
- Mayor diversidad de herramientas para la fuerza de trabajo (telefonía IP, movilidad, aplicaciones, etc.)
 - Internet de alta velocidad para ofrecer acceso de banda ancha
 - Telefonía IP para comunicaciones unificadas
 - Servicios VPN para soportar trabajadores remotos y operaciones seguras
 - Servicios inalámbricos para servicios de movilidad
 - Gestión de visitantes con capacidad de recepcionista remoto
 - Conferencia de audio y video, mejorado con capacidad de tele presencia
 - Medios interactivos para interacciones más efectivas
 - Señalización digital para promover nuevos servicios y generar publicidad

2.5 Generación de Valor de los Edificios Inteligentes

Un Edificio Inteligente crea valor en cada una de las necesidades y requerimientos de los interesados en implementar un edificio de estas características (O'Donnell & Wagener, 2007):

- Mejora la experiencia del usuario

- Mejora la experiencia de los invitados
- Atrae colaboradores (personal) de alta calidad
- Genera ambientes divertidos que inspiran, proporcionan confort, incrementa la productividad y entretenimiento
- Incrementa la diferenciación con servicios de valor agregado frente a la competencia
- Mejora el rendimiento con recursos optimizados
- Optimiza el uso de recursos
- Reduce el consumo energético y el uso de recursos naturales
- Incrementa la productividad de la fuerza de ventas
- Optimiza el uso de recursos físicos
- Mejora el rendimiento de los ambientes del edificio
- Genera nuevos ingresos a partir de nuevos servicios
- Genera nuevos modelos de negocio para incrementar la oportunidad en el mercado

La generación de valor en los Edificios Inteligentes se puede resumir en seis (06) grupos (O'Donnell & Wagener, 2007):

- **Diferenciación frente a otras empresas:** La organización logra un alto impacto social a través de la implementación de nuevas tecnologías y cuidado del medio ambiente. Esto hace que sus clientes lo relacionen directamente con la innovación y la calidad, lo cual los fideliza.
- **Prestación de Servicios gestionados:** La organización logra nuevas oportunidades de negocio, ya que al tener una plataforma robusta podría llegar a prestar servicios a otras empresas en un marco Business to Business. Un ejemplo común, es que una empresa brinde almacenamiento de información, prestación de servicios en la nube, atención remota, entre muchos otros.
- **Simplificación de procesos:** Al reducir la cantidad de sistemas, estos se pueden optimizar en menos hardware y se puede lograr procesos más eficientes.
- **Ambiente adaptable:** Flexibilidad y optimización de espacios de trabajo.
- **Movilidad de usuarios:** Incremento de productividad de los colaboradores, ya que pueden mantener contacto en cualquier momento y lugar.
- **Reducción de costos:** Optimización de espacio físico, equipamiento tecnológico, uso de energía y operaciones de mantenimiento.

2.6 Edificios Ambientalmente Sostenibles en el Perú con Certificación LEED

La certificación LEED es un beneficio tangible por las empresas administradoras de edificios, empresas que arriendan oficinas y a los trabajadores que las ocupan. Por ejemplo, para las empresas administradoras, la certificación LEED deja eficiencias importantes en la gestión y administración del edificio, pues permite ahorros de agua y energía. Para quienes habitan el edificio también hay beneficios, entre ellos el trabajar en un ambiente saludable, libre de contaminación (como el humo de cigarro) y disponer de estacionamientos para bicicletas, por decir algunas.

Todo lo anterior, permite la preservación de áreas verdes, facilita el acceso a transporte público, ahorra energía y agua, utiliza materiales de limpieza y construcción que tengan menor impacto sobre el medio ambiente.

A continuación se describen algunos edificios en Perú que cuentan con la certificación LEED:

- Primer Local LEED Silver: Inchcape - Sala de Exhibición de Vehículos y Taller Automotriz BMW, Surco, Lima, Mayo.2014.
- Primer Edificio LEED Silver: Edificio Real 10, San Isidro, Lima, Diciembre.2014
- Primera Universidad LEED Silver: USIL - Campus Gran Almirante Miguel Grau, La Molina, Lima, Enero.2015
- LEED Gold: PUCP, Complejo de Innovación Académica, San Miguel, Lima, Junio.2015.

2.7 Conocimientos Teóricos Previos

En esta sección se describen conceptos que deben ser tomados en cuenta, ya que se mencionan en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

2.7.1 Eficiencia Energética

La eficiencia energética es un proceso por el cual se optimiza el consumo energético en edificios y cualquier otro sector que demande energía. Esto permite reducir la huella de carbono, ya que se reducen las emisiones de CO₂ (Ministerio de Energía y Minas del Perú).

2.7.2 Gases de Efecto Invernadero

Los gases de efecto invernadero son esenciales para la vida, porque gracias a ellos la temperatura global del planeta se estabiliza en aproximadamente 15 °C. De lo contrario las temperaturas serían muy bajas, llegando a temperaturas de -18 °C. Sin embargo, cuando estos gases se incrementan en exceso, la temperatura del planeta aumenta más allá de los niveles normales, poniendo en riesgo la supervivencia de los seres vivos. Los gases de efecto invernadero son producidos por el uso de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón, leña, etc.), siendo el dióxido de carbono, el principal contaminante que origina el incremento de la temperatura del planeta (Ministerio de Energía y Minas del Perú) (Ministerio de Energía y Minas del Perú). En la [Figura 6](#) se muestran la proporción de gases que originan el efecto invernadero en el Perú (Ministerio de Energía y Minas del Perú).

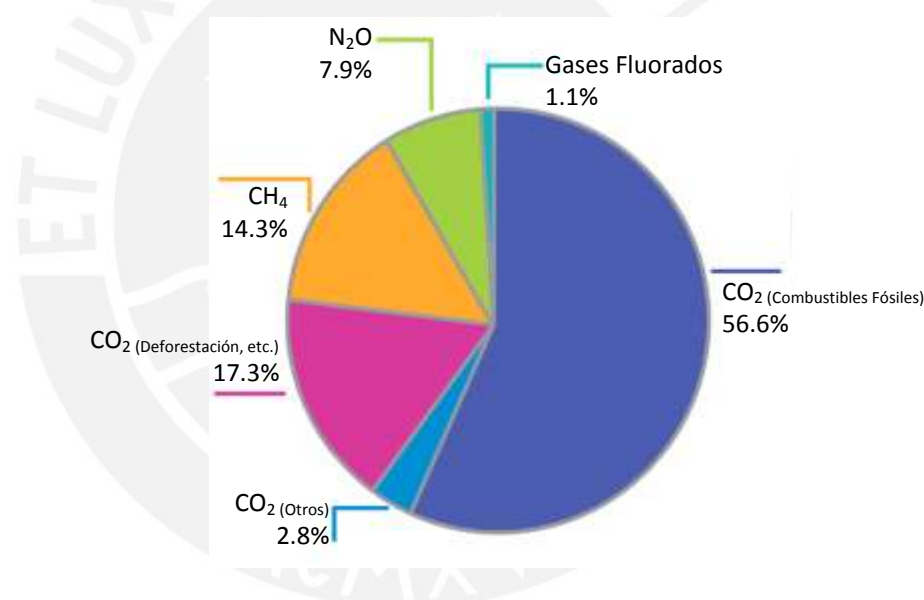


Figura 6 – Actividades que originan la huella de carbono (Ministerio de Energía y Minas del Perú)

2.7.3 Huella de Carbono

La huella de carbono es la medición de los gases de efecto invernadero (GEI) expresadas en kilogramos de dióxido de carbono (CO₂) que son liberados a la atmósfera como resultado de las actividades cotidianas del ser humano o la producción de un bien o servicio. Comprende todo el proceso de producción desde las materias primas hasta el tratamiento de los residuos (Ministerio de Energía y Minas del Perú).

La medición de la huella de carbono personal o comercial permite identificar las principales fuentes de emisiones de CO₂, diseñar programas efectivos de reducción y alcanzar mejoras ambientales, económicas y sociales.

2.7.3.1 Consecuencias de la huella de carbono

El incremento de las emisiones de CO₂ ocasiona daños muy significativos en el planeta, como (Ministerio de Energía y Minas del Perú):

- i. **Cambios climáticos:** incremento de la temperatura global del planeta Tierra, deshielo de los glaciares y los polos, incremento o disminución de las precipitaciones.
- ii. **Cambios en la producción:** pérdidas o disminución en la producción agrícola, pecuaria (ganadera) y pesquera.
- iii. **Salud humana:** reaparición de enfermedades tropicales ya erradicadas, como el dengue, la malaria, el cólera e incremento de casos de cáncer a la piel, etc.
- iv. **Provisión de agua:** evaporación adicional de ríos y lagos, disminución en la productividad de la energía eléctrica y, en consecuencia, menor suministro de agua potable.
- v. **Biodiversidad:** daños irreversibles en los ecosistemas que desaparecen con pequeños cambios de temperatura.

2.7.3.2 Cálculo de huella de carbono

Para calcular las emisiones de CO₂ se emplea la Ecuación 1 (Ministerio de Energía y Minas del Perú):

Ecuación 1 – Cálculo de Emisiones de Dióxido de Carbono

Emisiones (kg CO₂)

$$= \text{consumo de energía (un)} \times \text{factor de emisión (kg } \frac{\text{CO}_2}{\text{un}})$$

Donde:

Consumo de energía es la cantidad de energía eléctrica, gasolina, diésel, GLP, gas natural, leña, etc., expresado en sus unidades correspondientes: kWh, galones, kilogramos, metros cúbicos.

Factor de emisión es un valor definido que expresa la cantidad de CO₂ emitido por cada unidad del combustible. Los factores más utilizados se muestran en la Tabla 1.

FACTORES DE EMISIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO POR KILOWATTS		
FUENTE ENERGÉTICA	FACTOR	UNIDADES
Energía Eléctrica	0.615	kgCO ₂ /kWh
GLP	2.75	kgCO ₂ /kg
Diésel	9.7	kgCO ₂ /galón
Gasolina	7.9	kgCO ₂ /galón
Leña	1.7	kgCO ₂ /kg

Tabla 1 – Detalle de diversos factores de emisión de dióxido de carbono, según el tipo de fuente energética

2.8 Caracterización de un Edificio Tipo

Para realizar los análisis y cálculos en el presente trabajo de tesis se han definido las características típicas de un edificio dedicado a fines corporativos, el cual contiene oficinas de trabajo, espacios dedicados a centro de llamadas (call centers), salas de capacitaciones, salas de reuniones, entre otros.

Se tomó como base el estudio de campo realizado a edificios en San Isidro y San Borja (Perú) y el estudio y análisis de planos, estándares, lineamientos y buenas prácticas de diseño e implementación de edificios financieros en Ecuador, Venezuela, Argentina, Panamá y Uruguay.

La definición del edificio típico se ha realizado en base a los siguientes criterios:

- **Infraestructura física:** Se reconocen principalmente los siguientes espacios físicos:
 - **Espacios de Trabajo:** Áreas en una planta de un edificio dedicadas a ubicar al personal de trabajo. En estos espacios se ubican los escritorios, computadores, teléfonos y cualquier otro equipamiento para que el personal pueda realizar su trabajo diario.
 - **Salas de Reunión:** Áreas en una planta de un edificio dedicadas para llevar a cabo reuniones entre dos o más personas. Suelen tener

un sistema de telefonía multiusuario y/o sistemas de tele-presencia para realizar las reuniones de la forma más personalizada posible.

- **Plantas Superiores:** Niveles superiores de un edificio (a partir del nivel del suelo) donde se encuentran ubicados los espacios de trabajo de los colaboradores, oficinas, salas de reunión entre otros. Estos niveles son los que albergan a la mayor cantidad del personal de un edificio.
- **Subsuelos:** Niveles inferiores de un edificio (por debajo del nivel del suelo) donde se ubican estacionamientos, salas de máquinas, generadores, tanques de extinción, entre otros. Estos niveles tienen la menor cantidad de personal de un edificio y, en muchos cálculos relacionados a personas, se pueden despreciar numéricamente.
- **Salas de Telecomunicaciones:** Espacios físicos en cada planta del edificio donde se concentran las conexiones alámbricas de todos los dispositivos que requieren conectarse a la red IP (PCs, teléfonos IP, cámaras IP, control de acceso, impresoras, entre otros). Las salas de telecomunicaciones suelen denominarse también como salas TEC, salas de tecnología, salas de acceso, entre otros.
- **Componentes de control y automatización:** Todo edificio tienen un conjunto de sistemas que permiten su funcionamiento y acondicionamiento para que los usuarios del edificio puedan realizar sus actividades diarios. Algunos de los componentes más conocidos son el aire acondicionado que se encarga de regular la temperatura de los espacios de trabajo, la iluminación, los elevadores, alarmas de seguridad, video vigilancia, detectores de humo, entre otros. En la Figura 7, se puede apreciar un diagrama referencial con un conjunto de soluciones que un edificio tradicional suele tener.

Lo que se busca en el presente trabajo de tesis es interconectar la mayoría de estos componentes a la red IP del edificio para brindar una inteligencia global y un uso coordinado de recursos, lo que generará una optimización de consumo energético en el edificio.

- **Red IP alámbrica e inalámbrica de un edificio:** Para interconectar los componentes de control y automatización del edificio o el equipamiento de TI utilizado por los usuarios del edificio, se requiere que el edificio tenga una red IP alámbrica e inalámbrica para los equipos inalámbricos puedan acceder a la red.

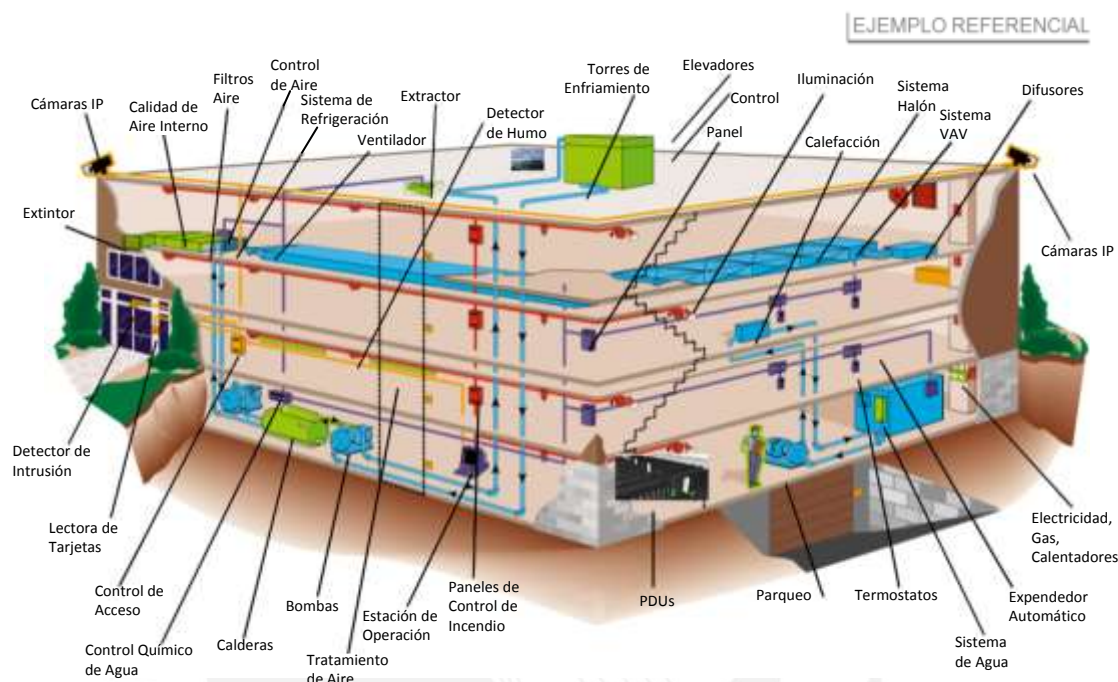


Figura 7 – Componentes de Control y Automatización de un Edificio (Wetterwald, 2009)

2.8.1 Características físicas del edificio

En base al análisis de la información obtenida en el estudio de campo realizado, se han encontrado las siguientes características típicas de un edificio que serán utilizadas en el presente trabajo de tesis:

- **Dimensiones:** El edificio sujeto de estudio tendrá cincuenta metros (50m) de ancho por setenta y tres metros (73m) de largo y dos punto ocho metros (2.8m) de altura.
- **Área construida:** El área construida está relacionada directamente con las dimensiones del edificio; por lo tanto, el área construida del edificio es tres mil seiscientos cincuenta metros cuadrados (3,650m²). De esta área total, se diferencian dos zonas diferentes:

- **Área de espacios de trabajo:** Los espacios de trabajo representan aproximadamente el 80% del área total; por lo tanto, se tienen dos mil novecientos veinte metros cuadrados ($2,920\text{m}^2$) dedicados a espacios de trabajo.
- **Área de salas de reunión:** Las salas de reunión representan aproximadamente el 20% del área total; por lo tanto, se tienen setecientos treinta metros cuadrados (730m^2) dedicados a salas de reunión.
- **Plantas superiores:** En el estudio se encontró una alta variación de la cantidad de plantas de los edificios. Para motivos del presente trabajo se ha determinado que el edificio tendrá once (11) plantas.
- **Subsuelos:** El edificio tendrá cuatro (04) subsuelos que serán utilizados como estacionamientos o zona de descarga de equipamiento.
- **Capacidad de albergue:** Un total de tres mil quinientas (3,500) personas podrán ser ubicadas en todas las plantas y subsuelos del edificio. La mayor cantidad de personas están en las once (11) plantas superiores. Por tal motivo, para el presente estudio se asumirá que todas las personas estarán en las plantas superiores.

Adicionalmente a las características típicas del edificio sujeto de estudio, se observó un patrón de repetición de distribución y diseño de las plantas del edificio y de los subsuelos. Los supuestos del edificio diseñado para este trabajo son los siguientes:

- **Similitud de plantas:** Se han diseñado dos planos de plantas tipos. Un primer plano demuestra la distribución de las salas y espacios de trabajo en las once (11) plantas superiores del edificio; y un segundo plano demuestra la distribución de los espacios en los subsuelos. Estos diseños son de alto nivel, ya que el propósito del presente trabajo es analizar la parte TI y no la infraestructura del edificio en sí. Sin embargo, explicar esta parte, por permitirá entender el propósito del trabajo.

- **Distribución de personas:** Los trabajadores del edificio estarán distribuidos según una distribución normal en las once (11) plantas del edificio. Por lo tanto, cada planta albergará trescientas diecinueve (319) personas.

La información descrita anteriormente, se presenta de forma resumida en la Tabla 2, a continuación:

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EDIFICIO		
CARACTERÍSTICA	VALOR	UNIDADES
Ancho	50	metros
Largo	73	metros
Altura	2.8	metros
Área	3,650	metros cuadrados
Área dedicada a salas de reunión	20	%
Área dedicada a espacios de trabajo	80	%
Plantas edificio	11	plantas
Subsuelos	4	subsuelos
Personas en todo el edificio	3,500	personas
Personas en planta tipo	319	personas

Tabla 2 – Características generales del edificio, obtenidas a partir del estudio de campo

Sobre la base de la información recolectada de edificios corporativos en el estudio de campo, se realizó un diseño de infraestructura física del edificio de alto nivel, donde se refleja cada uno de los puntos descritos en la Tabla 2.

En la Figura 8 se aprecia una planta tipo superior del edificio y en la Figura 9 se indica cada una de las zonas que se han incluido en el plano de la planta. Entre ellas se indican las zonas dedicadas a espacios de trabajo, salas de reuniones, entre otros.

En la Figura 11 se indica cada una de las zonas que se han incluido en el plano del subsuelo.

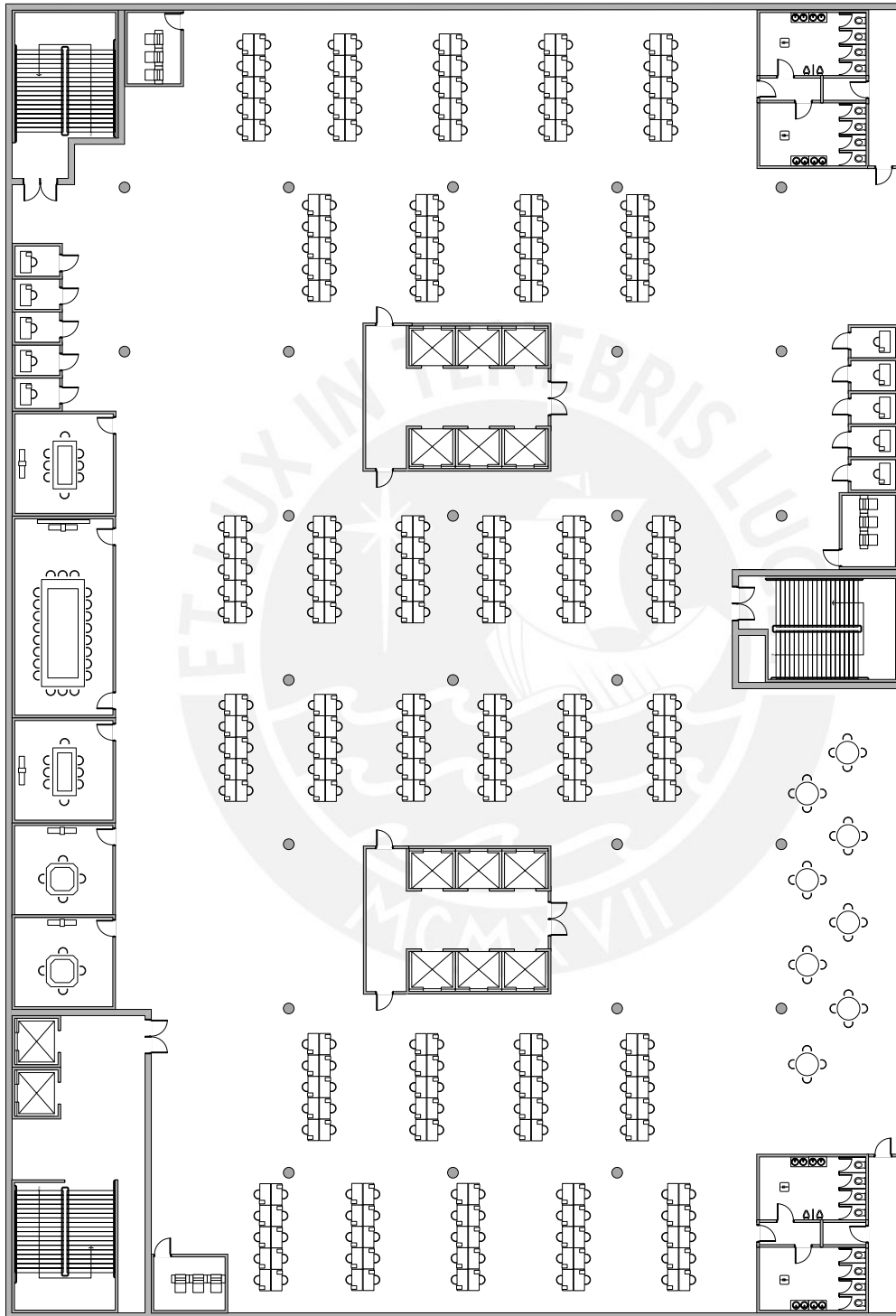


Figura 8 – Planta tipo superior del edificio de estudio

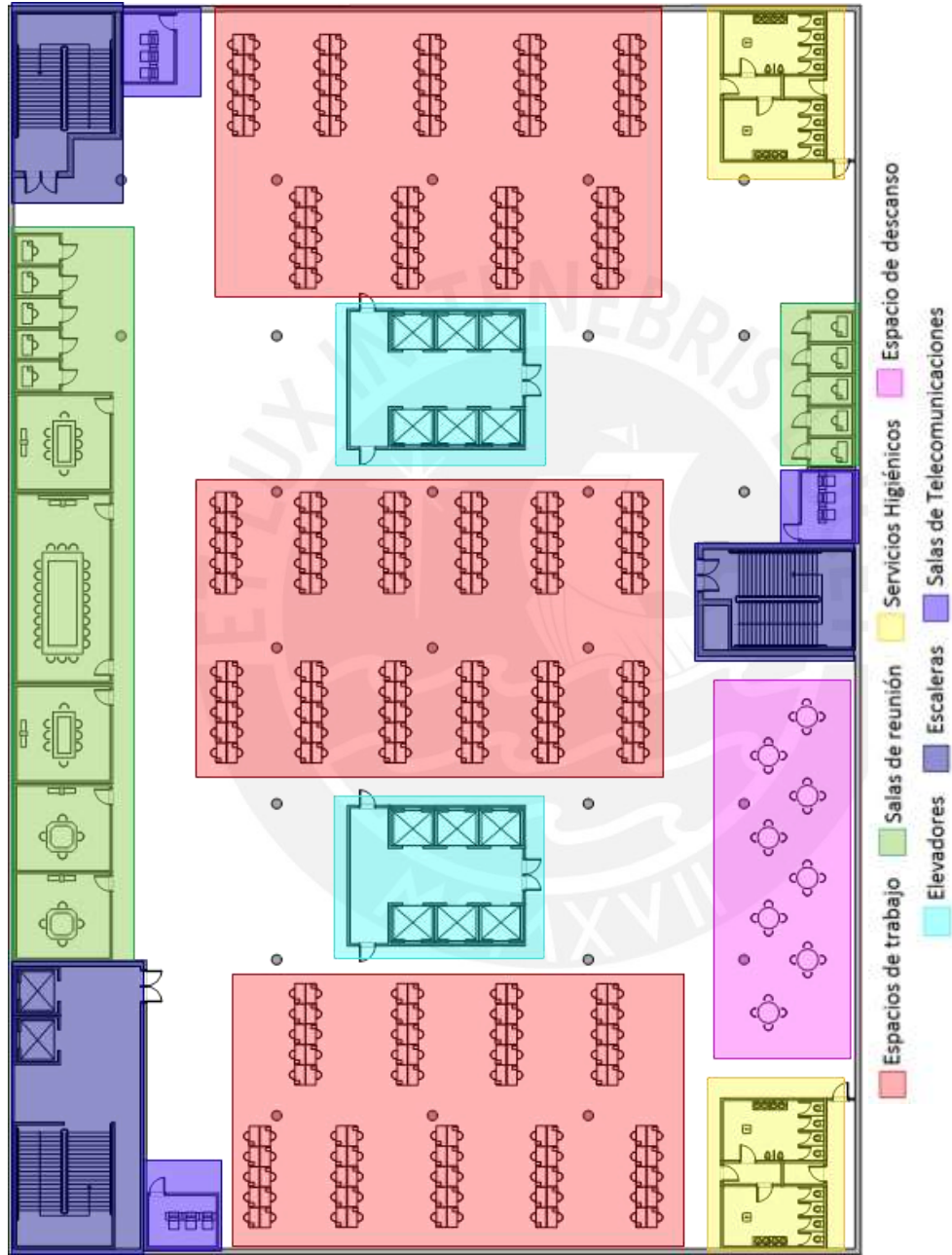


Figura 9 – Planta tipo superior del edificio de estudio identificando las áreas importantes

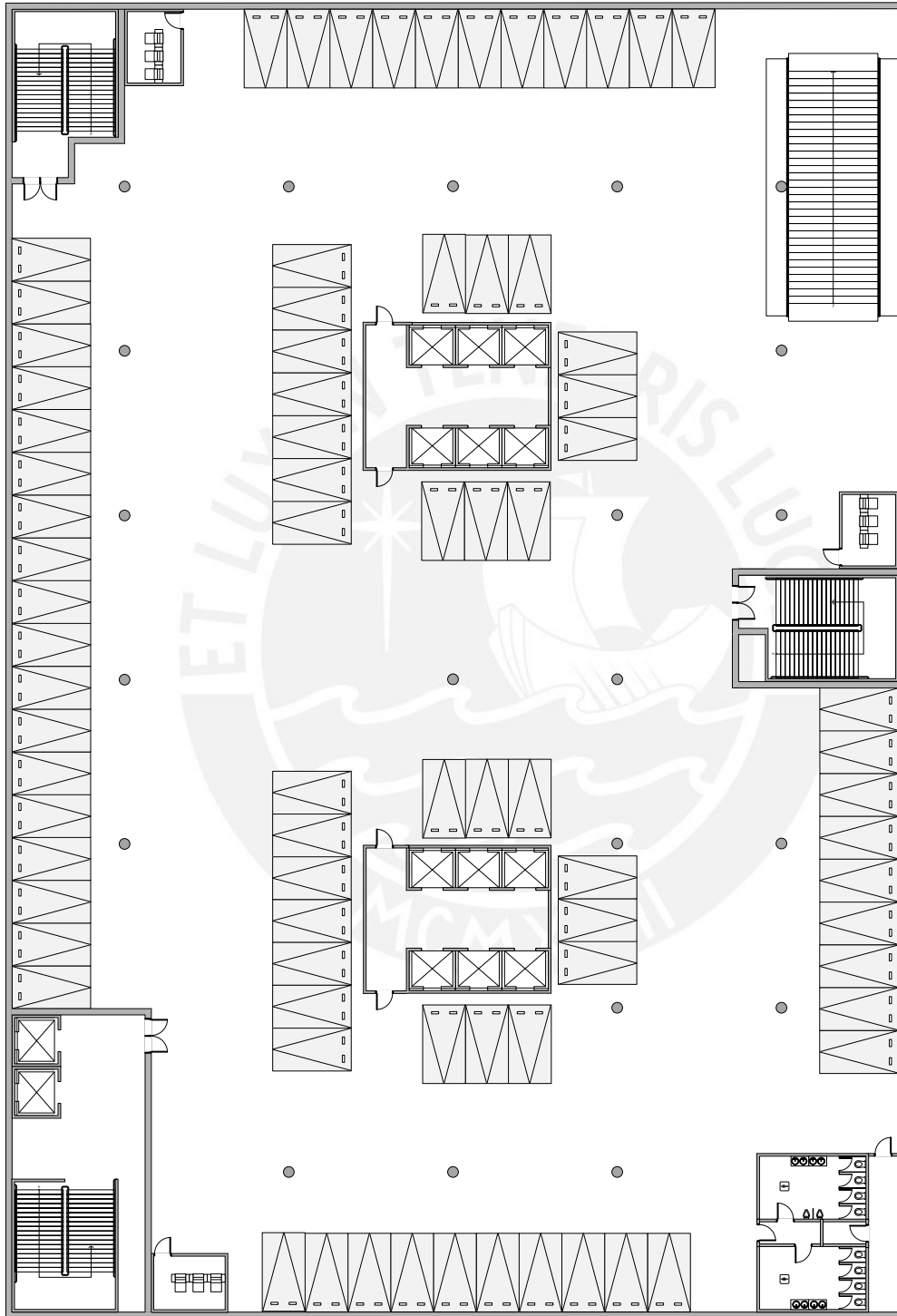


Figura 10 – Planta tipo subsuelo del edificio de estudio

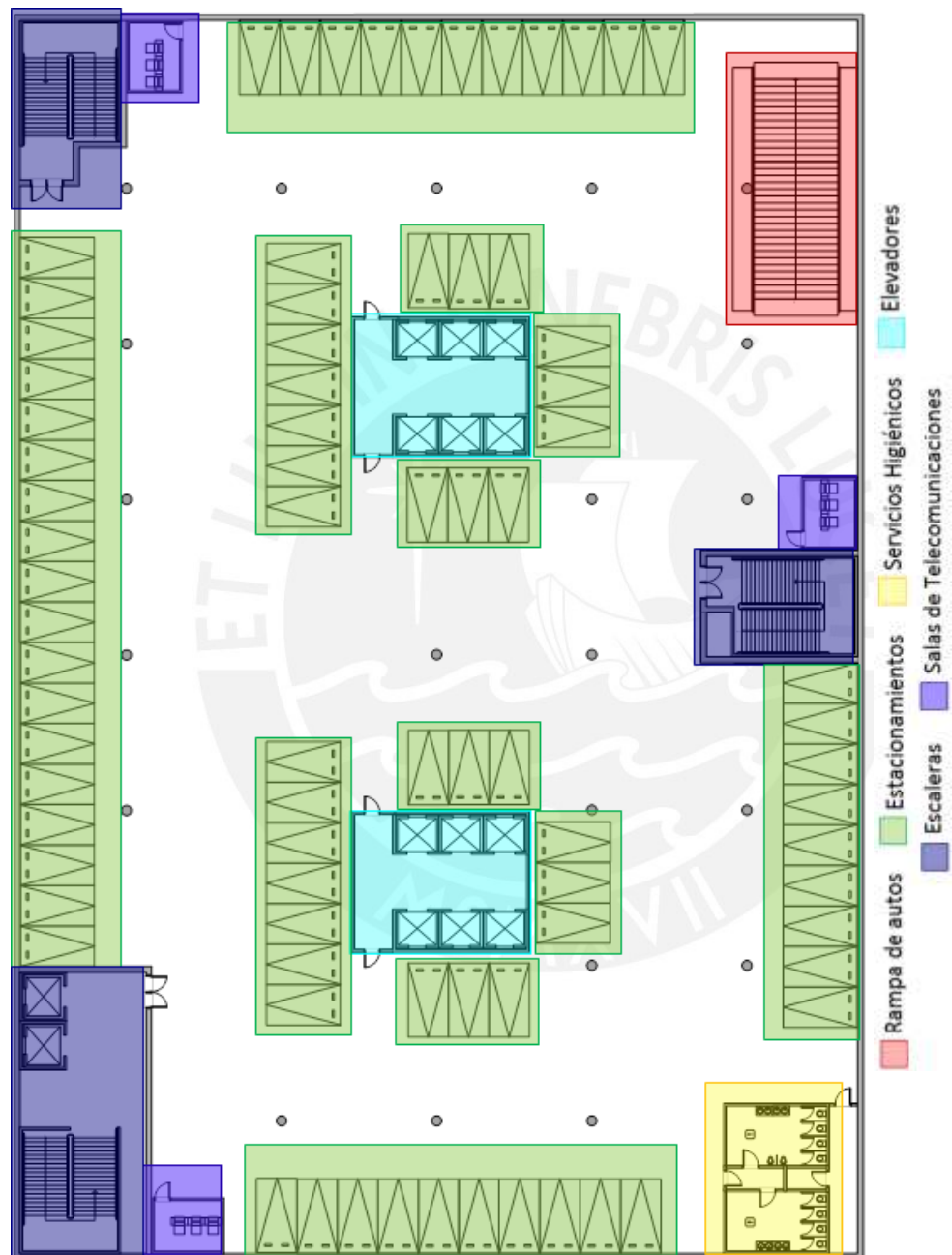


Figura 11 – Planta tipo subsuelo del edificio de estudio identificando las áreas importantes

2.8.2 Sistemas en un edificio

En base al estudio de campo realizado y al análisis de edificios corporativos desde la perspectiva TIC, se encontraron tres tipos diferenciados de soluciones que se han categorizado como: sistemas fundamentales, básicos y de valor agregado. Estos sistemas se describen en la presente sección:

2.8.2.1 Sistemas Fundamentales TIC

Conformado por un conjunto de soluciones o sistemas que todo edificio debe tener para que sus componentes y dispositivos de usuario final puedan comunicarse a través del protocolo IP. Algunos sistemas fundamentales que se encontraron en el estudio de campo son:

- Arquitectura Convergente
- Red IP Alámbrica
- Red IP Inalámbrica
- Salas de Telecomunicaciones
- Sala de Proveedores
- Nodo de Telecomunicaciones
- Infraestructura de Cómputo y Almacenamiento
- Sistema de Cableado Estructurado
- Sistema de Extinción y Detección de Incendios
- Sistema Eléctrico
- Sistema de Contingencia Eléctrica
- Sistema de Puesta a Tierra

2.8.2.2 Sistemas Básicos TIC

Además de los sistemas que permiten la comunicación en el edificio, se encontró un conjunto de sistemas que están relacionados al funcionamiento, control y monitoreo de todas las funcionalidades propias del edificio como acceso de usuarios, temperatura de espacios, video vigilancia, entre otros. Algunos sistemas básicos que se encontraron en el estudio de campo son:

- Control de Acceso
- Control de HVAC (Aire acondicionado y calefacción)

- Control de Iluminación
- Video Vigilancia
- Telefonía IP
- Sistema de Control de Elevadores
- Sensorización de Edificio

2.8.2.3 Sistemas de Valor Agregado TIC

Finalmente, en algunos edificios, se encontró un nivel más de sistemas avanzados que permiten integrar funcionalidades de los sistemas fundamentales y básicos para brindar una mejor experiencia al usuario, a través de la integración de distintos sistemas básicos sobre una misma red IP que proporcionen al usuario un espacio de trabajo único y a medida de cada uno de ellos. Algunos sistemas de valor agregado que se encontraron en el estudio de campo son:

- Climatización de Espacios
- Comunicaciones Unificadas (Telepresencia, Web, etc.)
- Sistema de Control de Activos
- Espacios de Trabajo
- Señalización Digital
- Sistemas Multimedia
- Estacionamiento de Vehículos

Ejemplo: En la solución de Climatización de Espacios se pueden integrar sistemas de control de acceso, medición de temperatura, control de iluminación, sensorización y aire acondicionado con el directorio activo para definir las condiciones del espacio de trabajo de un usuario a determinada hora del día con una temperatura definida, iluminación apropiada y con las persianas permitiendo, o no, la entrada del sol.

Sobre la base de las tres capas descritas anteriormente, se ha elaborado un gráfico que se muestra en la [Figura 12](#) y conceptualiza la interacción de estas tres capas en un Edificio Inteligente y Convergente.

EJEMPLO REFERENCIAL

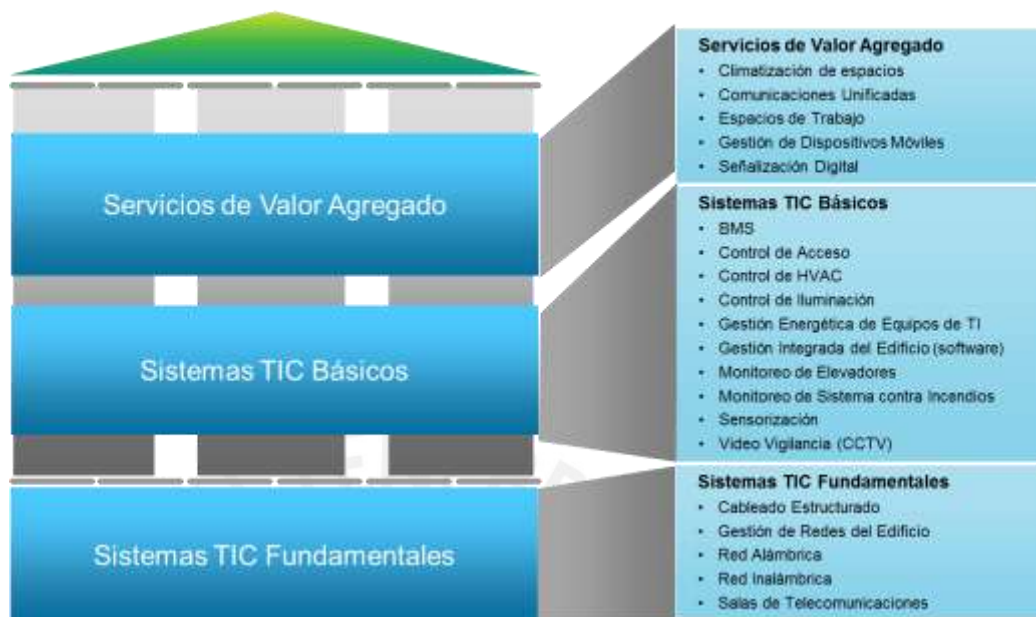
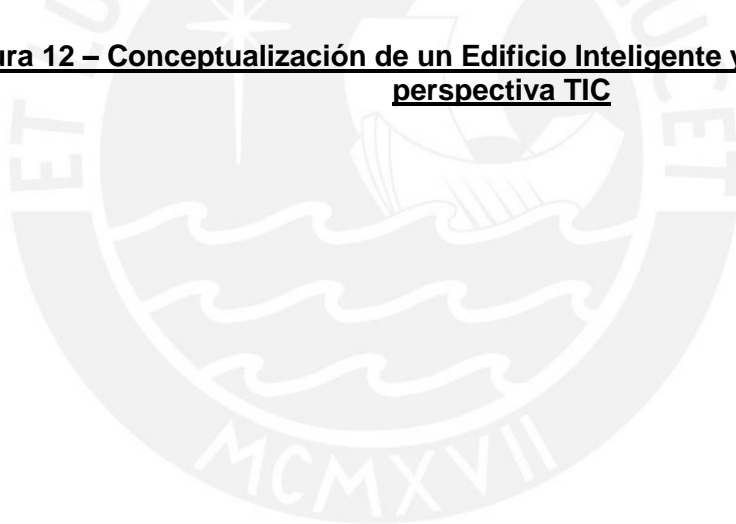


Figura 12 – Conceptualización de un Edificio Inteligente y Convergente desde la perspectiva TIC



CAPÍTULO 3: DISEÑO DE ARQUITECTURA 'GREEN-IP'

Para realizar el diseño de una arquitectura que optimice el consumo energético, se ha seleccionado un grupo de soluciones que ayudarán a optimizar el consumo energético, relacionado a los componentes de TI. Los ahorros energéticos se determinaron en base porcentajes, a potencia consumida en kilowatt-hora y su respectivo ahorro económico.

En el presente capítulo se presentan las soluciones y se brinda una descripción sobre el funcionamiento de cada una de ellas. Luego, se procede a determinar el ahorro energético que se puede lograr, en primer lugar, en base a cálculos e información teórica. Este valor es comparado con el ahorro que se logra en base a un conjunto de cálculos prácticos obtenidos en un laboratorio. El motivo de esta comparación es demostrar que el ahorro práctico es siempre menor al ahorro teórico, siendo el primero el que se aproxima más al ahorro real que una empresa u organización podrá lograr dentro de sus edificios.

En base a las soluciones, se ha diseñado una arquitectura de red que se ha denominado Arquitectura Green IP, nombre que hace referencia a la optimización energética que se logra y al uso del protocolo IP, sobre el cual se integrarán y convergerán todos, o la gran mayoría, de los sistemas del edificio.

Un punto muy importante a tomar en cuenta en esta sección es que los cálculos y resultados numéricos obtenidos son parte del estudio de un edificio de características específicas, descrito en el presente documento. Además, son resultado de un equilibrio entre cálculos cualitativos y cuantitativos por la propia naturaleza experimental de la hipótesis, la cual analiza edificios que, casi siempre, tienen características únicas que los diferencian de otros. No se cuenta con un solo tipo de edificio. Por ejemplo, un edificio puede tener tres pisos o cincuenta, y la variación de valores que se tendrá en este caso no permitirá dar una conclusión cuantitativa exacta, pero si un resultado cualitativo basada en números que permitan hacer afirmaciones y llegar a conclusiones debidamente sustentadas con un trasfondo teórico y práctico. En base a esto, se desestiman las desviaciones estándar, error de mediciones y se trabaja con valores únicos obtenidos a partir de mediciones y corroborados con hojas técnicas de fabricantes. En el peor de los casos, durante las mediciones del equipamiento las variaciones eran menores a un watt (1W), lo cual significaría un error total menor al

0.8%, lo cual se puede desestimar para este trabajo, debido a sus características exploratorias.

A continuación, se muestra el diseño de cada una de las soluciones, las mismas que se han agrupado en tres grupos funcionales generales, que son descritos:

- **Red Core / MAN (Metropolitan Area Network):** Infraestructura física de largo alcance que permitirá la interconexión de edificios, centros de datos y otras instalaciones de una empresa u organización. Las distancias suelen ser de varios kilómetros de distancia y basarse en fibra óptica. Las soluciones de optimización energética deberán enfocar todos los sistemas que tengan relación con el Edificio Inteligente, siendo este el punto más importante.
- **Centro de Datos:** Relacionado a la infraestructura física fundamental de red que permitirá las comunicaciones en base a equipamiento de TI.
- **Sede Principal y Remotas:** Uno o más edificios de propiedad de una empresa u organización, los mismos que centralizarán toda su información en el Centro de Datos.

A continuación, se desarrolla cada solución que podrá ser implementada en un Edificio Inteligente y Convergente.

3.1 Soluciones de Red Core/MAN

3.1.1 Bypass Óptico de Plano IP (IPoDWDM)

Cualquier solución que permita reducir la cantidad promedio de saltos IP necesarios para enrutar un paquete IP, por lo general, disminuyen el consumo energético de la red central, ya que se requieren menos recursos para una misma función (TREND Consortium, 2013).

En la [Figura 13](#) se puede apreciar el concepto de bypass óptico, el cual es una técnica que funciona sobre el plano de comunicaciones IP y que reduce la cantidad de saltos requeridos para transmitir información. La solución permite que el tráfico no destinado para un dispositivo IP, permanezca en la capa óptica y, por lo tanto, no pase por el dispositivo IP. Esto permite reducir la capacidad del router y el consumo de energía asociado (TREND Consortium, 2013).

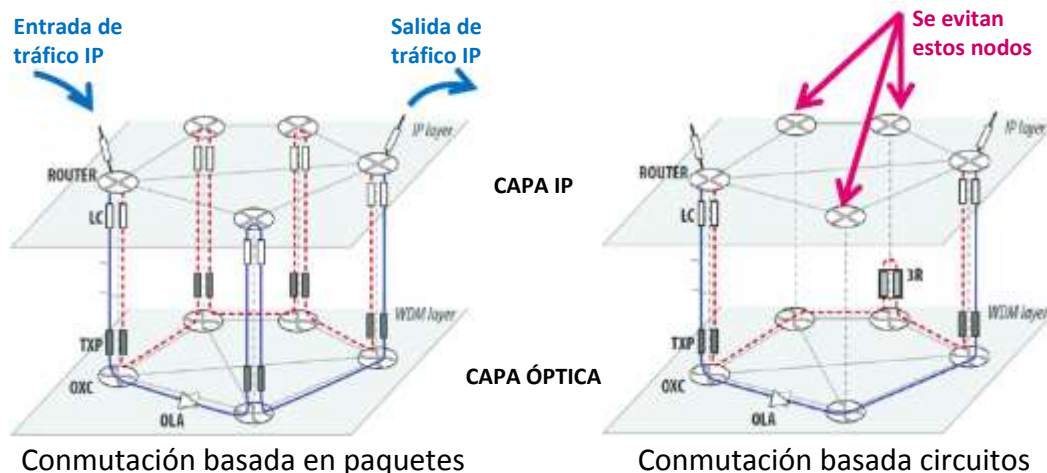


Figura 13 – Conceptualización de Bypass Óptico (Heddeghem, y otros, 2013)

3.1.1.1 Aplicación en Edificio Inteligente

Debido al crecimiento exponencial del tráfico IP impulsado por el vídeo, los servicios móviles y Cloud y las aplicaciones de negocio, los proveedores de servicios demandan nuevas fórmulas para incrementar la capacidad, la disponibilidad y la fiabilidad de red con el fin de proporcionar experiencias de Internet de próxima generación (Cisco Systems, 2013).

IPoDWDM es una tecnología avanzada que puede ser utilizada para distribuir información a alta velocidad sobre redes ópticas existentes, eliminando de esta forma la necesidad de realizar actualizaciones de red y acelerando la puesta en marcha de nuevos servicios de Internet de alta velocidad (Cisco Systems, 2013).

La tecnología IPoDWDM permite a los proveedores de servicios incrementar su eficiencia operativa y obtener importantes ahorros de costes en energía y espacio al reducir el número de equipos necesarios, a la par que soporta una solución respetuosa con el medio ambiente que ayuda a reducir las emisiones contaminantes (Cisco Systems, 2013).

Otras soluciones que pueden ser utilizadas para realizar el bypass óptico son:

- Opaque IP-over-WDM (O-IPoWDM)
- Translucent IP-over-WDM (TI-IPoWDM)

- IP-over-SDH (IPoSDH)
- Transparent/Translucent IP-over-WDM (Tp-IPoWDM) / (TI-IPoWDM)

3.1.1.2 Ahorro Energético Teórico

Como resultado general, se ha encontrado que para altas demandas de información, el bypass óptico permite obtener ahorros energéticos hasta de un 60%, respecto a las redes IP que no utilizan bypass óptico. Estos ahorros están en función de la topología de red, la demanda de tráfico de información y la longitud promedio de cada enlace (TREND Consortium, 2013) (Heddeghem, y otros, 2013).

Para lograr resultados más acordes a la implementación de una Red MAN de un conjunto de edificios inteligentes, se presenta un cálculo práctico donde se comparan las velocidades de los enlaces, la cantidad de enlaces y cantidad de nodos que conforman una Red MAN.

En la Figura 14 se muestran los resultados de ahorro energético del uso del bypass óptico en función a tres velocidades de enlaces diferentes. Estos ahorros son comparados, a su vez, con un factor de velocidad demanda por enlace sobre velocidad nominal de enlace (ratio d/l).

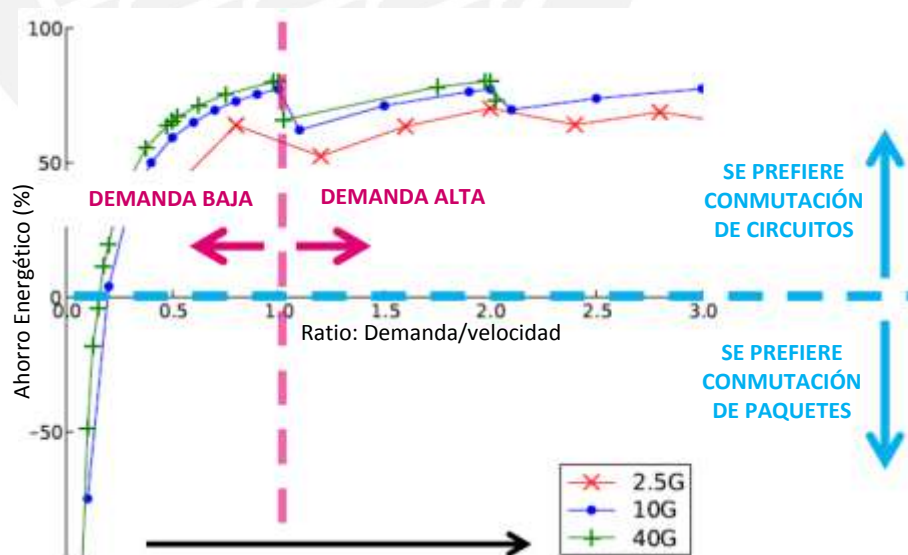


Figura 14 – Ahorro energético porcentual debido al uso del Bypass Óptico (Heddeghem, y otros, 2013)

Un ejemplo de cálculo del factor es: Si la red tiene un backbone que demanda 3 Gbps de velocidad, se pueden tener diferentes factores de velocidad demandada sobre nominal:

- Si el backbone es de 2.5 Gbps nominal: Factor = $3/2.5 = 1.2$
- Si el backbone es de 10 Gbps nominal: Factor = $3/10 = 0.333$

De los resultados se confirma que para un factor d/l mayor a 1, los ahorros energéticos son mayores a 50% y para demandas menores a 1, los ahorros pueden ser igualmente altos; sin embargo, podría darse algunos casos en los que no hay ahorro y podría generarse un gasto adicional. Los cálculos descritos en la [Figura 14](#) corresponden a una red de topología anillo con 15 nodos.

Tal y como se ha indicado anteriormente, otros factores que influyen en el nivel de ahorro energético son el grado de malla y la cantidad de nodos que tiene la red. En la [Figura 15](#) se muestran tres tipos de topologías de pruebas donde se varía la cantidad de nodos y enlaces, para evaluar el impacto que esto tiene en el ahorro energético de la red.

En la [Tabla 3](#) se aprecian los resultados del cálculo práctico de los ahorros energéticos en las tres topologías mostradas en la [Figura 15](#). Como resultado se comprueba que a medida que la cantidad de enlaces y nodos se incrementa, el ahorro energético es mayor. Esto se complementa con la primera prueba realizada que indica que a medida que se incrementa la velocidad del enlace, los ahorros también se incrementan.

Red de Prueba	Ahorro energético (%)
(a) 6 nodos, 8 enlaces	25%
(b) 15 nodos, 21 enlaces	40%
(c) 24 nodos, 43 enlaces	45%

Tabla 3 – Resultados de laboratorio del cálculo de ahorro energético en tres escenarios de topologías distintas debido al bypass óptico

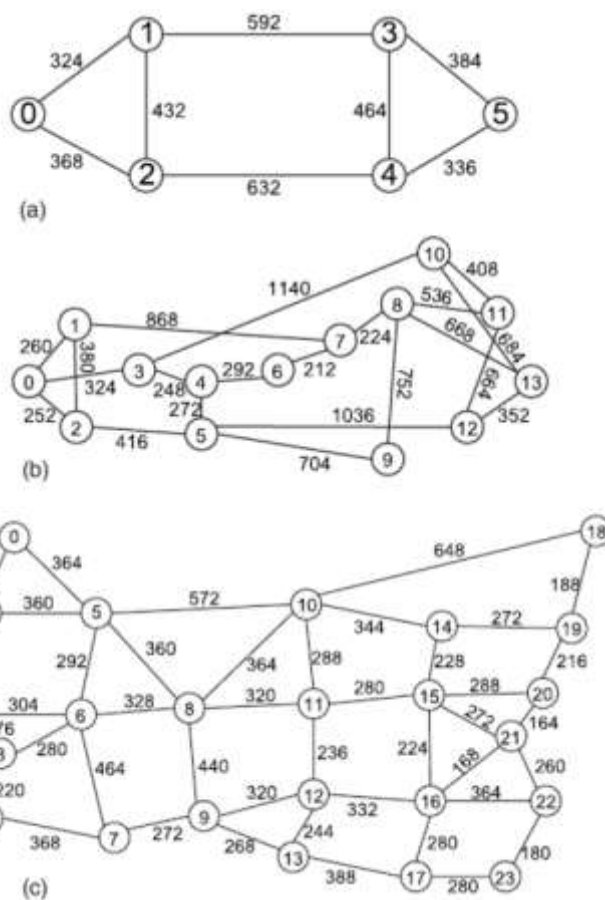


Figura 15 – Redes de prueba para determinar los ahorros energéticos (Heddeghem, y otros, 2013)

Como conclusión, para determinar el nivel de ahorro energético del uso del bypass óptico en una red MAN empresarial de un conjunto de edificios inteligentes, se estima que la topología (b), mostrada en la [Figura 15](#), es la que más se asemeja a los requerimientos de una organización típica. Sin embargo, esta podría crecer en cantidad de nodos y enlaces. Por otro lado, según las observaciones de campo que se han realizado, los enlaces de fibra óptica de una red MAN tienen generalmente una velocidad de 10 Gbps. Sobre la base de estas dos premisas, se estima que los ahorros energéticos que se pueden

lograr con el uso del bypass óptico en una organización que tiene un conjunto de edificios inteligente, puede llegar a ser de un 40%.

3.1.1.3 Ahorro Energético Práctico

Para determinar el nivel de optimización energética a través de la implementación del bypass-óptico (IPoDWDM), se ha determinado un escenario de pruebas acotado a encontrar el porcentaje de ahorro energético en base a la comparación del equipamiento necesario para implementar la solución tradicional en comparación a la solución IPoDWDM.

A continuación, en la Figura 16 se describen los dos escenarios que serán desarrollados para determinar el ahorro energético práctico:

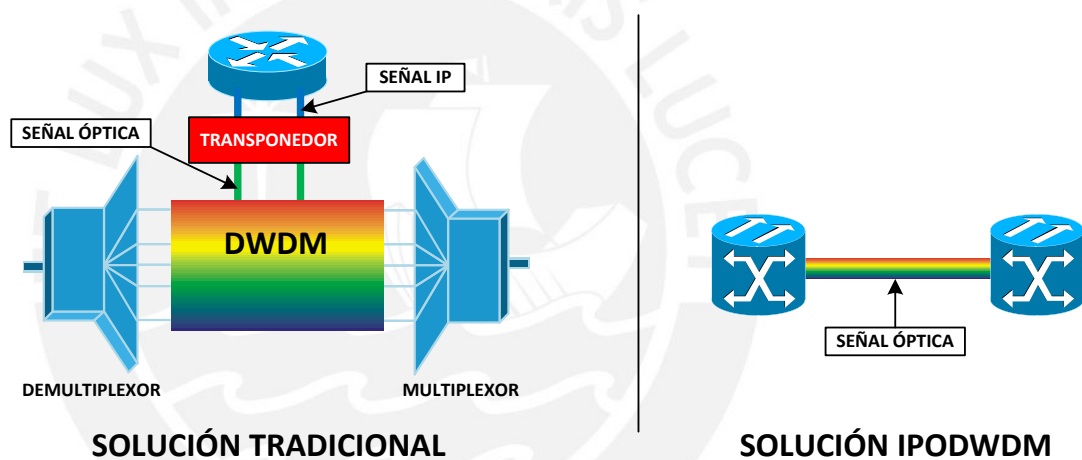


Figura 16 – Escenarios de prueba de ahorro energético de Bypass Óptico

PREMISAS DEL ESCENARIO 1 (TRADICIONAL)

- En el primer escenario se tiene la capa óptica y capa de red IP activas, ya que ambas serán utilizadas para realizar las comunicaciones en una red digital.
- Tal y como se aprecia en el gráfico, un solo nodo de comunicaciones estará conformado por un selector de señales y un separador de señales (multiplexor).
- Para este ejercicio se ha determinado que el multiplexor/demultiplexor tendrá una capacidad de manejar 32 canales de información sobre una misma fibra.

En otras palabras, a través de la fibra óptica se transportarán 32 longitudes de onda diferentes.

- La potencia requerida por el nodo que corresponde al siguiente equipamiento:
 - o **Plataforma de Multiservicios:** Se seleccionó la plataforma multiservicios de Cisco ONS 15454, en donde se instalarán las tarjetas que forman parte del nodo óptico tradicional. Esta potencia está conformada por una tarjeta controladora que consume 120W y 120W adicionales que es consumido por su sistema interno de ventilación. En total, la potencia aproximada de la plataforma de multiservicios es 240W.
 - o **Selector de Señales:** Se seleccionó la plataforma multiservicios de Cisco ONS 15454 y la tarjeta de selección de longitud de onda de treinta y dos canales. La medida de potencia de esta tarjeta es aproximadamente 55W.
 - o **Multiplexor:** Se seleccionó la plataforma multiservicios de Cisco ONS 15454 y la tarjeta demultiplexora de treinta y dos canales. La medida de potencia de esta tarjeta es aproximadamente 20W.
 - o **Transponedor:** Se seleccionó la plataforma multiservicios de Cisco ONS 15454 y el transponedor de 10 Gbps. La medida de potencia de esta tarjeta es aproximadamente 45W.
- En base a la información anterior, se determina que la potencia de un nodo tradicional de comunicaciones óptico es aproximadamente 360W.

PREMISAS DEL ESCENARIO 2 (IPoDWDM)

- En el segundo escenario, la comunicación es completamente sobre una plataforma óptica. A diferencia del primer escenario, no se requiere ni el transponedor ni el multiplexor.
- Para este ejercicio se ha determinado que el nodo óptico tendrá la capacidad de manejar 32 canales de información sobre una misma fibra, del mismo modo que el primer escenario.
- La potencia requerida por el nodo que corresponde al siguiente equipamiento:
 - o **Plataforma de Multiservicios:** Se seleccionó la plataforma multiservicios de Cisco ONS 15454, en donde se instalarán las tarjetas que forman parte del nodo óptico tradicional. Esta potencia está

conformada por una tarjeta controladora que consume 120W y 120W adicionales que es consumido por su sistema interno de ventilación. En total, la potencia aproximada de la plataforma de multiservicios es 240W.

- **Selector de Señales:** Se seleccionó la plataforma multiservicios de Cisco ONS 15454 y la tarjeta de selección de longitud de onda de treinta y dos canales. La medida de potencia de esta tarjeta es aproximadamente 55W.
- En base a la información anterior, se determina que la potencia de un nodo IPoDWDM de comunicaciones óptico es aproximadamente 295W.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

- A partir de la información recolectada, se puede determinar que en el segundo escenario existe un ahorro energético del 18.1%, respecto al primer escenario.
- Se debe tomar en cuenta que el análisis que se ha realizado toma en cuenta la medición de nodos ópticos básicos. A medida que se incremente la cantidad de conexiones y nodos, el ahorro será mayor, ya que la cantidad de transponedores, multiplexores y selectores se puede incrementar.
- A continuación, en la Tabla 4 se muestra la tabla resumen con las mediciones de potencia obtenidas.

Componentes	Consumo de Potencia (W)	
	Nodo Tradicional	Nodo IPoDWDM
Plataforma Base	240	240
Selector de Señales	55	55
Multiplexor	20	-
Transponedor	45	-
TOTAL	360	295

Tabla 4 – Ahorro Energético de Bypass Óptico, en un escenario práctico

3.1.2 Optimización de Algoritmos

Los servicios de distribución de archivos, tales como (P2P) de intercambio de archivos peer-to-peer, servicios de alojamiento, nuevas versiones de software, entre otros, representan un porcentaje importante del tráfico actual de internet. Dado que las aplicaciones de intercambio de archivos se ejecutan normalmente

mediante dispositivos de usuario finales como PCs o portátiles, si juntamos los dos argumentos anteriores se determina que las aplicaciones de intercambio de archivos son responsables de una parte importante del consumo total de energía en el internet, debido a la transmisión y procesamiento de información requeridos (TREND Consortium, 2013).

La mayoría de los estudios previos en el área de la optimización de los servicios de distribución de archivos se han centrado principalmente en reducir al mínimo el tiempo de descarga. Sin embargo, estos algoritmos no son óptimos en términos de consumo de energía (TREND Consortium, 2013).

3.1.2.1 Aplicación en Edificio Inteligente

En el presente trabajo de tesis, se plantea la optimización de algoritmos de distribución de archivos e intercambio de información. Esta optimización aplica para algoritmos propios de la empresa como para proveedores de servicio.

3.1.2.2 Ahorro Energético Teórico

En la [Figura 17](#) se muestra el impacto real que tiene un algoritmo “Opt” desarrollado mostrado en el artículo *Greening the Internet: Energy-Optimal File Distribution* (Verma, Rizzo, Fernández, Cuevas, & Azcorra, 2012). Esta figura muestra el impacto del ahorro energético en función a la energía consumida por bit y en función al tamaño del archivo que es transmitido con 200 usuarios de forma concurrente. El tamaño del bloque de información es de 256 kB. En general, se puede apreciar que la optimización de algoritmos puede generar un ahorro hasta de 50% del uso de energía (TREND Consortium, 2013).

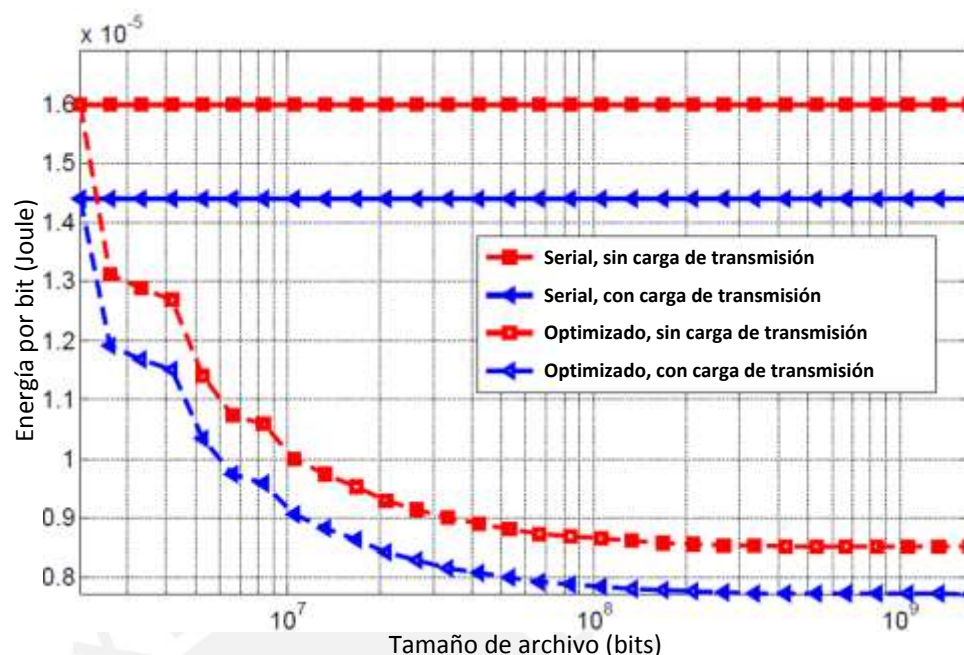


Figura 17 – Ahorro energético por optimización de algoritmos (Verma, Rizzo, Fernández, Cuevas, & Azcorra, 2012)

3.1.2.3 Ahorro Energético Práctico

Para determinar el nivel de optimización energética que se puede lograr a través de algoritmos, se ha escogido la arquitectura EnergyWise de CISCO, la cual cuenta con algoritmos de optimización energética que, dependiendo de los requerimientos de funcionamiento de la organización, se pueden apagar y encender los dispositivos energizados a través de PoE y que están conectados a la Red IP.

Se realizaron pruebas en un laboratorio de simulación y se escogió un Teléfono IP para realizarle mediciones y observar su comportamiento de consumo energético a través de las cuatro (04) etapas de optimización que se puede lograr con algoritmos.

A continuación, se describen las mediciones energéticas que se realizaron al teléfono, según su funcionamiento:

- **Requerimiento Energético Nominal:** Corresponde a la clasificación de demanda energética que hace el fabricante del dispositivo. Suele ser mayor

que la demanda real requerida, puesto que pueden existir pérdidas de potencia en el canal de distribución de energía.

- ***Demanda Energética Indicada por el Conmutador (Modo Real):*** Una mejor aproximación de la potencia consumida por el dispositivo es brindada por el conmutador. Esta potencia corresponde al dispositivo en su normal operación; en otras palabras, durante la transmisión de comunicaciones basadas en voz y video.
- ***Demanda Energética en Modo Inactivo:*** Esta potencia corresponde a la requerida cuando el dispositivo no está siendo utilizado; en otras palabras, cuando no se está hablando por teléfono, ni transmitiendo video.
- ***Demanda Energética en Modo Ahorrativo:*** En esta etapa, el algoritmo procede a reducir el consumo energético del teléfono, a través del apagado de la pantalla. Sin embargo, si el auricular es levantado, el teléfono regresa al modo inactivo o modo real, dependiendo del modo como se configure el protocolo.
- ***Demanda Energética en Modo Ahorrativo Plus (EnergyWise):*** El protocolo permite optimizar aún más el consumo energético de los dispositivos. En esta etapa, se puede configurar tiempos de apagado y encendido de dispositivos, lo cual reduce aún más el consumo energético.

A continuación, se muestra en la Tabla 5 los resultados de las mediciones realizadas al teléfono 9951, según la categoría de consumo energética definida anteriormente:

Modo Energético	Potencia (W)	Ahorro (%)
Nominal	15.4	N/A
Real	12	0.0%
Inactivo	6.6	-45.0%
Ahorrativo	5.8	-51.7%
Ahorrativo Plus	1	-91.7%

Tabla 5 – Consumo energético de Teléfono IP Cisco 9951

Sobre la base de los resultados obtenidos en la Tabla 5, se observa de primera mano que el algoritmo de ahorro energético permite reducir drásticamente el consumo de energía. Si se toma como referencia el consumo real para medir el ahorro energético, se puede corroborar que la reducción de consumo eléctrico varía desde el 45% hasta el 91.7%.

Para determinar un porcentaje de ahorro más real, se describen dos escenarios reales del uso del teléfono en base a distinta configuración del protocolo.

PREMISAS DEL ESCENARIO 1:

- Se evalúa el consumo energético de un teléfono 9951, el cual es utilizado con un usuario promedio del edificio. Por usuario promedio, se entiende una persona que trabaja nueve (09) horas al día, incluyendo su hora de refrigerio.
- Para determinar el consumo equivalente del teléfono en un día, se han definido los siguientes parámetros:
 - o El día tiene veinticuatro horas.
 - o De las nueve horas de trabajo, el usuario tendrá dos horas efectivas de uso del teléfono, lo cual corresponde al Modo Real.
 - o Las siete horas restantes, el teléfono estará en Modo Inactivo.
 - o Durante las quince horas restantes del día, el teléfono estará en Modo Ahorrativo.
- Sobre la base de los parámetros indicados, se determina que el consumo energético del teléfono 9951 es 157.2 W.Hora.

PREMISAS DEL ESCENARIO 2:

- Para determinar el consumo equivalente en el segundo escenario, bajo el uso del protocolo de EnergyWise, se han definido los siguientes parámetros:
 - o El día tiene veinticuatro horas.
 - o De las nueve horas de trabajo, el usuario tendrá dos horas efectivas de uso del teléfono, lo cual corresponde al Modo Real.
 - o Las siete horas restantes, el teléfono estará en Modo Inactivo.
 - o Durante las quince horas restantes del día, el teléfono estará en Modo Ahorrativo Plus (EnergyWise).

- Sobre la base de los parámetros indicados, se determina que el consumo energético del teléfono 9951 es 85.2 W.Hora.

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

- En la Tabla 6 se muestran los resultados del cálculo energético en ambos escenarios. Se ha coloreado en color celeste oscuro los resultados relacionados al primer escenario y en color morado oscuro, los resultados relacionados al segundo escenario.

Modo Energético	Potencia (W)	Escenario 1		Escenario 2	
		Horas	Consumo (W.H)	Horas	Consumo (W.H)
Real	12	2	24	2	24
Inactivo	6.6	7	46.2	7	46.2
Ahorrativo	5.8	15	87	0	0
Ahorrativo Plus	1	0	0	15	15
TOTAL			157.2		85.2

Tabla 6 – Comparación de escenarios de consumo energético de teléfono IP Cisco 9951

- Tal y como se puede apreciar en la Tabla 6, tomando como referencia un día de veinticuatro horas, el consumo global del primer escenario es 157.2 W.Hora y en el segundo escenario es 85.2 W.Hora.
- En base a lo indicado anteriormente, se determina que el ahorro energético del protocolo EnergyWise, corresponde a 45.8%.

3.2 Soluciones de Centros de Datos

3.2.1 Virtualización de Equipamiento

Estudios recientes han demostrado que los dispositivos de red en los centros de datos pueden llegar a consumir una potencia eléctrica igual al 15% de la energía consumida por los propios servidores. Por lo tanto, tiene sentido para investigar soluciones que ayuden a reducir el consumo de energía de estos dispositivos (TREND Consortium, 2013).

La virtualización del centro de datos incluye la virtualización del almacenamiento, escritorio y servidores. Este proceso permite reducir la

demanda de consumo eléctrico de los equipos de TI en general a través de la consolidación de los sistemas de TI (Bouley, 2010).

Los ahorros de energía resultantes se pueden maximizar aún más si del departamento de TI o los administradores de las instalaciones del edificio pueden ajustar la infraestructura de energía y enfriamiento (aire acondicionado) para optimizar el desempeño del centro de datos (Bouley, 2010).

La consolidación de recursos mediante virtualización aumenta la eficiencia del procesamiento de información: mayor capacidad de procesamiento por watt eléctrico consumido en el centro de datos. El ahorro por consolidación es sólo el principio del ahorro que se puede lograr a través de la reducción de equipamiento físico de TI (hardware) (Bouley, 2010).

Adicionalmente, los centros de datos pueden acumular ahorros adicionales significativos por optimizar el consumo eléctrico y dimensionamiento de los sistemas de refrigeración (por ejemplo, UPS, CRAC, enfriadores) que soportarán la nueva carga informática virtualizada/consolidada, ahora en menos dispositivos (Bouley, 2010).

El centro de datos seguirá creciendo a medida que la organización se expanda y requiera el uso de más aplicaciones, más usuarios y tecnología moderna. Por tal motivo, la virtualización es una opción ideal a ser implementada en los centros de datos para optimizar el consumo energético (Bouley, 2010).

3.2.1.1 Arquitectura de Virtualización

En la [Figura 18](#) se muestra la arquitectura referencial de virtualización donde se indican las partes más relevantes. El flujo de actividades es el siguiente (Thiel, 2014):

- a. Un usuario solicita acceso a recursos del centro de datos y genera una petición al gestor global (hipervisor).
- b. El gestor local proporciona información sobre la utilización actual de recursos y el estado actual de las máquinas virtuales.
- c. El gestor global (hipervisor) envía directivas al motor de migración para realizar acciones en máquinas virtuales específicas.

- d. El gestor local envía comandos al motor de migración para ajustar los recursos de las máquinas virtuales y sus estados de operación.
- e. Finalmente, el motor de migración realiza los cambios en las máquinas virtuales.

En la [Figura 18](#) se muestra la Arquitectura de Virtualización que será utilizada en el centro de datos de los edificios comerciales. Nótese que los componentes involucrados en el flujo de actividades son virtuales y están implementados sobre una plataforma física. Además, se pueden implementar “M” máquinas virtuales sobre un nodo físico y un gestor global (hipervisor) puede gestionar “N” nodos físicos (servidores).

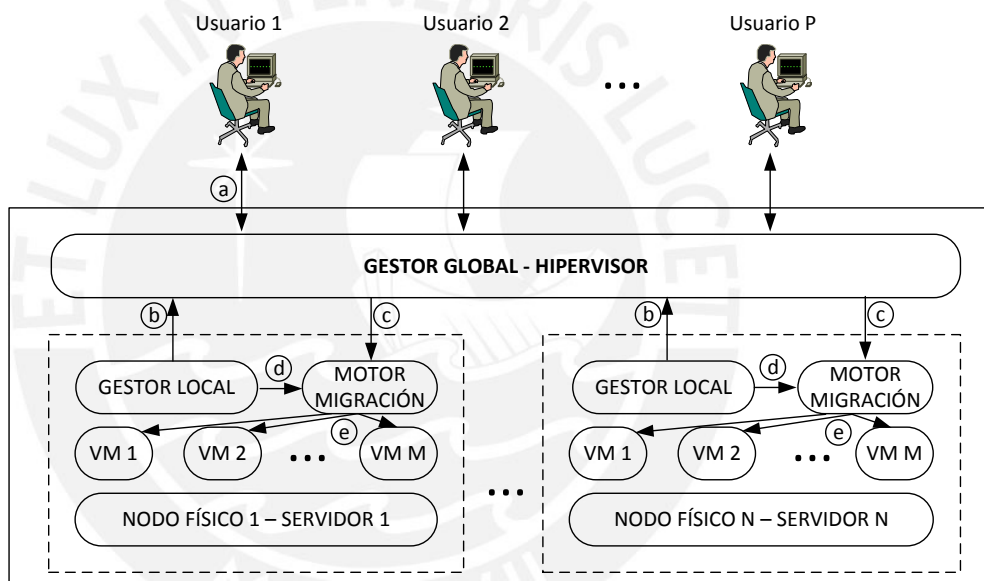


Figura 18 – Arquitectura de Virtualización (Thiel, 2014)

Utilizando la consolidación mediante la virtualización, se logran ahorros económicos en el centro de datos a través de tres puntos claves (Bouley, 2010):

- Optimización del rendimiento de computación por vatio de energía consumida
- Optimización de espacio físico para crecimiento de equipamiento
- Optimización de utilización de equipamiento en racks (ordenamiento interno)
- Optimización de migración de carga eléctrica

- Recuperación ante desastres (Disaster Recovery)

Por otro lado, debido a la consolidación de equipamiento físico, se deberán considerar tres enfoques principales para controlar el calor producido por las densidades altas (Bouley, 2010):

- Distribución homogénea de carga
- Enfriamiento suplementario
- Designación de zonas de alta y baja densidad

Los ahorros por virtualización pueden multiplicarse si la infraestructura de energía y enfriamiento se optimiza.

3.2.1.2 Aplicación en Edificio Inteligente

En el presente trabajo de tesis, se plantea la virtualización y consolidación del centro de datos empresarial. En la Figura 19 se aprecia la reducción significativa de equipamiento y conexiones en el centro de datos tipo. De este modo, se reduce gasto económico de compra de hardware y gasto económico operativo correspondiente al mantenimiento, gasto energético y reparaciones de equipamiento.

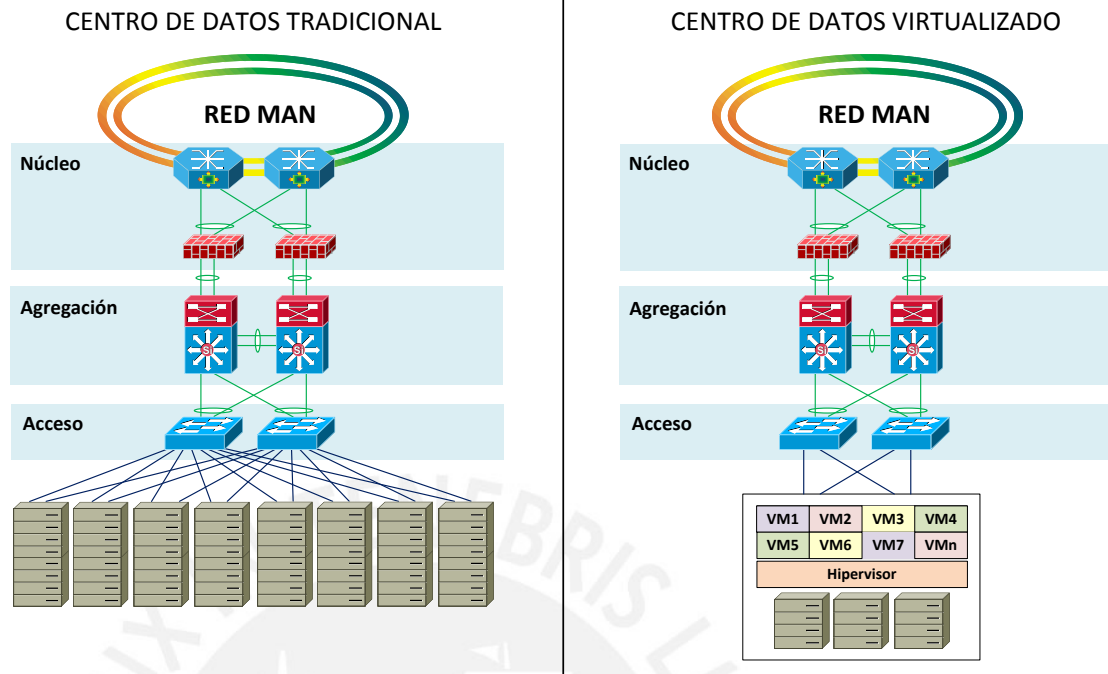


Figura 19 – Diferenciación del Centro de Datos empresarial, donde se muestra un enfoque tradicional y un enfoque virtualizado

3.2.1.3 Ahorro Energético Teórico

En la [Figura 25](#) se muestra la comparación de dos parámetros que se deberán tomar en cuenta para diseñar la consolidación de aplicaciones en servidores (virtualización). Este diseño, tendrá un gran impacto en el ahorro energético que se logre en un centro de datos. Las dos fuerzas que compiten y que deberán ser balanceadas son (Jin, Wen, & Chen, 2011):

- **Virtualización de Aplicaciones:** El nivel de utilización de energía en los centros de datos puede reducirse a través de la consolidación de aplicaciones de distintos servidores en uno solo. De este modo, se apagan los servidores que no son utilizados y que están en modo inactivo durante la mayor parte del tiempo. Cabe destacar que un servidor inactivo consume aproximadamente dos tercios de la energía que consume el mismo servidor cuando está al 100% de su utilización.

- **Selección de Hipervisor:** Para los servidores virtualizados, se deberá tomar en cuenta el hipervisor que es seleccionado, ya que este introduce un gran consumo energético, ya que está en uso casi todo el tiempo.

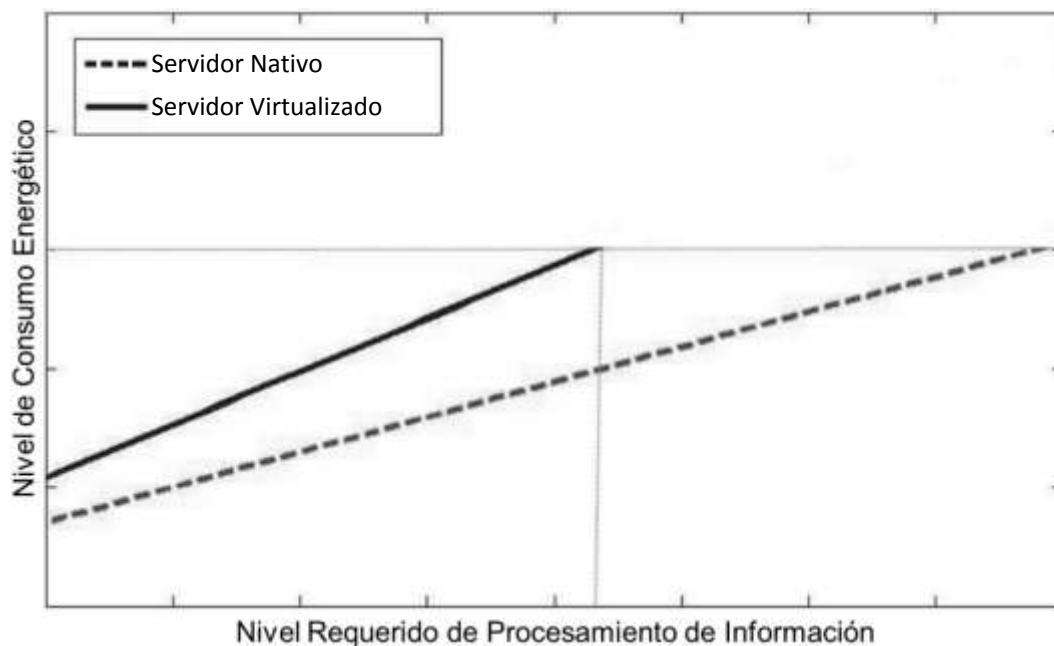


Figura 20 – Cuadro comparativo del impacto que tiene el nivel requerido de procesamiento de información en el nivel de consumo energético (Jin, Wen, & Chen, 2011)

La combinación de estas dos características definirán los beneficios energéticos de la virtualización de aplicaciones / consolidación de servidores. La decisión de virtualizar aplicaciones deberá tomar en balancear estas dos fuerzas competitivas, para lograr reducir la energía requerida en un centro de datos (Jin, Wen, & Chen, 2011).

En general, se ha demostrado que la optimización del centro de datos a través de la virtualización de aplicaciones, permite optimizar el consumo energético en un 20% (Jin, Wen, & Chen, 2011).

3.2.1.4 Ahorro Energético Teórico

Se realizaron pruebas en un laboratorio de simulación a un servidor tipo chasis 5108, del fabricante Cisco. Este chasis tiene la capacidad de albergar hasta ocho (08) servidores tipo blade (o cuchilla).

A continuación, se detallan las características del servidor utilizado en las pruebas de laboratorio:

- **Servidor:** Tipo Chasis, Cisco UCS 5108
- **Fuentes de Poder:** Dos (02) fuentes de 2,500 Watts.

Adicionalmente, los servidores tipo blade que se conectan al chasis tienen las siguientes características:

- **Procesador:** Dos (02) procesadores Intel E5-2697v2 de 2.70 GHz y 30MB Cache/DDR3 a 1866MHz.
- **Memoria:** Treinta y dos (32) memorias de 4GB, tipo DDR3-1600-MHz RDIMM/PC3-12800/1R/x4/1.35v.
- **Almacenamiento:** Dos (02) discos duros de 2TB SAS 7.2K RPM 3.5-pulgadas HDD.

Al servidor chasis se le realizaron un conjunto de pruebas que serán utilizadas para realizar las justificaciones prácticas de las Soluciones de Centro de Datos, tanto para el ahorro energético de Virtualización de Equipamiento como Cloud Computing.

Los parámetros medidos son los siguientes:

- Potencia Eléctrica en base a Porcentaje de Utilización de CPU del servidor.
 - o Uso del 0% de recursos del servidor
 - o Uso del 15% de recursos del servidor
 - o Uso del 50% de recursos del servidor
 - o Uso del 100% de recursos del servidor
- Potencia Eléctrica, en base a Cantidad de Blades instalados en el servidor chasis. Se realizó la medición del chasis sin ningún servidor blade, hasta la totalidad de blades ocupados, un máximo de ocho (08).

- Los tres parámetros (Potencia Eléctrica, Utilización de CPU y Cantidad de Blades) se han combinado en una matriz de doble entrada, para lograr un mejor entendimiento del comportamiento del servidor.

En la Tabla 7, se puede apreciar los resultados de la medición y caracterización del servidor:

Cantidad de Blades	Consumo Energético (W) en función a porcentaje de utilización de CPU			
	0%	15%	50%	100%
0	172.81	172.81	172.81	172.81
1	295.42	353.08	479.23	664.23
2	415.22	504.34	728.70	1,055.55
3	525.67	663.07	985.78	1,452.45
4	647.15	825.15	1,244.73	1,854.59
5	768.93	988.49	1,506.25	2,246.11
6	891.62	1,152.34	1,770.34	2,646.24
7	1,014.29	1,316.77	2,028.47	3,050.53
8	1,137.61	1,482.93	2,287.28	3,459.85

Tabla 7 – Consumo eléctrico de un Servidor tipo Chasis Cisco 5108, en base a la utilización de recursos del servidor y a la cantidad de blades instalados

En base a la información recopilada en la Tabla 7, se realizará la estimación de consumo energético por virtualización de aplicaciones. Las premisas que se toman en cuenta son las siguientes:

PREMISAS DEL PRIMER ESCENARIO:

- Se tendrán cuatro (04) aplicaciones instaladas en servidores tipo blade de modo no-virtualizado, esto quiere decir que cada aplicación tendrá, en el primer escenario, un blade dedicado.
- El cálculo no toma en cuenta esquemas de redundancia o de supervivencia de servicios y aplicaciones.
- Para fines del cálculo de ahorro energético, se asume que las aplicaciones tienen un comportamiento similar y requieren igual cantidad de la capacidad de procesamiento. Se determinó que cada una de estas aplicaciones

demandará el 15% del uso de un servidor tipo blade durante su operación normal.

- Sobre la base de estas premisas, se procede a calcular los valores energéticos de las aplicaciones en un laboratorio de simulación:
 - o Cuatro aplicaciones no-virtualizadas, requieren cuatro servidores tipo blade. En base a la información de la Tabla 7, se conoce que un servidor con cuatro blades y a un consumo de 15% cada uno, demanda un consumo energético de 825.15 Watts.
 - o En la Tabla 8 se verifica el consumo energético bajo estas condiciones.

Blades	Consumo (W) en función a una utilización de 15% de CPU
0	172.81
1	353.08
2	504.34
3	663.07
4	825.15
5	988.49
6	1,152.34
7	1,316.77
8	1,482.93

Tabla 8 – Detalle del consumo eléctrico del servidor Cisco 5108 en función a la cantidad de blades instalados y a un funcionamiento de 15% de demanda de recursos del servidor

PREMISAS DEL SEGUNDO ESCENARIO:

- Las cuatro aplicaciones que se han descrito en el primer escenario, serán virtualizadas en un solo blade, para ahorrar recursos y, consecuentemente, consumo energético, que es lo que se busca demostrar en esta sección.
- Tal y como se indicó en el primer escenario, cada aplicación consume un 15% de los recursos de un blade. Por lo tanto, cuatro aplicaciones requieren un consumo de recursos del 60%, para un mismo tipo de servidor.
- Al valor de 60%, se le aplica un factor de no-linealidad, ya que la relación no es directa entre aplicaciones virtualizadas y consumo de recursos. Siguiendo el principio de Pareto, se aplica un factor de 0.8 para hallar la

capacidad de procesamiento sincerada. Esto corresponde a aproximadamente a 50%.

- Por lo tanto, si las cuatro aplicaciones son virtualizadas en un solo servidor tipo blade, este llegará a tener un 50% de consumo de sus recursos de CPU.
- Sobre las bases de estas premisas, se procede a calcular los valores energéticos de las aplicaciones virtualizadas en un laboratorio de simulación:
 - o Cuatro aplicaciones virtualizadas, requieren un solo servidor tipo blade. En base a la información de la Tabla 7, se conoce que un servidor de un solo blade y a un consumo de 50%, demanda un consumo energético de 479.23 Watts.
 - o En la Tabla 9 se verifica el consumo energético bajo estas condiciones.

Blades	Consumo (W) en función a una utilización de 50% de CPU
0	172.81
1	479.23
2	728.70
3	985.78
4	1,244.73
5	1,506.25
6	1,770.34
7	2,028.47
8	2,287.28

Tabla 9 – Detalle del consumo eléctrico del servidor Cisco 5108 en función a la cantidad de blades instalados y a un funcionamiento de 50% de demanda de recursos del servidor

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

- En base a los resultados obtenidos en las Tabla 8 y Tabla 9, se puede apreciar una diferencia en el consumo energético para ambos escenarios: virtualizado y no virtualizado.
- En el escenario no virtualizado se obtuvo consumo energético de 825.15 Watts y en el escenario virtualizado se obtuvo un consumo energético de

479.23 Watts. Esto corresponde a un ahorro energético del 41.9% en relación al escenario no virtualizado.

- Esta gran variación se puede explicar a partir de la observación de los resultados que se muestran en la Tabla 7, puesto que cada servidor blade tiene un valor base de consumo energético, a pesar que no tenga aplicaciones instaladas. En otras palabras, el simple hecho de conectar un nuevo servidor blade, sin aplicaciones instaladas, requiere energía eléctrica para su operación.
- Como observación final, se debe tener en cuenta que este valor no es único y que varía, principalmente, debido a los siguientes parámetros:
 - o Cantidad de aplicaciones
 - o Tipo de aplicaciones
 - o Fabricante de Servidores
 - o Clase/Modelo de Servidor
 - o Tipo de servidor: Blade vs. Stand-Alone

3.2.2 Cloud Computing

Cada vez más empresas están invirtiendo en la construcción de grandes centros de datos para alojar servicios en la nube. Estos centros de datos no sólo consumen gran cantidad de energía; además, requieren una infraestructura física muy compleja. Se han propuesto muchos estudios para que estos centros de datos usen tecnologías eficientes de ahorro de energía como virtualización y consolidación (Cisco Systems, 2009).

Un requisito importante para proveer servicios cloud (basados en la nube), es proporcionar servicios de calidad de servicio (QoS) confiables. Estos se deberán definir en el acuerdo de nivel de servicio (SLA – Service Level Agreement) que describa las características mínimas como ancho de banda mínimo, máximo tiempo de respuesta, latencia, entre otros, relacionados a un determinado sistema implementado (Thiel, 2014).

Las tecnologías modernas de virtualización permiten aislar el rendimiento de cada máquina virtual, dentro un grupo que comparten un mismo nodo físico. Sin embargo, debido a que se tiene una consolidación agresiva de recursos

virtuales y una demanda de carga de trabajo variable, no se puede asegurar que los recursos de memoria, procesamiento y almacenamiento estén disponibles cuando sean solicitados (Thiel, 2014).

Los proveedores de servicios en la nube, deben tomar en cuenta estos factores que son propios de la virtualización y asegurar a los usuarios un servicio con condiciones adecuadas. Además, deben tomar en cuenta el impacto energético que esta tecnología significa y buscar formas de reducir el consumo energético (Thiel, 2014).

3.2.2.1 Arquitectura de Nube

En la [Figura 21](#) se muestra un modelo referencial de arquitectura de nube propuesto por Cisco Systems. En este modelo se representa las capas arquitectónicas que se interconectan a través de APIs (Cisco Systems, 2009).

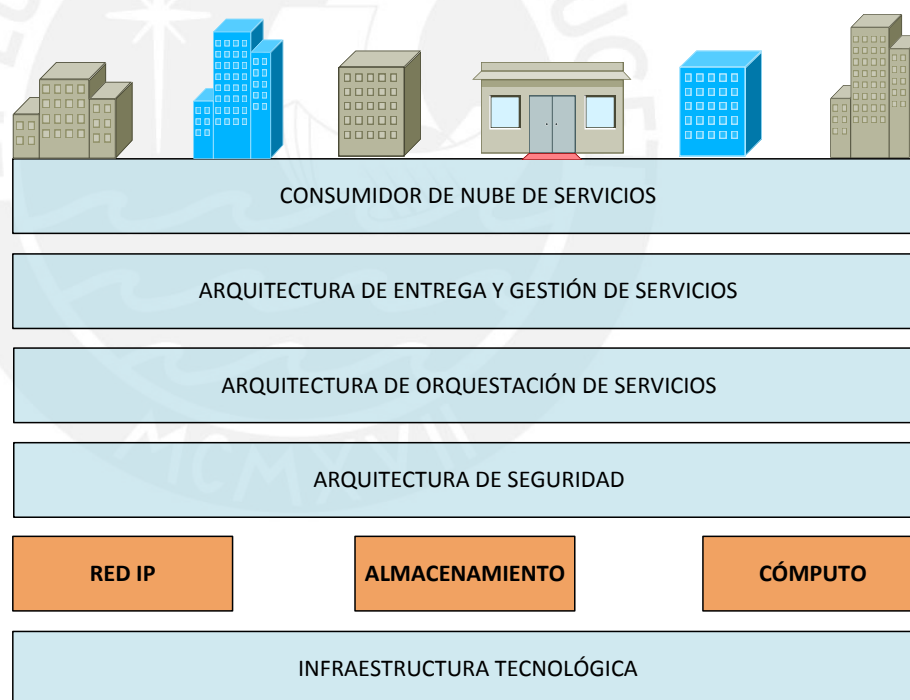


Figura 21 – Arquitectura Referencial de una Nube (Cisco Systems, 2009)

El núcleo de esta arquitectura, resaltado en color naranja, corresponde al centro de datos que está compuesto de tres bloques principales y diferenciados: red

IP, almacenamiento y cómputo. Esta capa alberga los servicios que se entregan a un consumidor en la nube (Cisco Systems, 2009).

La capa de arquitectura seguridad cubre la comunicación de extremo a extremo a través de todas las conexiones y dispositivos de red. La seguridad es considerada como uno de los principales retos a resolver en los servicios brindados con la nube. Por lo tanto, debe tomarse en cuenta para brindar servicios a usuarios finales (Cisco Systems, 2009).

La capa de orquestación de servicios se encarga del intercambio de mensajes en la capa de aplicaciones empresariales. Debido a que los servicios individuales no están programados para comunicarse con otros servicios, los mensajes deben ser cambiados de acuerdo a una lógica de negocio y ejecución de órdenes predeterminada. De este modo, el servicio o aplicación se ejecutarán de modo exigido por el usuario final (Mulesoft). En esta capa se almacena la configuración de información clave, como catálogo de servicios, inventario de activos, y asignaciones de recursos al servicio. Esta capa es una capa sirve como un punto de referencia durante el aprovisionamiento de servicios. La capa de orquestación de servicios es el "pegamento" que integra las capas inferiores para crear un servicio para la entrega (Cisco Systems, 2009).

La capa de entrega y gestión de servicios se encarga de preparar y seleccionar los servicios que serán utilizados con el usuario final. (Cisco Systems, 2009).

Finalmente, la capa superior es la capa de cara al consumidor, generalmente expuesta a través de una solución de portal y donde se define el servicio, solicitado y gestionado para el consumo del usuario final (Cisco Systems, 2009).

A continuación se describe una secuencia típica de acceso de un usuario suscriptor a recursos en la nube (Cisco Systems, 2009).

- i. El consumidor inicia sesión en un portal de la nube y verifica credenciales y e información.
- ii. En base a los privilegios de los consumidores, conjunto de los servicios son identificados y presentados para ser disponibles al usuario.

- iii. El usuario final selecciona el servicio requerido e inicia una solicitud de aprovisionamiento de servicio.
- iv. Los recursos son marcados como reservados para el servicio y se crea una nueva solicitud de servicios de aprovisionamiento.
- v. Los componentes de red IP, cómputo y almacenamiento se configuran y provisionan en base a acuerdos solicitados seguridad y de nivel de servicio (SLA).

3.2.2.2 Aplicación en Edificio Inteligente

En el presente trabajo de tesis, se plantea la implementación de una nube privada empresarial para que brinde servicios a todas las sedes y recursos internos y externos de la organización. En la [Figura 22](#) se aprecia la topología de conexiones del centro de datos de un edificio empresarial. En este diagrama se puede observar que en el centro de datos se tiene la entrada de las conexiones troncales de tres distintos proveedores de servicios que alimentarán de forma centralizada a todos los recursos/sedes de la organización.

Este centro de datos será centralizado y será la base para proporcionar los servicios y aplicaciones a todos los usuarios internos y externos del edificio.

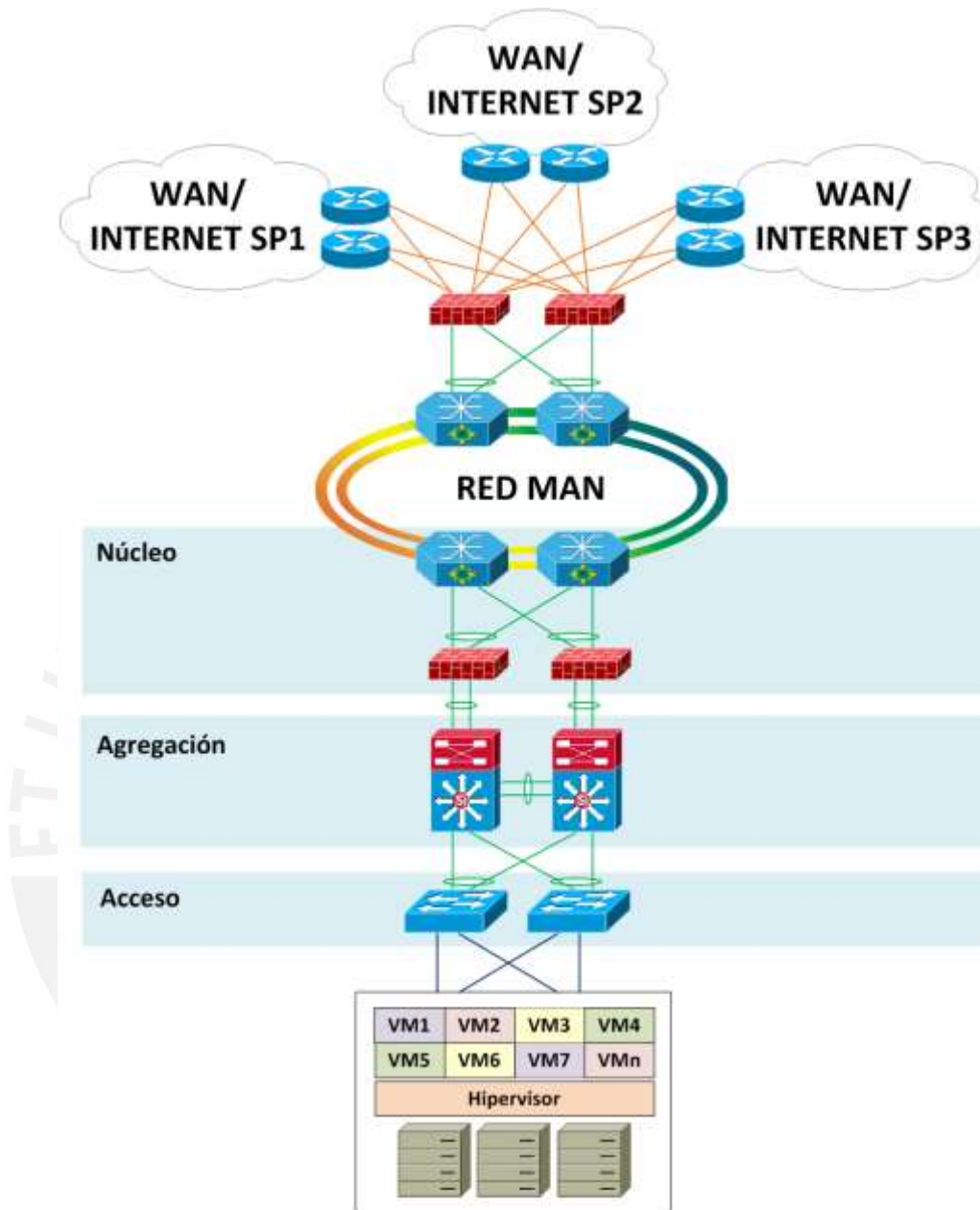


Figura 22 – Topología detallada del Centro de Datos de un edificio inteligente

En la [Figura 23](#) se aprecia la topología de interconexión de diferentes sedes de la organización al centro de datos centralizado. Esta configuración es la nube empresarial y cuenta con todos los beneficios descritos en la presente sección.

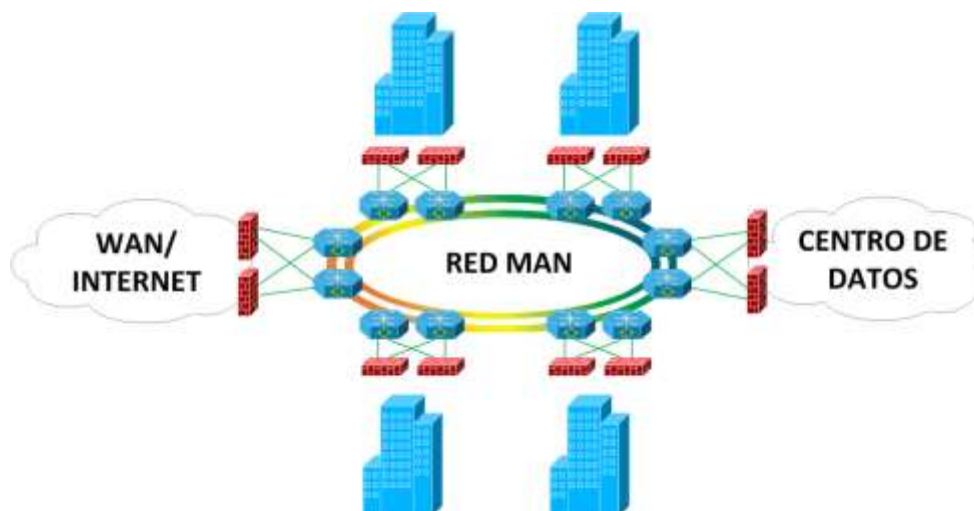


Figura 23 – Arquitectura de red de alto nivel de la organización, donde se muestra la interconexión de distintas sedes con el centro de datos

3.2.2.3 Ahorro Energético Teórico

Los beneficios de la Arquitectura de Nube están estrechamente relacionados a la virtualización de aplicaciones; sin embargo, la nube no consolida solamente distintas aplicaciones en distintos servidores en un mismo centro de datos. Esta arquitectura reduce los servicios y aplicaciones replicados localmente en cada una de las sedes de la organización.

Un ejemplo muy común son las plataformas de comunicaciones IP, plataforma de telepresencia, plataforma de control de acceso, entre otros. Sobre la base de las visitas de campo, se ha hallado que cada sede de una organización suele tener un servidor dedicado a cada una de las plataformas indicadas, cuando lo más óptimo sería centralizar todos los servicios en uno, o dos, centros de datos redundantes y que provean servicios y aplicaciones a toda la organización.

Para estimar un porcentaje de ahorro energético por la consolidación de servidores y aplicaciones en distintos edificios de una organización, se ha definido que la consolidación se realizará en dos centros de datos redundantes, desde donde todos los edificios y sedes de la organización recurrirán para tener acceso a recursos de la empresa. En la [Figura 24](#) se muestra la estimación del ahorro energético por sede, en función a la cantidad de sedes consolidadas.

Nótese que los beneficios se aprecian a partir de la consolidación de recursos de tres edificios.

Las premisas para esta estimación son:

- Cada sede, antes de la consolidación, tendrá recursos duplicados que demandarán un consumo energético del 70% del valor nominal energético del equipamiento.
- Los centros de datos de consolidación serán dos y demandarán un consumo energético del 100% del valor nominal energético del equipamiento.

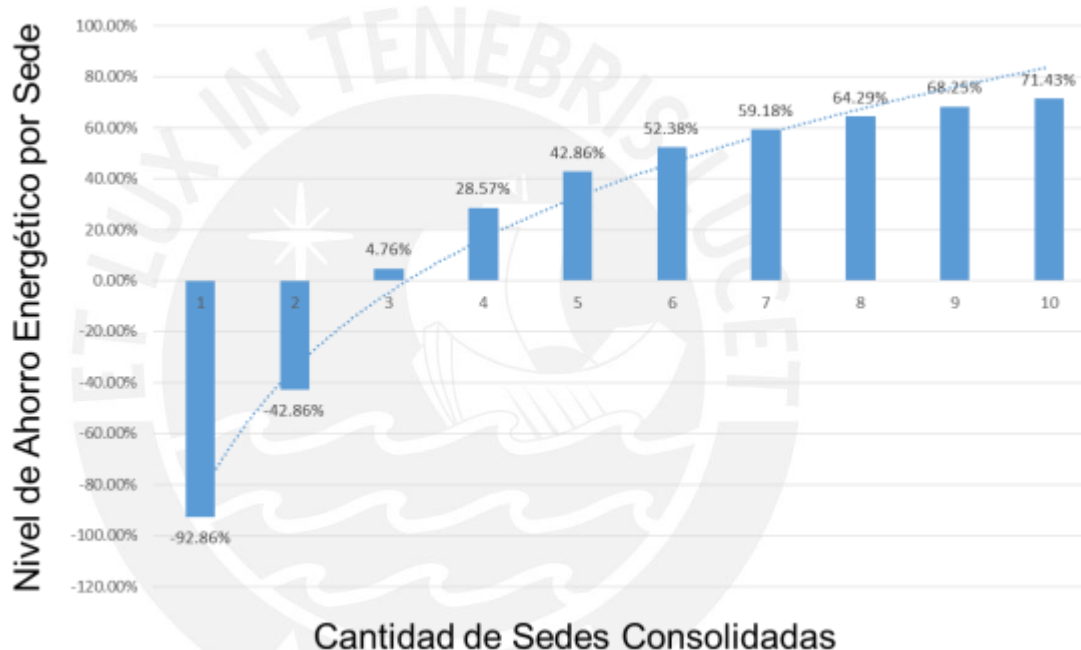


Figura 24 – Estimación de ahorro energético por consolidación de servidores y aplicaciones ubicadas en distintas sedes en dos centro de datos redundantes

Con motivo del desarrollo del presente trabajo de tesis, se ha determinado que una organización tipo, tendrá entre 5 y 10 sedes que requerirán ser interconectadas a los centros de datos para acceder a recursos empresariales. Según la [Figura 24](#) el ahorro energético estaría entre el 43% - 72%. En este punto, se tomará un valor de ahorro energético conservador que corresponde al 40%, en relación a cada sede y específico a la utilización de recursos en una Arquitectura de Nube.

3.2.2.4 Ahorro Energético Práctico

Se realizaron pruebas en un laboratorio de simulación a un servidor tipo chasis 5108, del fabricante Cisco. Este chasis tiene la capacidad de albergar hasta ocho (08) servidores tipo blade (o cuchilla).

En la Sección 3.2.1. se detallaron las características del servidor tipo chasis, así como los resultados de potencia eléctrica obtenidos al 0%, 15%, 50% y 100% de utilización de recursos del servidor, así como su variación, respecto a la cantidad de blades instalados. Si se desea ver el detalle, se deberá revisar la Sección 3.2.1.

En este ejercicio práctico se hallará el porcentaje de ahorro energético, debido a la utilización de Cloud Computing en empresas que demandan gran cantidad de procesamiento en la nube. Para ello, se han determinado dos escenarios en los cuales

PREMISAS DEL PRIMER ESCENARIO:

- Una empresa tiene treinta (30) aplicaciones en su centro de datos que desea migrar a la nube, para optimizar gastos y logística relacionada al mantenimiento de los servidores y equipamiento de TI requerido.
- El cálculo no toma en cuenta esquemas de redundancia o de supervivencia de servicios y aplicaciones.
- Para fines del cálculo de ahorro energético, se asume que las treinta aplicaciones tienen un comportamiento similar y requieren igual cantidad de la capacidad de procesamiento. Se determinó que cada una de estas aplicaciones demandará el 15% del uso de un servidor tipo blade durante su operación normal.
- Sobre la base de estas premisas, se procede a calcular los valores energéticos de las aplicaciones en un laboratorio de simulación:
 - o Treinta (30) aplicaciones no-virtualizadas, requieren los siguientes servidores tipo chasis, a un consumo del 15% de recursos:
 - Tres (03) servidores chasis con ocho (08) blades.
 - Un servidor chasis con ocho blades, al 15% de demanda de recursos, requiere un consumo eléctrico de 1,482.93

Watts. Como se requieren tres chasis, el consumo global es 4,448.79 Watts.

- Un (01) servidores chasis con seis (06) blades.
 - Un servidor chasis con seis blades, al 15% de demanda de recursos, requiere un consumo eléctrico de 1,152.34 Watts.
- Finalmente, la demanda eléctrica de las treinta aplicaciones no virtualizadas es 5,601.13 Watts.
- En la Tabla 10 se verifica el consumo energético de estas dos distribuciones de servidores.

Blades	Consumo (W) en función de a una utilización de 15% de CPU
0	172.81
1	353.08
2	504.34
3	663.07
4	825.15
5	988.49
6	1,152.34
7	1,316.77
8	1,482.93

Tabla 10 – Detalle del consumo eléctrico del servidor Cisco 5108 al 15% de recursos en el cálculo de optimización de recursos en Cloud Computing

PREMISAS DEL SEGUNDO ESCENARIO:

- Las treinta aplicaciones que se han descrito en el primer escenario, serán virtualizadas, para optimizar el consumo energético, que es lo que se busca demostrar en esta sección.
- Tal y como se indicó en el primer escenario, cada aplicación consume un 15% de los recursos de un blade. Por lo tanto, treinta aplicaciones requieren un consumo del 450%, para un mismo tipo de servidor.
- En la solución de Cloud Computing, los recursos de almacenamiento y procesamiento suelen ser utilizados a su máxima capacidad. Para el presente

trabajo de tesis, se asume la capacidad máxima de procesamiento del servidor, el 100%.

- Al valor de 450%, se le aplica un factor de no-linealidad, ya que la relación no es directa entre aplicaciones virtualizadas y consumo de recursos. Se aplica un factor de 0.8, debido a la mayor demanda de información en la nube, para hallar la capacidad de procesamiento sincerada. Esto corresponde a aproximadamente a 360%.
- Sobre las bases de estas premisas, se procede a calcular los valores energéticos de las aplicaciones virtualizadas en un laboratorio de simulación:
 - o Treinta aplicaciones virtualizadas requieren, aproximadamente, cuatro blades al 100% de su demanda de recursos.
 - o En base a la información de la Tabla 11, se conoce que un servidor con cuatro blades y a un consumo del 100%, demanda un consumo energético de 1,854.59 Watts.
 - o En la Tabla 11 se verifica el consumo energético bajo estas condiciones.

Blades	Consumo (W) en función a una utilización del 100% de CPU
0	172.81
1	664.23
2	1,055.55
3	1,452.45
4	1,854.59
5	2,246.11
6	2,646.24
7	3,050.53
8	3,459.85

Tabla 11 – Detalle del consumo eléctrico del servidor Cisco 5108 en función a la cantidad de blades instalados y a un funcionamiento del 100% de demanda de recursos del servidor

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

- En base a los resultados obtenidos en la Tabla 10 y Tabla 11, se puede apreciar una diferencia en el consumo energético para ambos escenarios: virtualizado y no virtualizado.

- En el escenario no virtualizado se obtuvo consumo energético de 5,601.13 Watts y en el escenario virtualizado se obtuvo un consumo energético de 1,854.59 Watts. Esto corresponde a un ahorro energético del 66.9% en relación al escenario no virtualizado.
- Esta gran variación se puede explicar a partir de la observación de los resultados que se muestran en la Tabla 7, puesto que cada servidor blade tiene un valor base de consumo energético, a pesar que no tenga aplicaciones instaladas. En otras palabras, el simple hecho de conectar un nuevo servidor blade, sin aplicaciones instaladas, requiere energía eléctrica para su operación.
- Como observación final, se debe tener en cuenta que este valor no es único y que varía, principalmente, debido a los siguientes parámetros:
 - o Cantidad de aplicaciones
 - o Tipo de aplicaciones
 - o Fabricante de Servidores
 - o Clase/Modelo de Servidor
 - o Tipo de servidor: Blade vs. Stand-Alone

3.3 Soluciones de Sedes Principales y Remotas

3.3.1 Convergencia de Sistemas de TI

La convergencia reduce los gastos de capital (CAPEX) y gastos de operación (OPEX), reduciendo la necesidad de duplicar componentes que realicen funciones similares, así como la duplicidad de infraestructura requerida (cableado, electricidad, refrigeración y espacio). Esta reducción se aplica a los componentes en todos los niveles, desde el tipo de cableado utilizado hasta las habilidades necesarias para instalar, operar y mantener los sistemas. Varias asociaciones de la industria han encontrado que la convergencia también aumenta el valor del negocio para el desarrollador (Cisco Consulting Services, 2014).

3.3.1.1 Enfoque Tradicional

Los sistemas del edificio, tales como el control de aire acondicionado, control de iluminación, video vigilancia y la sensorización, se desarrollan tradicionalmente en silos (cada sistema se interconecta a la red de forma independiente y a

través de una red distinta). Este enfoque dio lugar a una variedad de formas de implementación de soluciones, muchas veces con protocolos y sistemas propietarios que no podían ser modificados para proporcionar funcionalidades adicionales para lo que fueron desarrollados (Cisco Consulting Services, 2014). La Figura 25 muestra el enfoque tradicional:

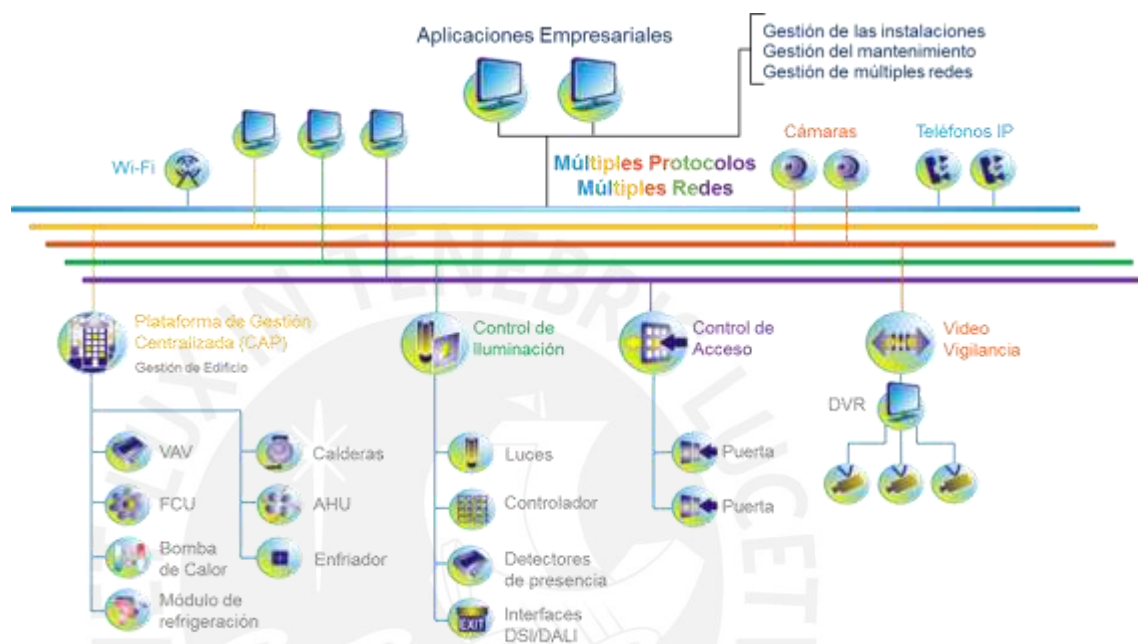


Figura 25 – Conceptualización tradicional de un edificio con redes paralelas (Cisco Consulting Services, 2014)

3.3.1.2 Enfoque Convergente

La arquitectura utilizada para lograr una convergencia de los sistemas TIC empieza, por identificar las funciones realizadas dentro de cada silo. Si el silo es modular, este puede dividirse en elementos más pequeños de hardware y software, para que realicen funciones específicas. Después de identificar funciones similares en múltiples silos, se puede iniciar el proceso de evaluación de la factibilidad de implementar un enfoque convergente. Esto puede incluir (Cisco Consulting Services, 2014):

- Convergencia hacia un solo tipo de cableado
- Utilización de un único protocolo de comunicaciones
- Visualización a través de una única interfaz de usuario

Para lograr este objetivo, los silos pueden permanecer, pero sólo como entidades lógicas, tales como vistas en un sistema de gestión de bases de datos relacionales (RDBMS), determinados por la orquestación de las funciones de los elementos compartidos (Cisco Consulting Services, 2014).

La Figura 26 destaca la capa IP convergente dentro de un edificio que representa el primer nivel de convergencia (Cisco Consulting Services, 2014).

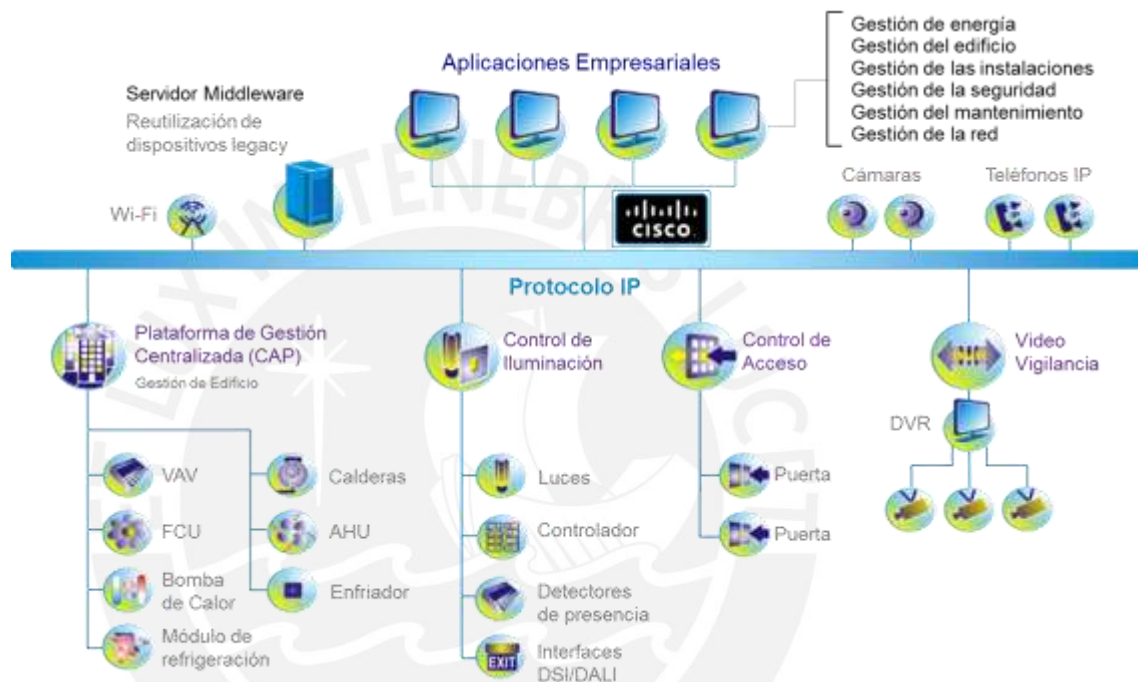


Figura 26 – Conceptualización de edificio convergente e inteligente (Cisco Consulting Services, 2014)

Como puede verse, los silos casi han desaparecido y los recursos de cada silo han sido expuestos al resto de la solución convergente para su uso como recursos por parte de los otros componentes del sistema. Estandarizar la interfaz de comunicación, para la interacción entre los componentes, es una práctica común. En algunos casos, se introduce un middleware adicional para permitir tareas más densas de los sistemas como el aprovisionamiento y soporte. La interacción con el middleware, que debe ser integrado en la red IP, es a través de una interfaz de programación (Cisco Consulting Services, 2014).

La estrategia convergente requiere una plataforma abierta, basada en estándares que puede integrar todas las aplicaciones y sistemas del edificio en conjunto, a lo largo de uno o más infraestructuras. Debe proporcionar el rendimiento del ancho de banda y la calidad de señal requerida por las aplicaciones actuales. Debe ser escalable para satisfacer futuro crecimiento (Cisco Consulting Services, 2014).

Los cuatro niveles de convergencia de TI se indican a continuación (Cisco Consulting Services, 2014):

- **Infraestructura:** Creación de una plataforma de comunicación común que permita compartir información, a través de sistemas cableados e inalámbricos. Esta infraestructura compartida permite el flujo de información entre sistemas tradicionales y aplicaciones relacionadas, en toda la instalación.
- **Red IP:** Conduce a una red IP común a los otros sistemas, lo que permite, adicionalmente, la coexistencia y la utilización de las comunicaciones telefónicas, vídeo y datos. Esto permite que los sistemas de voz empresarial / datos / vídeo típicos, así como sistemas especializados tales como la seguridad, alarmas, circuito cerrado de televisión, ERP, entre otros.
- **Datos:** Se busca la estandarización de los formatos de datos que se encuentran en una red centralizada. Esto permite el intercambio eficiente y oportuno de información entre aplicaciones. La convergencia de datos debe garantizar la disponibilidad de datos entre cualquier dispositivo (s), en cualquier momento y en cualquier lugar. Esto es facilitado por el almacenamiento y cómputo proporcionado por las plataformas comunes, que permiten facilitar las transacciones y el intercambio de datos / información.
- **Operación:** La integración de datos de múltiples sistemas producirá un flujo de datos sinérgica, que permite una gestión óptima de la ciudad y una experiencia ciudadana mejorada.

La convergencia de las TIC puede ser planeada y se logra gradualmente en el tiempo. El objetivo, sin embargo, es lograr en última instancia, el nivel de convergencia en todo el edificio y bienes inmuebles asociados.

3.3.1.3 Aplicación en el Edificio Inteligente

En el presente trabajo de tesis, se plantea implementar la convergencia de todos los sistemas sobre una red IP, ya que permitirá realizar el monitoreo, control y gestión de los sistemas desde un punto centralizado. Además, se tendrá un solo protocolo de comunicaciones que permitirá resolver rápidamente los problemas que puedan generarse en la red, ya que el responsable será TI y no tendrá que esperar respuestas o realizar gestiones con otros departamentos de mantenimiento de la organización.

Las soluciones que tienen mayor impacto en la reducción energética son el Aire Acondicionado (HVAC) e Iluminación. Adicionalmente, se reducirá el consumo de los dispositivos que se energizan a través de la red (Power Over Ethernet) con el uso de protocolos de optimización energética.

En la [Figura 27](#) se puede apreciar el diseño de red del edificio resultante, el cual será inteligente y con sistemas convergentes.

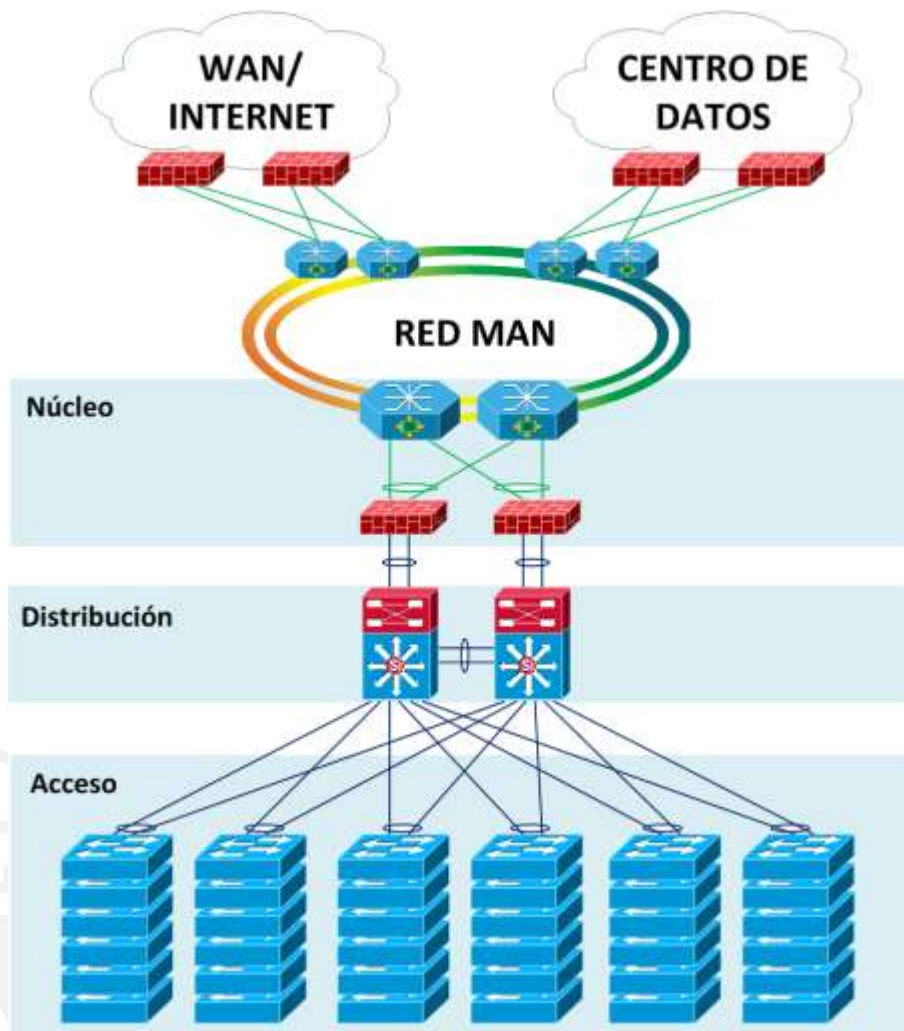


Figura 27 – Arquitectura de red resultante a ser implementada en un edificio inteligente y que corresponde a un edificio inteligente

3.3.1.4 Ahorro Energético

Debido a que los conceptos de ahorro energético del sistema de aire acondicionado (HVAC), iluminación y telefonía IP no son un punto clave dentro del desarrollo del presente trabajo de tesis, se ha desarrollado un estudio teórico práctico sobre los niveles de optimización energética que se pueden lograr a través de la utilización de la convergencia de sistemas sobre una Red IP. Esta información se puede encontrar detallada en el Anexo 1 del presente documento. En la Tabla 12 se muestran los valores de optimización energética por convergencia de red que se obtuvieron:

Característica	Tipo de Solución		
	Luminarias	HVAC	Telefonía IP
Factor de ahorro energético	28%	30%	34%

Tabla 12 – Nivel de ahorro energético de soluciones convergentes sobre la red IP

3.3.2 Ethernet Eficiente (802.3az)

Ethernet es el protocolo dominante más utilizado a nivel mundial por una gran variedad de dispositivos IP. Una forma de optimizar el uso de energía es optimizar el funcionamiento de los conmutadores, a nivel de energía eléctrica utilizada por cada puerto (Cisco & Intel, 2011).

La mayoría de los enlaces Ethernet pasan gran parte del tiempo en periodos de inactividad, a la espera entre el envío de paquetes de datos; sin embargo, el consumo de energía permanece a un nivel casi constante envíe o no información. Se estima que los dispositivos e interfaces de red son responsables de más de 10% del consumo total de energía de TI: decenas de Terawatts-hora (TWhr) por año (Cisco & Intel, 2011).

Para enfrentar este gasto de energía, el protocolo Ethernet Eficiente (EEE - Energy Efficient Ethernet) proporciona un mecanismo y una norma para reducir este consumo de energía sin reducir la función vital que estas interfaces de red realizan.

En el año 2006 el Grupo de Trabajo IEEE 802.3 comenzó un esfuerzo por mejorar la eficiencia energética de Ethernet. Este esfuerzo se convirtió en el protocolo IEEE P802.3az, más conocido como Ethernet Eficiente (EEE). Esto resultó en IEEE Std 802.3az-2010, que fue aprobado el 30 de septiembre de 2010. El protocolo hace uso de un modo ahorrador de energía para que reduce el consumo energético cuando no se están transmitiendo paquetes de información (Christensen, y otros, 2010).

La adopción de Ethernet Eficiente podría permitir generar ahorros mayores a 400 millones de dólares americanos, solamente, en los Estados Unidos y más de un billón de dólares en todo el mundo (Christensen, y otros, 2010).

El impacto energético de los puertos de red, tiene un impacto en distintos sectores (Christensen, y otros, 2010):

- En el caso de interfaces de 100 Mb/s y superiores, los puertos Ethernet transmiten de forma continua y cuando no hay datos transmiten una señal de llamada auxiliar que se utiliza para mantener los transmisores y receptores sincronizados. Esto significa que la mayoría de los elementos de las interfaces están activas todo el tiempo y generan un consumo de energía de gran tamaño.
- El aumento de la complejidad de las interfaces de red, también implica que más energía se consume a medida que la velocidad de datos es mayor. Un transceptor de capa física 1000BASE-T Ethernet normalmente consume más de 0,5 W, mientras que uno de 10GBASE-T, por lo general consume más de 5 W.
- La adopción generalizada y la gran base instalada de Ethernet significa que si el consumo de energía de las interfaces Ethernet se puede reducir sustancialmente, se obtendrán grandes ahorros de energía.

En la Figura 28 se puede apreciar que cuando se envían paquetes, el dispositivo está en el modo activo y cuando no hay paquetes disponibles para la transmisión, el enlace puede entrar en modo de baja potencia. La transición al modo de baja potencia requiere T_s segundos. Una vez en el modo de baja potencia, el dispositivo sólo envía señales durante intervalos de actualización cortos T_r y se queda en modo ahorrador durante intervalos grandes T_q . Una vez que los paquetes llegan para la transmisión, el enlace se activa de nuevo; esta transición de cambio a modo normal toma T_w segundos. Una vez que el enlace está activo, uno o más paquetes pueden ser enviados (Christensen, y otros, 2010) (Symetrix, 2014).

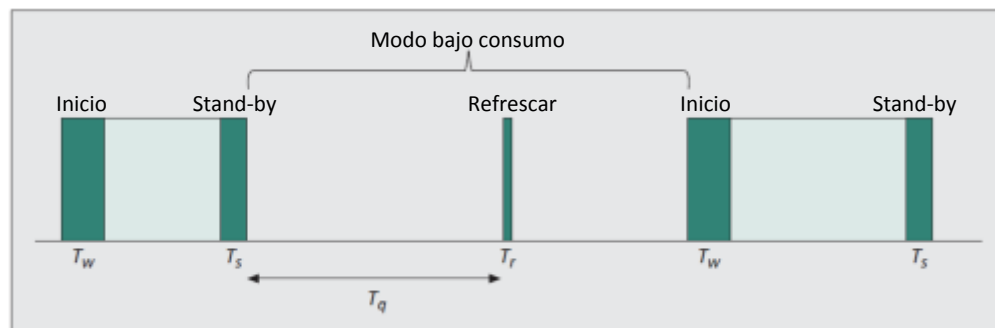


Figura 28 – Funcionamiento de Ethernet Eficiente en tramas de red (Christensen, y otros, 2010)

El enfoque de Ethernet Eficiente es limitar la transmisión cuando no hay datos durante intervalos de actualización periódicos cortos para mantener la alineación entre el transmisor y el receptor. Los grandes ahorros de energía se obtienen cuando el dispositivo pasa una fracción significativa del tiempo en el modo de bajo consumo (Christensen, y otros, 2010).

3.3.2.1 Aplicación en el Edificio Inteligente

En el presente trabajo de tesis, se plantea estandarizar el uso del protocolo Ethernet Eficiente (802.3az) para reducir el consumo eléctrico durante tiempo muertos de transmisión en los puertos del equipamiento de TI.

3.3.2.2 Ahorro Energético Teórico

La [Figura 29](#) muestra el uso normalizado de energía de Ethernet Eficiente, en función a la utilización del enlace de red IP (Christensen, y otros, 2010).

A partir de esta figura se puede estimar un factor general de ahorro energético por la utilización del protocolo Ethernet Eficiente. Se asume que un enlace tendrá una carga aproximada entre 10% y 20%, con lo cual el ahorro energético asociado es entre 35% y 45%. Como estimación conservadora, se define un ahorro energético de 40% al utilizar Ethernet Eficiente.

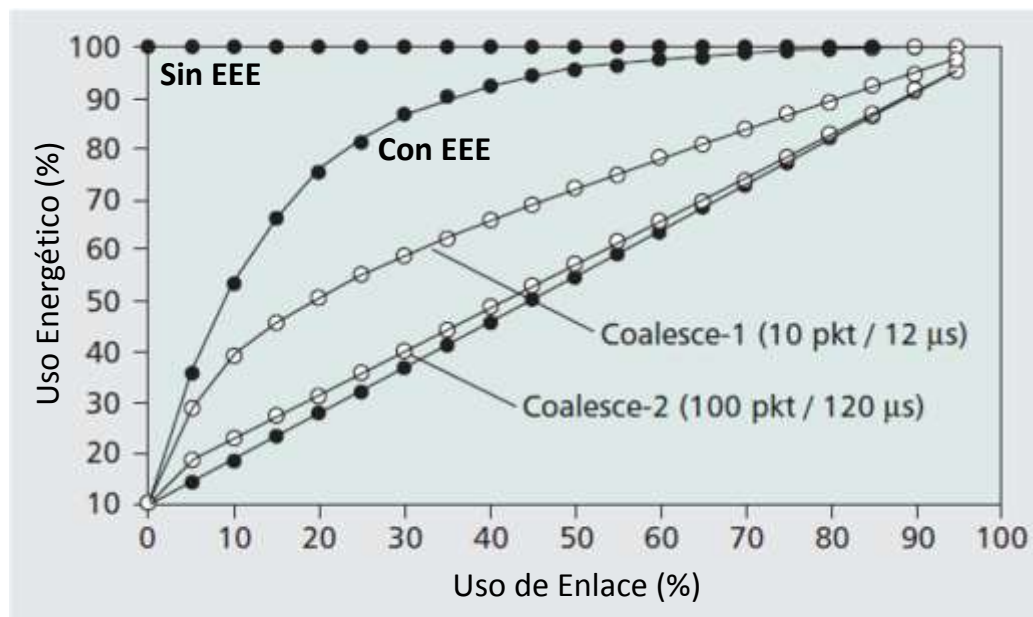


Figura 29 – Comparación de gasto energético con uso de Ethernet Eficiente (Christensen, y otros, 2010)

3.3.2.3 Ahorro Energético Práctico

En un laboratorio de simulación, se realizaron pruebas de medición de potencia, donde se procedió a obtener la potencia de consumo eléctrico de un conjunto de conmutadores CISCO de clase 2960X.

A continuación, se describen los dos escenarios que se han evaluado para realizar la comparación del ahorro energético debido al uso del protocolo Ethernet Eficiente.

- **ESCENARIO 1:** Prueba de consumo energético del conmutador al 10% y al 100% de su carga de procesamiento. En la [Tabla 13](#), se muestran los resultados obtenidos en el laboratorio de simulación.

Clase de Conmutador	Potencia (W)		Variación (W)
	10%	100%	
2960X-48FPD-L	65.9	66.7	0.8
2960X-48LPD-L	61.1	62	0.9
2960X-24PD-L	52.3	53.1	0.8
2960X-48TD-L	47	47.8	0.8
2960X-24TD-L	32.2	33.1	0.9

Tabla 13 – Medición de consumo energético de conmutadores en un laboratorio de simulación al 10% y 100% de capacidad de procesamiento

- Tal y como se puede apreciar en los resultados, la diferencia de potencias de un conmutador al 10% y al 100% de su capacidad de procesamiento es menor a 1 watt de potencia.
- En base al resultado que se ha obtenido, se procede a determinar el consumo energético del conmutador al 0% de su capacidad de procesamiento, esto significa que la potencia eléctrica será la correspondiente a la energía demandada por el conmutador.
- En la Tabla 14, se puede apreciar el consumo energético del conmutador al 0% de su capacidad de procesamiento; así también se han incluido los valores del consumo al 10% y 100%.

Clase de Conmutador	Potencia (W)		
	0%	10%	100%
2960X-48FPD-L	65.8	65.9	66.7
2960X-48LPD-L	61.0	61.1	62
2960X-24PD-L	52.2	52.3	53.1
2960X-48TD-L	46.9	47	47.8
2960X-24TD-L	32.1	32.2	33.1

Tabla 14 – Medición de consumo energético de conmutadores en un laboratorio de simulación, al 0%, 10% y 100% de capacidad de procesamiento

- **ESCENARIO 2:** Prueba de consumo energético del conmutador, utilizando el protocolo Ethernet Eficiente y al 0% de su capacidad de procesamiento. De este modo, se calculará el máximo ahorro posible al utilizar este protocolo. En la Tabla 15, se muestran los resultados de un conmutador al utilizar el protocolo Ethernet Eficiente al 0% de su capacidad de procesamiento.

Clase de Conmutador	Consumo EEE al 0% (W)
2960X-48FPD-L	50.8
2960X-48LPD-L	45.7
2960X-24PD-L	44.7
2960X-48TD-L	32.9
2960X-24TD-L	24.9

Tabla 15 – Medición de consumo energético de conmutadores en un laboratorio de simulación, utilizando el protocolo Ethernet Eficiente y al 0% de su capacidad de procesamiento

- Tal y como se puede apreciar, a partir de los resultados obtenidos, existe una diferencia entre el consumo energético con el uso de Ethernet Eficiente, en comparación a este último.
- **ANÁLISIS DE RESULTADOS:** A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 13, Tabla 14 y Tabla 15, se procedió a determinar la variación porcentual de del uso del protocolo Ethernet Eficiente en comparación al no utilizar el mismo. Los resultados se muestran en la Tabla 16.

Clase de Conmutador	Consumo EEE al 0% (W)	Consumo NO-EEE al 0% (W)	Reducción (%)
2960X-48FPD-L	50.8	65.8	-22.80%
2960X-48LPD-L	45.7	61.0	-25.08%
2960X-24PD-L	44.7	52.2	-14.37%
2960X-48TD-L	32.9	46.9	-29.85%
2960X-24TD-L	24.9	32.1	-22.43%

Tabla 16 – Variación porcentual del consumo energético de conmutadores al utilizar Ethernet Eficiente en comparación a su no-utilización

- Tal y como se aprecia en la Tabla 16, los valores prácticos de ahorro energético, a través del uso del protocolo Ethernet Eficiente varían desde el 14.37% hasta el 29.85%.
- Tomando un promedio de todos los valores porcentuales de ahorro energético obtenidos, se determina que el ahorro promedio práctico a través del uso del protocolo Ethernet Eficiente es 23%.

CAPÍTULO 4: APLICACIÓN DE ARQUITECTURA GREEN-IP Y ANÁLISIS DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA

4.1 Arquitectura Green-IP

Sobre la base de las soluciones descritas en el capítulo anterior, se ha desarrollado la siguiente arquitectura de red que incluye un conjunto de características que ayuda a optimizar el consumo energético en un edificio y en la red MAN de la organización.

Esta arquitectura permitirá incrementar la productividad dentro de la empresa a través de la optimización de los espacios de trabajo fijo y móvil. Tal y como se muestra en la [Figura 30](#), se aprecia que distintos colaboradores podrán acceder a la red corporativa desde sus domicilios, oficinas remotas o a través de dispositivos móviles como teléfonos inteligentes, tablets, laptops, entre otros.

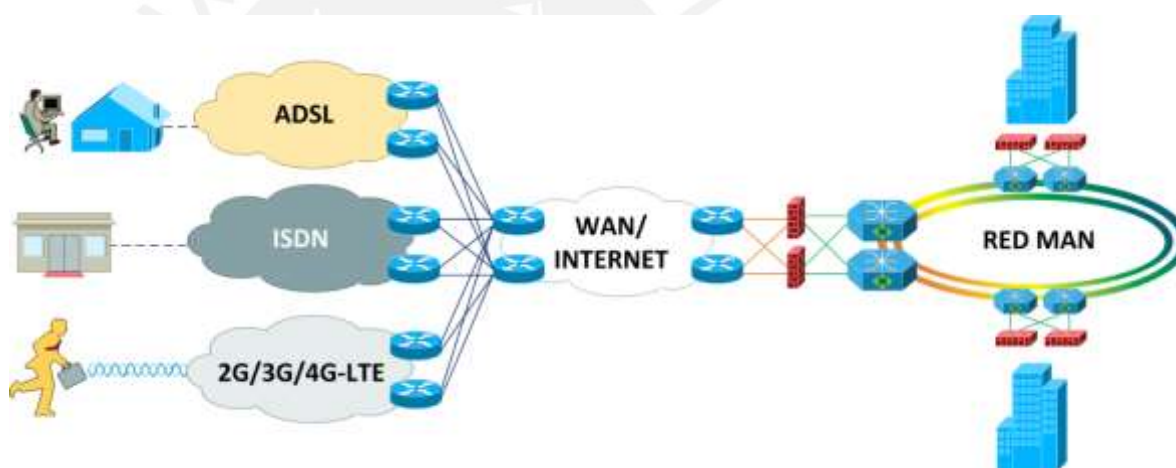


Figura 30 – Detalle de arquitectura de red, donde se muestra el acceso remoto, a través de la WAN/Internet, a la red interna del edificio inteligente

En la [Figura 31](#) se muestra la arquitectura Green IP de un edificio inteligente y ambientalmente sostenible, el cual está basado en una red IP. La arquitectura consta de tres componentes:

- **Red Core MAN:** Es la base de las comunicaciones de todos los edificios y sedes que puede llegar a tener una organización. Tal y como muestra la [Figura 31](#), esta red física de largo alcance, permite interconectar los edificios que están separados geográficamente hacia los centros de datos que centralizan toda la

información. El protocolo de comunicación es IP y el medio físico son anillos redundantes de fibra óptica monomodo para alcanzar distancias superiores a un kilómetro de distancia, que es el límite actual. Las soluciones de optimización de uso energético incluidas son:

- Bypass Óptico de Plano IP
- Optimización de Algoritmos
- **Centro de Datos:** Se tendrán dos centros de datos redundantes en distintas ubicaciones para prestar servicios internos y externos del banco. En estos lugares se almacenarán todas las aplicaciones y servicios que la organización requiera. Las soluciones de optimización de uso energético incluidas son:
 - Virtualización de Equipamiento
 - Cloud Computing
- **Edificios Corporativos:** La red IP permite que los componentes de control y automatización de los edificios de la organización serán monitoreados y controlados a través de una consola centralizada de gestión de múltiples edificios. Las soluciones de optimización de uso energético incluidas son:
 - Convergencia de Sistemas de TI
 - Ethernet Eficiente

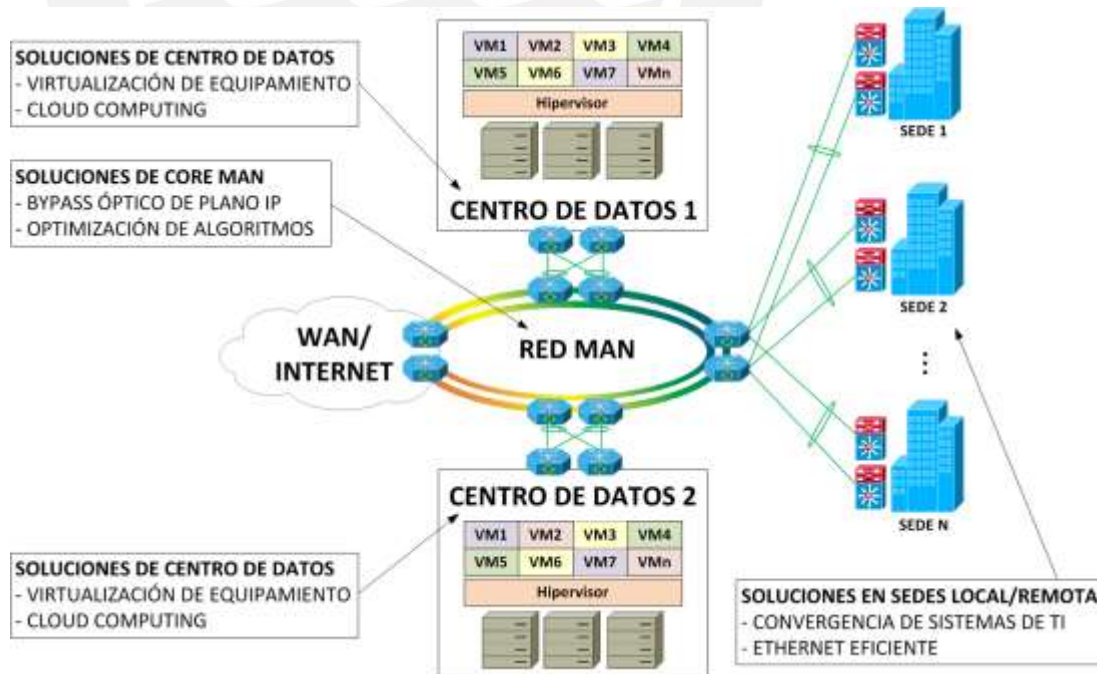


Figura 31 – Arquitectura Green IP

4.2 Ahorro Energético Teórico y Práctico

En base a los cálculos desarrollados en el presente trabajo, los ahorros energéticos que se podrán lograr con el uso de esta arquitectura tienen un impacto en diversos puntos de la red y del edificio. Nótese que todas las soluciones de ahorro energético y la convergencia de red, permiten que el edificio sea inteligente y ambientalmente sostenible.

En la Tabla 17 se muestran los resultados obtenidos en el presente trabajo de tesis que corresponden a niveles de ahorro energético, obtenidos a partir de cálculos teóricos y de cálculos prácticos.

Solución	Ahorro Teórico	Ahorro Práctico
RED CORE MAN		
Bypass Óptico de Plano IP	25% - 45%	18.1%
Optimización de Algoritmos	50%	45.8%
CENTRO DE DATOS		
Virtualización de Equipamiento	20%	41.9%
Cloud Computing	43% - 72%	66.9%
EDIFICIOS CORPORATIVOS		
Convergencia de Sistemas de TI - Luminarias	-	28%
Convergencia de Sistemas de TI - HVAC	-	30%
Convergencia de Sistemas de TI - Telefonía IP	-	34%
Ethernet Eficiente (802.3az)	35% - 45%	14.4% - 29.9%

Tabla 17 – Resumen de niveles de ahorro energético logrados en un Edificio Inteligente y Convergente con la Arquitectura ‘Green IP’ implementada

4.3 Estimación de Ahorro Global de un Edificio Inteligente

Finalmente, se realiza una estimación de alto nivel teórica del factor global de ahorro energético que se puede lograr en un edificio Inteligente y Convergente. Esta estimación es en base a los valores mostrados en la Tabla 17, y a información obtenida a partir del consumo estimado de subsistemas en un edificio. (Cisco Systems, 2015)

En todos los casos, se han colocado valores conservadores, para estimar una línea base del consumo energético que se podría lograr. Por otro lado, en algunos sistemas no se cuenta con un valor de ahorro energético, debido a que este trabajo se enfoca en equipamiento y software de telecomunicaciones TI. En estos casos, se ha colocado las

iniciales N/D, que indica que la información no está disponible y, por lo tanto, se asume un ahorro energético de 0%.

Sistema de TI	Consumo Estimado (Cisco Systems, 2015)	Ahorro Calculado	Consumo Resultante
Dispositivos móviles	0.5%	N/D	0.5%
PCs, Laptops y Monitores	31.5%	N/D	31.5%
Servidores	16.2%	41.9%	9.4%
Comunicaciones de Usuario	6.1%	34%	4%
Comunicaciones Empresariales	13.3%	18.1%	10.9%
Infraestructura Inalámbrica	7.3%	N/D	7.3%
Infraestructura Alámbrica	11.1%	14.4%	9.5%
Otros	14%	N/D	14%
Factor de Consumo	100.0	-	87.1
Ahorro Global de TIC			-12.9%

Tabla 18 – Estimación de ahorro energético de Componentes TIC de un Edificio Inteligente y Convergente

A partir de la Tabla 18 se ha estimado que, con las soluciones que se han desarrollado en el presente trabajo de tesis, se podrá lograr un ahorro energético de 12.9%, como línea base, para todo el equipamiento de TI en el edificio.

Una vez que se ha determinado el ahorro del equipamiento de TI, se procede a hallar el ahorro global que se puede lograr en un edificio, tomando en cuenta el sistema de aire acondicionado e iluminación, el cual se muestra a continuación.

Sistema General	Consumo Estimado (Cisco Systems, 2015)	Ahorro Calculado	Consumo Resultante
HVAC	58%	30%	40.6%
Iluminación	11%	28%	7.9%
Equipamiento de TI	25%	12.9%	21.8%
Otros	6%	N/D	6%
Factor de Consumo	100.0	-	76.3
Ahorro Global en Edificio			23.7%

Tabla 19 – Estimación de ahorro energético Global en un Edificio Inteligente y Convergente

A partir de la Tabla 19, se estima que, por lo menos, se puede lograr un ahorro global del 23.7% en el edificio. Finalmente, esto se deberá traducir en ahorros económicos de inversión y operativos.



CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

El presente capítulo muestra el análisis de rentabilidad de la implementación de la Arquitectura Green-IP en un edificio. En análisis se ha realizado en base a la comparación de los componentes análogos requeridos para implementar un edificio de forma tradicional en comparación a un Edificio Inteligente y Convergente (Gree-IP). Se solicitaron cotizaciones a los principales fabricantes de cada una de las soluciones involucradas en la implementación; estos son Cisco Systems, Siemon, Commscope, Elcope, Ennaxion, Carrier, Karson y Halux.

5.1 Descripción de Equipamiento Requerido

Para realizar el análisis de rentabilidad se ha seleccionado el siguiente equipamiento, que se caracteriza por ser de última generación y actualizado a las necesidades de un edificio. En la Tabla 20 se muestra el detalle.

Componente	Fabricante	Modelo/Clase	Unidad
Servidor Chasis Base	Cisco	Chasis UCS 5108	Hardware
Servidor Tipo Blade	Cisco	Blade C220 M4	Hardware
Servidor Tipo Rack	Cisco	Rack C220 M4	Hardware
Conmutador de Acceso	Cisco	Catalyst 3850 48 PoE	Hardware
Conmutador Core	Cisco	Catalyst 6880X	Hardware
Puntos de Acceso Wi-Fi	Cisco	Aironet 3702	Hardware
Controlador de Wi-Fi	Cisco	WLAN 5508	Hardware
Cableado Estructurado	Siemon/ Commscope	Categoría 6 ^a	Metro
Cableado No-IP	Elcope	Alambre 2x22AWG	Metro

Tabla 20 – Detalle de equipamiento a ser utilizado en el análisis de rentabilidad

A partir del equipamiento seleccionado se solicitó a los proveedores indicados cotizaciones del equipamiento. En la Tabla 21 se muestra el costo de cada equipamiento según el tipo de unidad cotizada.

Componente	Valor en USD			Unidad
	Productos	Servicios	Mano de Obra	
Servidor Chasis Base	5,999.00	268.13	940.07	Hardware
Servidor Tipo Blade	2,995.00	579.00	536.10	Hardware
Servidor Tipo Rack	3,365.00	838.50	630.53	Hardware
Conmutador de Acceso	10,400.00	900.63	1,695.09	Hardware
Conmutador Core	34,000.00	4,138.85	5,720.83	Hardware
Puntos de Acceso Wi-Fi	1,495.00	82.50	236.63	Hardware
Controlador de Wi-Fi	39,995.00	7,148.00	7,071.45	Hardware
Cableado Estructurado	232.49	60.45	43.94	Metro
Cableado No-IP	16.18	2.43	2.79	Metro

Tabla 21 – Detalle de costo unitario de productos, servicio y mano de obra de equipamiento a ser utilizado en el análisis de rentabilidad

Finalmente, se solicitó a fabricantes de sistema HVAC e Iluminación, realizar cotizaciones específicas de solución para un edificio tradicional y otro Inteligente. En la Tabla 22 se muestran los resultados obtenidos.

Sistema	Valor en USD		Fabricante	Modelo/Clase
	Productos	Mano de Obra		
HVAC Tradicional	60,899.65	9,134.95	Enaxxion/Carrier	100K BTUs
HVAC Smart	62,223.18	9,333.48	Enaxxion/Carrier	100K BTUs + Web
Iluminación Tradicional	377,700.44	56,655.07	Karson	Grilla 4x18W
Iluminación Smart	893,558.82	134,033.82	Halux	Grilla LED / 45W

Tabla 22 – Detalle de costo realizado a medida para los sistemas HVAC e Iluminación

5.2 Determinación de Diferencial de CAPEX

El siguiente paso fue realizar la comparación de implementación de componentes de TI, HVAC e iluminación en ambos escenarios, tradicional e Inteligente. En la Tabla 23 se muestra la comparación de las cantidades requeridas en ambos escenarios. Se deberá tomar en cuenta que la indicación de “Sistema a Medida” hace referencia a que el costo de la solución se ha realizado de forma específica para el edificio descrito en el presente documento; la indicación “No Aplica” hace referencia a que un edificio inteligente no requiere el uso de esos componentes; finalmente, en base a las cantidades, se determinará el costo total de la solución en ambos escenarios.

Componente	Cantidad de Equipamiento	
	Escenario Tradicional	Escenario Green-IP
Red Wi-Fi	118	153
Controlador de Red Wi-Fi	2	2
Conmutadores de Acceso	23	32
Conmutadores Core	2	2
Cableado Estructurado	Sistema a medida	Sistema a medida
Servidores Centro de Datos	23	5
Servidores Locales	4	1
Sistema Iluminación	Sistema a medida	Sistema a medida
Sistema HVAC	Sistema a medida	No Aplica

Tabla 23 – Detalle de cantidad de equipamiento involucrado en implementaciones Tradicional y Green-IP

La Tabla 24 muestra el detalle de los costos asociados a cada solución en un escenario tradicional. Se deberá tomar en cuenta que el costo está en dólares americanos. Por otro lado, se hace la diferenciación entre productos, servicios y mano de obra.

Los (i) productos hacen referencia al hardware requerido por la solución; los (ii) servicios toman en cuenta los contratos de condiciones de servicios que son firmados con el proveedor de una determinada solución para brindar soporte durante un periodo de tiempo renovable; finalmente, la (iii) mano de obra, es el costo relacionado a la implementación en sitio de la solución.

Componente	Estimación de Costo Escenario Tradicional (USD)				Total
	Cantidad	Productos	Servicios	Mano de Obra	
Red Wi-Fi + Controlador	118	256,400.00	24,031.00	42,065.00	322,496.00
Conmutadores Acceso	23	239,200.00	20,714.49	38,988.00	298,902.49
Conmutador Core	2	34,000.00	4,138.85	5,721.00	43,859.85
Cableado Estructurado	Sistema	254,579.00	-	66,191.00	320,770.00
Servidores Centro de Datos	23	77,395.00	19,285.50	14,503.00	111,183.50
Servidores Locales	4	13,460.00	4,192.50	2,648.00	20,300.50
Sistema Iluminación	Sistema	377,700.44	-	56,655.07	434,356.00
Sistema HVAC	Sistema	207,058.82	-	31,058.82	238,117.65
Cableado No-IP	Sistema	5,985.29	-	897.79	6,883.09
TOTAL (USD)					1,796,869.08

Tabla 24 – Detalle de estimación de CAPEX de componentes IP en un Edificio Tradicional

De forma análoga a la [Tabla 24](#), la [Tabla 25](#) muestra el detalle de los costos asociados a cada solución en un escenario inteligente (Green-IP).

Componente	Estimación de Costo Escenario Green-IP (USD)				Total
	Cantidad	Productos	Servicios	Mano de Obra	
Red Wi-Fi + Controlador	153	308,725.00	26,918.50	50,347.00	385,990.50
Conmutadores Acceso	32	332,800.00	28,820.16	54,244.00	415,864.16
Conmutador Core	2	34,000.00	4,138.85	5,721.00	43,859.85
Cableado Estructurado	Sistema	352,225.00	-	91,579.00	443,804.00
Servidores Centro de Datos	5	20,974.00	3,163.13	3,621.00	27,758.13
Servidores Locales	1	8,994.00	847.13	1,477.00	11,318.13
Sistema Iluminación	Sistema	893,558.82	-	134,033.82	1,027,592.65
Sistema HVAC	Sistema	211,558.82	-	31,733.82	243,292.65
TOTAL (USD)					2,599,480.06

Tabla 25 – Detalle de estimación de CAPEX de componentes IP en un Edificio Green-IP

5.3 Determinación de Diferencial de OPEX

Una vez que se ha determinado la inversión requerida en cada uno de los escenarios, se procede a estimar los ahorros que serán obtenidos en caso de implementar la Arquitectura Green-IP. En análisis realizar es similar al realizado en el análisis de CAPEX. En la Tabla 35 se muestra el resultado del análisis realizado a cada uno de los escenarios. Los valores han sido extraídos del desarrollo realizado en el Capítulo 4 y en el Anexo 1.

Componente del Edificio	Detalle de Componente	kWh por Componente		
		Tradicional	Green-IP	Diferencia
Capacidad IPoDWDM	Un (01) equipo de enlace a la WAN.	8,640	7,080	1,560
Optimización de Algoritmos	Teléfonos IP (525) con EnergyWise.	82,530	44,730	37,800
Virtualización de Servidores	Cuatro (04) aplicaciones locales en edificio.	19,804	11,502	8,302
Cloud Computing	Treinta (30) aplicaciones localizadas en centro de datos global.	134,427	44,510	89,917
Infraestructura IP	Conmutadores de interconexión de dispositivos IP.	36,322	39,014	(2,693)
Sistema de Iluminación	Desarrollado específicamente para el edificio.	12,199,100	8,783,400	3,415,700
Sistema HVAC	Desarrollado específicamente para el edificio.	39,931,000	27,951,730	11,979,270
TOTAL (kWh)	kWh por día.	52,411,822	36,881,966	15,529,856

Tabla 26 – Detalle de ahorro energético comparando las soluciones utilizadas en un Edificio Tradicional en comparación a un Edificio Green-IP

5.4 Determinación de Ahorro Económico y PayBack

Una vez determinado el ahorro energético, se procede a determinar, en base al ahorro en comparación al escenario tradicional, el monto diario, mensual y anual, respectivo. A partir del conocimiento que un edificio de oficinas tiene una tarifa de tipo BT4 y que corresponde a un costo de S/0.1891 Nuevos Soles por Kilowatt-hora, se ha determinado la [Tabla 27](#), donde se indica que el ahorro monetario en dólares es aproximadamente trescientos diez mil dólares americanos (310,000 USD).

Descripción de Ahorro	Unidad	Ahorro Según Escenario		
		Tradicional	Green-IP	Diferencia
Ahorro diario de potencia	kWh	52,411,822.32	36,881,966.08	15,529,856.24
Ahorro monetario diario	S/.	9,911.08	6,974.38	2,936.70
Ahorro monetario mensual	S/.	297,332.27	209,231.39	88,100.87
Ahorro monetario anual	S/.	3,567,987.22	2,510,776.72	1,057,210.49
Ahorro monetario anual	USD	310,944.26		

Tabla 27 – Detalle de estimación de OPEX anual al utilizar la Arquitectura Green-IP

Finalmente, en base al ahorro anual obtenido, se procede a estimar la cantidad de años que tomará recuperar la inversión realizada en el equipamiento de la Arquitectura Green-IP. En la Tabla 28, se aprecia que se requieren tres (03) años para recuperar la inversión, haciendo el respectivo redondeo entero al año superior.

Cálculo de Payback (Años)	
Descripción	Valor
Gasto Adicional (USD)	802,610.99
Ahorro Anual (USD)	310,944.26
PAYBACK (Años)	2.6

Tabla 28 – Detalle de Payback



CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo de tesis corrobora la hipótesis exploratoria definida, ya que la Arquitectura Green-IP permite lograr niveles de optimización energética global en un edificio del 23.7%, lo cual es mayor al 15% indicado en la hipótesis inicial. Adicionalmente, el tiempo de pago de la implementación de un Edificio Inteligente y Convergente es de tres (03) años, lo cual es menor a los cinco (05) años, definida en la hipótesis.

Se esperaba que el costo de la solución Inteligente y Convergente sea mayor que el costo de la solución tradicional, lo cual se comprobó que era un 45% mayor, respecto a la implementación tradicional. Esto se debe, principalmente, a que se requieren más puntos/bocas de red para interconectar los componentes a la Red IP del edificio y que se requieren cableados adicionales paralelos no basados en IP.

La solución que permite obtener mayor optimización energética en un Edificio Inteligente y Convergente es Cloud Computing (Nube). Según datos prácticos, se determinó que la optimización puede llegar a alcanzar un 66.9%, esto se debe a que la consolidación de servicios y software en menos servidores, reduce drásticamente la cantidad de hardware requerido para el funcionamiento de los sistemas, en comparación a un despliegue no-virtualizado. Este valor permitirá ahorrar más energía a medida que el Centro de Datos sea más grande, ya que menos equipos son conectados a la red.

El sistema más caro para ser implementado en un edificio es Iluminación. En ambos escenarios, tradicional e Inteligente, se encontró que representa un gasto de 24% del CAPEX total del primer escenario y un 40% del CAPEX total del segundo escenario. Respecto a los niveles de ahorro en OPEX, se determinó que la mayor optimización energética se logra con el sistema HVAC que corresponde a un 75% del total de ahorro para el edificio descrito en este trabajo de investigación.

Los cálculos y resultados numéricos obtenidos en el presente trabajo son parte del estudio de un edificio de características específicas, descrito en el presente documento. Además, son resultado de un equilibrio entre cálculos cualitativos y cuantitativos por la propia naturaleza experimental de la hipótesis, la cual analiza edificios que, casi siempre, tienen características únicas que los diferencian de otros.

No se cuenta con un solo tipo de edificio. Por ejemplo, un edificio puede tener tres pisos o cincuenta, y la variación de valores que se tendrá en este caso no permitirá dar una conclusión cuantitativa exacta, pero si un resultado cualitativo basada en números que permitan hacer afirmaciones y llegar a conclusiones debidamente sustentadas con un trasfondo teórico y práctico. En base a esto, se desestiman las desviaciones estándar, error de mediciones y se trabaja con valores únicos obtenidos a partir de mediciones y corroborados con hojas técnicas de fabricantes. En el peor de los casos, durante las mediciones del equipamiento las variaciones eran menores a un watt (1W), lo cual significaría un error total menor al 0.8%.

En base al estudio de campo y entrevistas realizadas con personal de gestión de TI del edificio se encontraron dos fuertes limitantes para implementar una arquitectura de Green-IP: (i) percepción que el equipamiento necesario requiere una inversión muy alta, puesto que requiere la comprar de más conmutadores y habilitación de más puntos de red; sin embargo, dependiendo de las características del edificio los gastos adicionales por adquirir el equipamiento necesario podría solventarse en un periodo de operación del edificio entre 3 a 5 años. Por otra parte, (ii) la mayoría de edificios no cuenta con una red IP convergente sobre la cual se implementen distintas soluciones y recurren a implementar redes paralelas y con distintos protocolos, ya que es la solución que ha venido instalándose en el mercado por más de 20 años y se tiene miedo al cambio de implementar nuevas soluciones en un edificio.

La tendencia del desarrollo de edificios ambientalmente sostenibles, proporciona múltiples beneficios a empresas, siendo los más importantes la atracción del talento joven, puesto que los estudios demuestran que la gente prefiere trabajar en una empresa medioambientalmente responsable, y el incremento de la reputación empresarial, lo cual aumenta su valor y permite tener más llegada a otras instituciones privadas o nacionales.

RECOMENDACIONES

Este trabajo de tesis queda a disposición de otros interesados en el tema y que quieran complementar y ahondar en el tema desarrollado. El tema es amplio y una de las conclusiones más importantes de este trabajo es que, definitivamente, hay forma de optimizar el consumo energético de los componentes de TI; sin embargo, esto puede ser aún más optimizado si se encuentran otras soluciones y/o si se desarrollan protocolos y algoritmos más eficientes. Así también, se podrían hacer estudios económicos que demostrarían que los ahorros son ligeramente mayores a los indicados en el presente documento.



BIBLIOGRAFÍA

- Accenture. (2011). Demonstrating how information technology can cut energy use and costs of real estate portfolios. *Energy-Smart Buildings*. Recuperado el 24 de Abril de 2015, de <http://www.accenture.com/SiteCollectionDocuments/PDF/Accenture-Energy-Smart-Buildings.pdf>
- Bouley, D. (2010). Impact of Virtualization on Data Center Physical Infrastructure. *The green grid*.
- Buro Happold. (13 de Noviembre de 2013). *Smart Buildings*. Recuperado el 17 de Abril de 2015, de Buro Happold: http://www.burohappold.com/fileadmin/uploads/bh/Documents/PDFs/SMART%20Buildings_White%20paper.PDF
- Christensen, K., Reviriego, P., Nordman, B., Bennett, M., Mostowfi, M., & Maestro, J. A. (Noviembre de 2010). IEEE 802.3az: The Road to Energy Efficient Ethernet. *IEEE Communications Magazine: Energy Efficiency in Communications*.
- Cisco & Intel. (2011). IEEE 802.3az Energy Efficient Ethernet: Build Greener Networks. Recuperado el 21 de Julio de 2015, de http://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/switches/catalyst-4500-series-switches/white_paper_c11-676336.pdf
- Cisco Consulting Services. (2014). *Consultoría en Edificios Inteligentes*. Lima, Perú.
- Cisco Systems. (2009). Cisco Cloud Computing - Data Center Strategy, Architecture and Solutions. *Point of View White Paper for U.S. Public Sector, 1st Edition*.
- Cisco Systems. (2013). *Telefónica y Cisco completan una prueba de conectividad a 100 Gbps y 4.000 kilómetros con tecnología IPoDWDM*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2015, de <http://globalnewsroom.cisco.com/es/es/release/Telef%C3%B3nica-y-Cisco-completan-una-prueba-de-conectividad-100-Gbps-y-4000-kil%C3%B3metros-con-1778092>
- Cisco Systems. (28 de Mayo de 2015). *Cisco Innovation Lab*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2015, de http://www.cisco.com/assets/global/PT/events/innovation-lab-porto-2015/pdfs/services_rodrigo_teixeira.pdf
- Cisco Systems Inc. (2015). Cisco IP Phone 7800 Series Data Sheet. Recuperado el 15 de Agosto de 2015, de <http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/collaboration-endpoints/unified-ip-phone-7800-series/data-sheet-c78-729488.pdf>

- Cisco Systems Inc. (2015). Cisco Unified IP Phone 9951 Data Sheet. Recuperado el 15 de Agosto de 2015, de http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/collaboration-endpoints/unified-ip-phone-9951/data_sheet_c78-565680.pdf
- Cisco Systems Inc. (s.f.). *Cisco Unified IP Phone Power*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2015, de Cisco Support Community: <https://supportforums.cisco.com/discussion/11176941/cisco-unified-ip-phone-power>
- Climatizaciones Frica SAC. (25 de Octubre de 2015). *Climatizaciones Frica SAC*. Recuperado el 25 de Octubre de 2015, de <http://www.peruaireacondicionado.com/index.html>
- EPSON. (s.f.). Home Cinema 5030UB 2D/3D 1080p 3LCD Projector. Recuperado el 5 de Octubre de 2015, de http://www.epson.com/cmc_upload/pdf/brochure_hc5030ub.pdf
- Gartner. (7 de Octubre de 2015). Magic Quadrant for Corporate Telephony. Recuperado el 15 de Octubre de 2015, de <http://www.gartner.com/technology/reprints.do?id=1-2P4KVUT&ct=151007&st=sb>
- Heddeghem, W., Lannoo, B., Colle, D., Pickavet, M., Musumeci, F., Pattavina, A., & Idzikowski, F. (Octubre de 2013). Power Consumption Evaluation of Circuit-Switched versus Packet-Switched Optical Backbone Networks. *TREND workshop*. Recuperado el 22 de Octubre de 2015
- Heschong Mahone Group. (s.f.). *Lutron*. (Lighting Efficiency Technology.) Recuperado el 11 de Noviembre de 2015, de <http://www.lutron.com/en-US/Education-Training/Pages/LCE/GreenBenefits.aspx>
- Heschong Mahone Group, Lighting Efficiency Technology . (s.f.). *Lutron*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2015, de <http://www.lutron.com/en-US/Education-Training/Pages/LCE/GreenBenefits.aspx>
- Humpal, T., Karnouskos, S., & Martocci, J. (2012). *Benefit of IP in Commercial Buildings*. (D. Barisic, Ed.) Recuperado el 5 de Abril de 2015, de http://www.ipso-alliance.org/wp-content/media/benefits_of_ip_in_commercial_buildings.pdf
- Jia, Q.-S., Zhao, Q., Darabi, H., Huang, G., Becerik-Gerber, B., Sandberg, H., & Henrik, K. (10 de Junio de 2014). Smart Building Technology. *IEEE Robotics & Automation Magazine*. Recuperado el 24 de Marzo de 2015

- Jin, Y., Wen, Y., & Chen, Q. (2011). Energy Efficiency and Server Virtualization in Data Centers: An Empirical Investigation. *Nanyang Technological University; Yangtze Delta Institute of Tsinghua University*.
- Karnouskos, S., Vasseur, J., Wetterwald, P., Martocci, J., & Humpal, T. (s.f.). *Introduction to IP in Commercial Buildings*. (M. Zhu, Ed.) Recuperado el 23 de Abril de 2015, de http://www.ipso-alliance.org/wp-content/media/ip_in_commercial_buildings.pdf
- Kumar, S., Shin, C., & Buyya, R. (2011). Green Cloud Framework For Improving Carbon Efficiency of Clouds.
- LENOVO. (Junio de 2015). *LENOVO Product Specifications Reference (PSREF)*. Recuperado el 1 de Junio de 2016, de LENOVO: <https://www.lenovo.com/psref/pdf/tcbook.pdf>
- Li, C., Li, Z., Li, M., Meggers, F., Schlueter, A., & Beng Lim, H. (2014). Energy Efficient HVAC System with Distributed Sensing and Control. *2014 IEEE 34th International Conference on Distributed Computing Systems*.
- Lutron. (Julio de 2013). *Soluciones de energía fáciles de instalar*. Recuperado el 28 de Agosto de 2015, de http://www.lutron.com/TechnicalDocumentLibrary/3672110_spa.pdf
- Magnum Energy Solutions. (s.f.). *Wireless Energy Management In Hotels, Save Energy & Enhance The Guest Experience*. Recuperado el 18 de Octubre de 2015, de [http://www.magnumenergysolutions.com/uploads/WhitePaper\(1\).pdf](http://www.magnumenergysolutions.com/uploads/WhitePaper(1).pdf)
- Martani, C., Lee, D., Robinson, P., Britter, R., & Ratti, C. (24 de Diciembre de 2011). *Energy and Buildings*. *Elsevier*. Recuperado el 25 de Abril de 2015
- Ministerio de Energía y Minas del Perú. (s.f.). *Anuario Estadístico de Electricidad 2013*. Lima. Recuperado el 5 de Octubre de 2015, de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Capitulo%201%20%20Balance%20y%20Principales%20Indicadores%202013.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas del Perú. (s.f.). *El consumo de energía y la eficiencia energética*. Recuperado el 11 de Octubre de 2015, de <http://www.minem.gob.pe/giee/pdf/ficha-informativa-completo-secundaria.pdf>
- Mishra, A., Irwin, D., Shenoy, P., Kurose, J., & Zhu, T. (15 de Marzo de 2013). *GreenCharge: Managing Renewable Energy in Smart Buildings*. Recuperado el 11 de Marzo de 2015
- Mulesoft. (s.f.). *Mulesoft*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2015, de <https://www.mulesoft.com/resources/esb/service-orchestration-and-soa>

- O'Donnell, K., & Wagener, W. (2007). *Connected Real Estate: Essays from innovators in real estate, design, and construction*. Walmer, Kent, Reino Unido: Cisco Systems Inc.
- Peng, C., & Yoon Yi, C. (2013). Climate Change Simulation for Intelligent Green Building Adaptation Design. *The University of Sheffield: School of Architecture*. Recuperado el 25 de Junio de 2015
- Schneider Electric. (2011). Creating an efficient campus: Maximize energy efficiency and security with an integrated university infrastructure. *Schneider Electric Whitepaper*. Recuperado el 25 de Mayo de 2015, de http://www.schneider-electric.com/solutions/id/en/med/4664490/application/pdf/1208_1166-efficient-campus-white-paper-a4.pdf
- Schneider Electric. (s.f.). What can Schneider Electric do for your HVAC & R machine control? Recuperado el 15 de Septiembre de 2015, de http://www.schneider-electric.com/solutions/id/en/med/53651129/application/pdf/1755_hvac-r-brochure.pdf
- Siemens. (s.f.). YangPu District saves 50 percent of HVAC costs. Recuperado el 18 de Octubre de 2015, de https://www.thefuturebuild.com/assets/images/uploads/products/1638/033_ref_yangpugov_1008231.pdf
- Symetrix. (Julio de 2014). Green Ethernet/IEEE Protocol/Energy-Efficient Ethernet.
- Thiel, S. (10 de Diciembre de 2014). *Department of Informatics, University of Hamburg*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2015, de https://wr.informatik.uni-hamburg.de/_media/teaching/wintersemester_2014_2015/eep-1415-thiel-energy-efficiency-in-virtualized-systems-notes.pdf
- Treado, S., & Chen, Y. (10 de Septiembre de 2013). Saving Building Energy through Advanced Control Strategies. *Energies - Open Access Energy Research, Engineering and Policy Journal*. Obtenido de www.mdpi.com/journal/energies
- TREND Consortium. (Diciembre de 2013). D3.6 Final WP3 technical report on "Energy efficiency in core networks".
- VentDepot. (s.f.). *Procedimiento de Cálculo para Equipos de Aire Acondicionado*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2015, de <http://www.ventdepot.net/mexico/procedimientoscalculo/Procedimiento%20de%20Calculo%20Aire%20Acondicionado%20VentDepot.pdf>
- Verma, K., Rizzo, G., Fernández, A., Cuevas, R., & Azcorra, A. (2012). Greening the Internet: Energy-Optimal File Distribution. *Universidad Carlos III de Madrid, Spain, Institute IMDEA Networks, Madrid, Spain*.

- Visual Networking Index (VNI). (Mayo de 2015). *Cisco Systems*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2015, de http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/VNI_Hyperconnectivity_WP.html
- Wetterwald, P. -I. (1 de Febrero de 2009). *European Commission*. Recuperado el 25 de Octubre de 2015, de <http://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupDetailDoc&id=7616&no=4>
- Xerox. (s.f.). Xerox® WorkCentre® 7800 Series Color Multifunction Printer. Recuperado el 19 de Agosto de 2015, de Xerox® WorkCentre® 7800 Series Color Multifunction Printer: <http://www.office.xerox.com/latest/W78SS-01.PDF>



ANEXO 1: CÁLCULO DE CONSUMO Y AHORRO ENERGÉTICO DE SOLUCIONES DE AIRE ACONDICIONADO, ILUMINACIÓN Y TELEFONÍA

El presente anexo ha sido desarrollado en base a la recolección de información de múltiples Edificios Inteligentes desarrollados en distintos países como Perú, Venezuela, Argentina, Uruguay, Panamá, Ecuador y Canadá. Para este trabajo de tesis, se recolectó información de campo de un edificio en San Isidro en Lima, Perú, sobre la cual se realizó un estudio teórico y práctico sobre la optimización del consumo energético en el edificio. La información de cantidades de equipamiento y áreas del edificio, han sido desarrolladas a partir del análisis de campo. Debido a que se conoce que las soluciones que generan el mayor consumo energético en un edificio son el Aire Acondicionado, la Iluminación y componentes IP (Power Over Ethernet - 802.11af/802.11at), se enfocó en recoger información sobre estos componentes.

1 Determinación de sistemas de estudio

Los sistemas que serán analizados en el presente trabajo de tesis, serán los que tengan un mayor impacto en el consumo energético dentro del edificio. Se sabe, a partir del estudio realizado por Cheng Li, Zhenjiang Li, Mo Li, Forrest Meggers, Arno Schlueter y Hock Beng Lim (Li, y otros, 2014) que solamente los edificios son responsables hasta de la mitad del consumo energético realizado en el mundo. En base a esta premisa de estudio se enfoca el estudio a los edificios corporativos, ya que, incluso, una pequeña reducción del consumo energético en los edificios tendrá un gran impacto a nivel global.

Adicionalmente, el mismo estudio (Li, y otros, 2014) indica que el sistema HVAC (aire acondicionado y calefacción) es el responsable hasta el 47% de la energía utilizada en los edificios. Si bien, este sistema es el primer consumidor de energía, hay otros como iluminación, tal y como lo indica un estudio realizado por Stephen Treado y Yan Chen (Treado & Chen, 2013), donde la iluminación tiene un impacto en el 20% del consumo energético de los edificios.

Finalmente, el mismo estudio indica que los componentes electrónicos y las computadoras son responsables de un 8% del consumo energético de un edificio (Treado & Chen, 2013).

En base a la información proporcionada anteriormente, se enfocará el análisis de reducción energética en los edificios en tres frentes que tienen el mayor impacto:

- Sistema de Aire Acondicionado y Calefacción (HVAC)
- Sistema de Iluminación
- Componentes PoE (Telefonía IP)

2 Sistema de Iluminación

Se realizó el estudio de cambio de un edificio corporativo en San Isidro, departamento Lima, país Perú y se encontró los siguientes parámetros correspondientes a la iluminación de sus espacios y salas.

2.1 Estudio de campo

La iluminación encontrada en el edificio estuvo conformada por luminarias en arreglos de cuatro fluorescentes por luminaria. Por luminaria se conoce a la unidad básica de iluminación utilizada en el edificio. En la [Figura 32](#) se aprecia la imagen de una luminaria.



Figura 32 – Luminaria encontrada en el estudio de campo a un edificio tradicional en San Isidro, Lima, Perú

Los fluorescentes identificados fueron de dos tipos: Philips TLD 18W / 840-NG y Philips TLD 18W / 865. En ambos casos, el consumo de los fluorescentes es de 18 Watts. Debido a que cada luminaria está compuesta de cuatro (04) fluorescentes, cada luminaria tiene un consumo de 72 Watts.

Por otro lado, se analizó las dimensiones físicas del espacio de trabajo y la cantidad de luminarias en el edificio para determinar un coeficiente que permita determinar, por relación directa, la cantidad de luminarias requeridas en el edificio de estudio del presente trabajo de tesis. Las unidades del coeficiente buscado son: metros cuadrados por luminaria ($m^2/luminaria$).

Las dimensiones del área de trabajo del edificio son: veintiún metro de largo (21m) por seis punto siete metros (6.7m) y se encontraron un total de treinta (30) luminarias. Por lo tanto, el coeficiente resultante es cuatro punto siete metros cuadrados por luminaria ($4.7m^2/luminaria$).

Los resultados encontrados en el estudio de campo se resumen en la Tabla 29:

ANÁLISIS DE CAMPO DE PLANTA TÍPICA DE EDIFICIO CORPORATIVO EN PERÚ		
CARACTERÍSTICA	VALOR	UNIDADES
Cálculo de ratio $m^2/luminaria$		
Largo	21	metros
Ancho	6.7	metros
Área Total	140.7	metros cuadrados
Cantidad de luminarias	30	unidades
Ratio $m^2/luminarias$	4.7	$m^2/luminaria$

Tabla 29 – Resultados del análisis de campo realizado a un edificio corporativo en San Isidro, Lima, Perú

2.2 Supuestos del cálculo energético

A continuación se describen los supuestos utilizados en el desarrollo del cálculo energético:

- **Homogeneidad de cálculo:** El cálculo global de energía requerido por las luminarias en todo el edificio se realiza en base al cálculo de una planta, multiplicado por la totalidad de plantas en el edificio: plantas superiores y subsuelos.

- **Valores de consumo diarios:** Los valores resultantes del cálculo corresponden a consumo energético diario.

2.3 Cálculo de consumo energético

Luminarias por planta: Para el cálculo de la cantidad de luminarias en una planta del edificio, se divide el total de los metros cuadrados de la planta entre el coeficiente de metros cuadrados por luminaria. Por lo tanto, se requiere un total de setecientos setenta y nueve (779) luminarias.

Potencia por planta: Se conoce, a partir del análisis de campo, que cada luminaria tiene un consumo de setenta y dos watts (72W). Por lo tanto, la potencia por planta corresponde a la multiplicación de las setecientos setenta y nueve (779) luminarias por setenta y dos watts (72W), lo cual corresponde a cincuenta y seis mil ochenta y ocho watts (56,088W).

Tiempo de uso: Se ha determinado que la iluminación en el edificio permanecerá encendida desde las 08:00 horas hasta las 22:30 horas. Esto corresponde a un total de catorce horas y medio (14.5 hrs).

Consumo diario: El consumo de energía diario, debido a la iluminación corresponde a la multiplicación de la potencia por planta (56,088W) por la cantidad de horas de uso (14.5 hrs). En total, se obtiene un consumo energético de ochocientos trece punto veintiocho kilowatt-hora (813.28 kWh) por planta del edificio.

Consumo global diario: El consumo global por día corresponde a la multiplicación del consumo de una planta (813.28 kWh) por el total de plantas más subsuelos (15 plantas). El total, se obtiene un consumo energético global de doce mil ciento noventa y nueve punto uno kilowatt-hora (12,199.1 kWh).

Optimización energética: Para determinar los ahorros energéticos, se ha tomado en cuenta un conjunto de documentación proporcionado por el fabricante de productos y sistemas de control de iluminación Lutron. Según su página web (Heschong Mahone Group, Lighting Efficiency Technology) y documentos (Lutron, 2013), hay tres tipos de ahorros energéticos que se pueden lograr, relacionados a la iluminación:

- **Ahorro con el uso de dimmers:** A través de este sistema, que regula la energía utilizada por una o más luminarias, se puede lograr una reducción de 20% de consumo energético sobre el consumo total de un edificio, medido en un periodo de un año. Resultados proporcionados y mediciones realizadas por Heschong Mahone Group (Heschong Mahone Group).
- **Ahorro con el uso de sensores de ocupación:** Los sensores de ocupación detectan la presencia de personas en una habitación y permite apagar la iluminación para generar ahorros. Con esta solución se puede lograr un ahorro de 50% de consumo energético sobre el consumo total de un edificio, medido en un periodo de un año. Resultados proporcionados y mediciones realizadas por Heschong Mahone Group (Heschong Mahone Group).
- **Ahorro con el uso de dimmers y sensores de ocupación:** Se pueden utilizar ambas soluciones al mismo tiempo para lograr ahorrar más energía. De este modo, se puede lograr un ahorro de 60% de consumo energético sobre el consumo total de un edificio, medido en un periodo de un año. Resultados proporcionados y mediciones realizadas por Heschong Mahone Group (Heschong Mahone Group).

En la Tabla 30 se puede apreciar el resumen de los ahorros energéticos relacionados al consumo energético, con el uso de distintas equipos:

AHORRO ENERGÉTICO DE ILUMINACIÓN	
CARACTERÍSTICA	VALOR
Ahorro con el uso de dimmers	20%
Ahorro con el uso de sensores de ocupación	50%
Ahorro con el uso de dimmers y sensores de ocupación	60%

Tabla 30 – Ahorro energético estimado de iluminación (Heschong Mahone Group, Lighting Efficiency Technology) (Lutron, 2013)

En el presente trabajo de tesis, se ha determinado que el ahorro energético relacionado a la iluminación se puede dar en dos tipos de espacios:

- **Salas de Reunión:** En las salas de reunión se puede reducir el consumo energético a través del uso de dimmers y sensores de ocupación, ya que

habrán momentos en los cuales las salas estén vacías y las luces estén totalmente apagadas.

- **Espacios de Trabajo:** Los espacios de trabajado suelen ser concurridos y estar ocupados e iluminados gran parte del día. Por tal motivo, la mejor solución para reducir el consumo energético es con el uso de dimmers, donde se ajustará la intensidad de iluminación en base a las condiciones internas que se tenga en el edificio.

Consumo energético optimizado: Para el cálculo de energía optimizado, se toma en cuenta el ahorro energético que se logra en las salas de reuniones a través del uso de equipos y sensores que reconocen el ambiente iluminado.

- **Consumo energético optimizado de salas de reunión:** Para el cálculo de este valor, se determina la potencia requerida por las salas de reunión. Se sabe que las salas de reunión ocupan el 20% del espacio total de una planta, lo cual corresponde a setecientos treinta metros cuadrados (730m^2); a su vez, la potencia de iluminación requerida por esta área es un sesenta por ciento (60%) menor que el caso no optimizado. Por lo tanto, el consumo energético optimizado diario de las salas de reunión en el edificio es novecientos setenta y cinco punto noventa y tres kilowatt-hora (975.93 kWh).
- **Consumo energético optimizado de espacios de trabajo:** Para el cálculo de este valor, se determina la potencia requerida por los espacios de trabajo. Se sabe que los espacios de trabajo ocupan el 80% del espacio total de una planta, lo cual corresponde a dos mil novecientos veinte metros cuadrados ($2,920\text{m}^2$); a su vez, la potencia de iluminación requerida por esta área es un veinte por ciento (20%) menor que el caso no optimizado. Por lo tanto, el consumo energético optimizado diario de los espacios de trabajo en el edificio es siete mil ochocientos siete punto cuarenta y cinco kilowatt-hora (7,807.45 kWh).

La potencia total del consumo energético optimizado resultante de la iluminación en un edificio es ocho mil setecientos ochenta y tres punto cuatro kilowatt-hora (8,783.4 kWh).

Para resumir el proceso descrito anteriormente, se ha elaborado la Tabla 31, donde se muestran los supuestos y los cálculos realizados.

ANÁLISIS ENERGÉTICO LUMINARIAS		
CARACTERÍSTICA	VALOR	UNIDADES
Potencia de fluorescente	18	watts
Fluorescentes por luminaria	4	unidades
Potencia de luminaria	72	watts
Supuestos de Edificio de Estudio		
Luminarias por planta	779	luminarias
Potencia por planta	56,088	watts
Tiempo de uso por día	14.5	horas
Potencia por día	813.28	kilo-watt.hora
Potencia del edificio por día	12,199.1	kilo-watt.hora
Consumo energético optimizado		
Reducción por dimmers	20	%
Reducción por sensor presencia	50	%
Red. dimmers + sensor presencia	60	%
Potencia optimizada salas reunión	975.93	kilo-watt.hora
Potencia optimizada espacios de trabajo	7,807.45	kilo-watt.hora
Potencia optimizada del edificio por día	8,783.4	kilo-watt.hora

Tabla 31 – Cálculo energético de la iluminación en el edificio de estudio

3 Sistema de Aire Acondicionado y Calefacción (HVAC)

El cálculo de la energía requerida por el sistema (HVAC) en el edificio definido en el presente trabajo de tesis, se ha limitado a los espacios de trabajo y salas de reuniones. Este cálculo no incluye la potencia requerida por el sistema de aire acondicionado en las salas de telecomunicaciones, puesto que la disipación calórica es muy baja y no requieren un sistema de aire acondicionado dedicado.

3.1 Estudio teórico

Para determinar la potencia requerida en las plantas superiores del edificio, se ha utilizado un documento que describe el Procedimiento de Cálculo para Equipos de Aire Acondicionado (VentDepot). En primer lugar, se determina la cantidad de

metros cuadrados que serán cubiertos por el sistema de aire acondicionado, lo cual se ha denominado Celda de Aire Acondicionado; aquí se incluyen disipadores naturales de calor como luminarias y radiaciones propias del espacio. En segundo lugar, se estima la cantidad de personas que estarán presentes en cada celda; este valor deberá ser un promedio. En tercer lugar, se determina la cantidad de ventanas que habrá en cada celda (en metros cuadrados); este valor, generalmente es descargado, puesto que cada metro cuadrado de ventanas adiciona, aproximadamente, 700 BTUs. Finalmente, se determina la cantidad de BTUs que es disipado por el equipamiento de red en la celda.

En base a este procedimiento, se han definido celdas de cobertura del sistema HVAC en función del área del edificio y su la respectiva cantidad de BTUs de refrigeración requeridos.

Celdas de Aire Acondicionado: El área total del edificio es tres mil seiscientos cincuenta metros cuadrados ($3,650\text{m}^2$). Para realizar los cálculos matemáticos se seleccionará como base que cada planta tendrá diez (10) celdas de aire acondicionado. La cantidad de BTUs que se obtenga en cada celda, definirá la potencia de enfriamiento de equipos de aire acondicionado a adquirir. Por lo tanto, se obtiene que cada celda tendrá un área de trescientos sesenta y cinco metros cuadrados (365m^2).

Personas por Celda: El edificio alberga un total de tres mil quinientas (3,500) personas. Debido a que las plantas superiores son las más habitadas del edificio, cada una de estas plantas tendrá trescientas diecinueve (319) personas. Con este parámetro se obtiene que cada celda tiene treinta y dos (32) personas.

Equipos electrónicos: En cada planta superior del edificio se tienen un conjunto de equipos eléctricos que son los siguientes:

- **Computadoras:** Para realizar los cálculos en esta sección se toma como referencia una computadora *LENOVO ThinkCentre Tiny-in-One (TIO) 23*, la cual tiene un consumo promedio de 25W (LENOVO, 2015). Se asume que cada uno de los trabajadores en la planta, tienen una computadora de trabajo.

- **Impresoras de oficina:** El consumo eléctrico de una impresora se ha tomado en base al modelo Xerox WorkCentre 7845. Según las hojas técnicas del equipo (Xerox), estos equipos tienen un consumo promedio de setecientos sesenta y cuatro watts (764W) en funcionamiento y un consumo de noventa y seis watts (96W) en consumo bajo de energía (stand-by). Para realizar los cálculos en esta sección se toma un valor promedio ponderado de doscientos watts (200W), el cual se ha definido en base al promedio de uso de la impresora de cuatro horas al día. En la Tabla 32, se muestra el cálculo del promedio.

CÁLCULO DE VALOR MEDIO DE CONSUMO DE IMPRESORA DE OFICINA		
CARACTERÍSTICA	VALOR	UNIDADES
Consumo promedio de impresora	764	watts
Consumo en modo stand-by	96	watts
Horas al día de uso de impresora	4	horas
Horas al día en modo stand-by	20	horas
Valor medio de consumo de impresora	200	watts

Tabla 32 – Valor medio de consumo energético de impresora de oficina

- **Proyectores:** El consumo eléctrico de un proyector se tomado en base al modelo Epson Home Cinema 1080p 3LCD Projector. Según las hojas técnicas del equipo (EPSON), estos equipos tienen un consumo promedio ponderado de doscientos ochenta watts (280W) durante el día.

A continuación, se muestra en la Tabla 33 el consumo energético de los equipos electrónicos en el edificio.

ANÁLISIS ENERGÉTICO DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS DEL EDIFICIO			
EQUIPO	CONSUMO PROMEDIO (W)	CANTIDADES	POTENCIA TOTAL (W)
Laptops	25	319	7,975
Impresoras	200	5	1,000
Proyectores	280	10	2,800
Consumo energético total (W)			11,775

Tabla 33 – Consumo energético de equipos electrónicos del edificio

Cálculo de BTUs requeridos por celda: Según el Procedimiento de Cálculo para Equipos de Aire Acondicionado (VentDepot), la cantidad de BTUs requeridos por cada celda de aire acondicionado, se calcula en base al intercambio calorífico dentro del edificio. A continuación se describen los principales procesos de intercambio de calor:

Área del recinto a acondicionar: El área de una celda es de trescientos sesenta y cinco metros cuadrados (365m²). Según el documento Procedimiento de Cálculo para Equipos de Aire Acondicionado (VentDepot), el área requiere ochenta mil BTU/hora (80,000 BTU/hora).

Cantidad de personas en celda: Cada celda tendrá treinta y dos (32) personas. Según el documento Procedimiento de Cálculo para Equipos de Aire Acondicionado (VentDepot), estas personas requieren diecinueve mil doscientos BTU/hora (19,200 BTU/hora).

Equipos electrónicos: Cada planta del edificio tiene equipos electrónicos que consumen once mil setecientos setenta y cinco watts (11,775W), tal y como se indicó en la [Tabla 33](#). Debido a que se analiza una sola celda y que se asume que los equipos electrónicos están distribuidos de forma uniforme en toda la planta, la potencia de los equipos en la celda es mil ciento setenta y ocho watts (1,178W). Según el documento Procedimiento de Cálculo para Equipos de Aire Acondicionado (VentDepot) se requieren cuatro mil veinte BTU/hora (4,020 BTU/hora) para disipar el calor generado.

3.2 Supuestos de cálculo energético

El documento Procedimiento de Cálculo para Equipos de Aire Acondicionado (VentDepot), indica que existen tres parámetros adicionales para hallar la potencia de refrigeración necesaria:

- **Intercambio de calor por ventanas:** Se asume como despreciable el intercambio de calor en cada celda, puesto que el valor es, aproximadamente, 700 BTUs, frente a los 100,000 BTUs que tiene cada celda.

- **Exposición del recinto al sol:** La exposición del recinto al sol no generará intercambios considerables de calor.
- **Cocinas:** El edificio no tendrá cocinas que generen un intercambio de calor en los espacios de trabajo o espacios de reunión.

3.3 Cálculo de consumo eléctrico

Potencia de refrigeración requerida por celda (BTU/hora): La potencia de acondicionamiento de cada una de las diez (10) de cada planta del edificio se obtiene a través de la sumatoria de los puntos descritos en la sección 3.2. Por lo tanto, se requieren ciento tres mil doscientos veinte BTU/hora (103,220 BTU/hora).

Potencia eléctrica requerida por celda en kilowatts (kW): Se utiliza el factor de conversión entre BTU/hora y watts (1 BTU/hora = 0.29307107 W). De este modo, cada celda requiere treinta punto veinticinco kilowatts (30.25 kW) de potencia.

Kilogramos de CO₂ por celda: Debido a que la generación de electricidad en el Perú es generada en su mayor parte en centrales termoeléctricas, se determina la cantidad de toneladas de dióxido de carbono expulsados al medio ambiente por la generación de la electricidad. Según la [Tabla 1](#), el factor de conversión de kilowatts a kilogramos de dióxido de carbono emitidos al medio ambiente es cero punto seiscientos quince (0.615 kgCO₂/kWh).

Debido a que cada celda de HVAC requiere treinta punto veinticinco kilowatts (30.25 kW) de potencia, si se aplica el factor de conversión a kilogramos de dióxido de carbono, se obtiene un total de dieciocho punto seis kilogramos de carbono (18.6 kg) por cada celda de HVAC.

Potencia eléctrica requerida por planta (kW): Cada planta del edificio está compuesto por un total de diez (10) celdas. Por lo tanto, la potencia eléctrica requerida por el edificio es trescientos dos punto cinco kilowatts (302.5 kW).

Kilogramos de CO₂ por planta: Utilizando el mismo factor de conversión de kilowatts a dióxido de carbono (0.615 kgCO₂/kWh), se obtiene que cada planta del edificio genera una huella de dióxido de carbono de ciento ochenta y seis kilogramos (186 kg CO₂).

Tiempo de uso: Se ha determinado que el sistema de aire acondicionado en el edificio permanecerá encendido desde las 09:00 horas hasta las 21:00 horas. Esto corresponde a un total de doce horas (12 hrs).

Potencia eléctrica diaria requerida cada planta del edificio: Al agregar el factor de tiempo de uso del sistema de aire acondicionado, se obtiene que cada planta requiere una potencia eléctrica de tres mil seiscientos treinta y uno kilowatt-hora (3,630.1 kWh).

Toneladas de CO₂ diarias requerido por cada planta del edificio: Utilizando el mismo factor de conversión de kilowatts a dióxido de carbono (0.615 kgCO₂/kWh), se obtiene que cada planta del edificio genera una huella de dióxido de carbono de dos punto veintitrés toneladas (2.23 ton CO₂).

Potencia eléctrica requerida en el edificio: Debido a que el edificio está compuesto por diez (10) plantas iguales, la potencia eléctrica requerida es de treinta y nueve mil novecientos treinta y uno kilowatt-hora (39,931.0 kWh).

Toneladas de CO₂ requeridas por el edificio: Utilizando el mismo factor de conversión de kilowatts a dióxido de carbono (0.615 kgCO₂/kWh), se obtiene que el edificio genera una huella de dióxido de carbono diaria de veinticuatro punto seis toneladas (24.6 ton CO₂).

Factor de optimización energética: Para determinar el ahorro energético del sistema de aire acondicionado se ha investigado sobre casos concretos donde se ha medido el porcentaje de reducción de consumo energético:

- Según Siemens, en un distrito de YangPu en China, los ahorros por optimización del uso de aire acondicionado tienen un valor de cincuenta por ciento (50%) (Siemens).
- Según Magnum Energy Solutions, en un estudio desarrollado en hoteles, los ahorros por optimización del uso de aire acondicionado tienen un valor de treinta por ciento (30%) (Magnum Energy Solutions).
- Según Schneider Electric, los sistemas de control de Aire Acondicionado, podrían llegar a generar ahorros de cincuenta por ciento (50%) (Schneider Electric).

Sobre la base de estos tres (03) valores obtenidos, producto del trabajo de tesis, se ha seleccionado el peor de los casos como factor de reducción de gasto energético del sistema de aire acondicionado: treinta por ciento (30%).

Cálculo de potencias optimizadas: A continuación se desarrolla el detalle del consumo energético del edificio, en modo de optimización de energía.

- **Potencia eléctrica diaria requerida cada planta del edificio:** Aplicando el factor de reducción energética determinado en el punto anterior, la potencia eléctrica requerida por cada planta del edificio es dos mil quinientos cuarenta y uno punto uno kilowatt-hora (2,541.1 kWh).
- **Toneladas de CO₂ diarias requerido por cada planta del edificio:** Aplicando el factor de reducción energética y el factor de conversión de kilowatts a dióxido de carbono (0.615 kgCO₂/kWh), se obtiene que cada planta del edificio genera una huella de dióxido de carbono de uno punto cincuenta y seis toneladas (1.56ton CO₂).
- **Potencia eléctrica diaria requerida en el edificio:** Debido a que el edificio está compuesto por once (11) plantas iguales, la potencia eléctrica requerida es de veintisiete mil novecientos cincuenta y uno kilowatt-hora (27,951.7 kWh).
- **Toneladas de CO₂ diarias requerido por el edificio:** Utilizando el mismo factor de conversión de kilowatts a dióxido de carbono (0.615 kgCO₂/kWh), se obtiene que el edificio genera una huella de dióxido de carbono diaria de diecisiete punto dos toneladas (17.2 ton CO₂).

Para resumir el proceso descrito anteriormente, se ha elaborado la [Tabla 34](#), donde se muestran los supuestos y los cálculos realizados.

ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL AIRE ACONDICIONADO (HVAC)		
CARACTERÍSTICA	VALOR	UNIDADES
Bloques de HVAC	10	unidades
Metros cuadrados por bloque	365	metros cuadrados
Cantidad de personas por bloque	32	personas
Cálculo de demanda energética de HVAC		
Según área de bloque	80,000	BTU/hora
Según personas	19,200	BTU/hora
Según equipos eléctricos	4,020.0	BTU/hora
Total BTUs demandados	103,220.0	BTU/hora
Potencia requerida por bloque	30.25	kilo-watt
Toneladas de CO2 por bloque	18.60	kilogramos CO2
Potencia requerida por planta	302.5	kilo-watt
Toneladas de CO2 por planta	186.0	kilogramos CO2
Tiempo de uso de HVAC	12	horas
Potencia requerida por día por planta	3,630.1	kilo-watt.hora
Toneladas de CO2 por día por planta	2.23	toneladas CO2
Potencia requerida por día por edificio	39,931.0	kilo-watt.hora
Toneladas de CO2 por día por edificio	24.6	toneladas CO2
Porcentaje de ahorro energético	30	%
Potencia requerida por día por planta	2,541.1	kilo-watt.hora
Toneladas de CO2 por día por planta	1.56	toneladas CO2
Potencia requerida por día por edificio	27,951.7	kilo-watt.hora
Toneladas de CO2 por día por edificio	17.2	toneladas CO2

Tabla 34 – Cálculo energético del sistema de aire acondicionado

4 Sistema de Telefonía IP

Para realizar el cálculo del consumo energético del sistema de telefonía IP del edificio caracterizado en modo normal y en ahorro energético, se identificó al fabricante líder de soluciones de Telefonía IP en base al Cuadrante Mágico de Gartner (Gartner, 2015) más actualizado. Como resultado, se escogió a Cisco como solución de telefonía a ser estudiada en el presente trabajo de tesis.

En la [Figura 33](#) se muestra el cuadrante de Gartner (Gartner, 2015), donde se muestra a Cisco como líder en el segmento de telefonía IP.

Figure 1. Magic Quadrant for Corporate Telephony



Figura 33 – Cuadrante mágico de Gartner de Telefonía IP que justifica la elección de Cisco como fabricante de referencia en el cálculo de consumo energético (Gartner, 2015)

4.1 Cálculo teórico

El cálculo de la energía requerida por los dispositivos de la Telefonía IP, se ha realizado en base a dos tipos de teléfonos: gama media y gama alta.

4.1.1 Teléfonos de Gama Media

Los teléfonos de gama media serán utilizados por la mayoría de trabajadores en el edificio. Se caracterizan por tener funcionalidades básicas como capacidad de hacer llamadas, reconocimiento de llamadas entrantes, re-llamada, configuración dinámica de botones de llamada rápida, conferencia de voz de múltiples participantes, capacidad de ahorro energético, entre otros.

Para cumplir la función de teléfonos de gama media, se han seleccionado los teléfonos IP Cisco de clase 7821, los cuales se muestran en la [Figura 34](#) y se procede a detallar las características técnicas más relevantes.



Figura 34 – Teléfono IP Cisco clase 7821 de clase media seleccionado para realizar los cálculos de consumo energético de la telefonía IP en el edificio (Cisco Systems Inc., 2015)

- **Características técnicas:** A partir de la revisión de la hoja técnica del teléfono IP Cisco clase 7821 (Cisco Systems Inc., 2015), se han encontrado las siguientes características técnicas relevantes
 - Pantalla de visualización:
 - Luz de fondo blanca
 - Visualización en escala de grises
 - Tres pulgadas y media (3.5”) de tamaño de pantalla
 - Resolución de 396x162 pixel
 - Acceso a capacidades y aplicaciones XML
 - Conmutador Ethernet:
 - El teléfono cuenta con conexiones Ethernet 10/100BASE-T a través de dos (02) puertos RJ-45 para interconectarse a la LAN y a una PC de usuario.
 - Cableado de conexión a red IP:

- Categoría 3/5/5e/6 para una velocidad de 10-Mbps y cableado de cuatro (04) pares
- Categoría 5/5e/6 para una velocidad de 100-Mbps y cableado de cuatro (04) pares.
- Energización:
 - Soporte de energía a través de IEEE 802.3af PoE (Clase 1)
 - Soporte de alimentación a través de fuente de poder externa
- Protocolo de señalización:
 - Session Initiation Protocol (SIP)
- Códecs de audio soportados:
 - G.711a/μ
 - G.722
 - G.729a
 - iLBC
- Directorio:
 - Integración con directorio corporativo a través de LDAP (Lightweight Directory Access Protocol).
- Calidad de servicio:
 - Soporte de estándares 802.1Q/p y CDP (Cisco discovery Protocol)
 - Capacidad de ser configurado con cabecera VLAN 801.1Q. El administrador puede designar VLANs distintas para el teléfono y la PC.
- Protocolos de seguridad:
 - AES-128
 - AES-256
 - 802.1X
 - Criptografía
- Autoconfiguración:
 - A través de cliente DHCP.

4.1.2 Teléfonos de Gama Alta

Los teléfonos de gama alta serán utilizados por el personal de alta jerarquía en el edificio como jefes de área, gerentes, CXOs y secretarías. Se caracterizan

por tener la gran totalidad de las capacidades de los teléfonos de gama media y capacidad de comunicarse a través de video llamadas.

Para cumplir la función de teléfonos de gama alta, se han seleccionado los teléfonos IP Cisco de clase 9951, los cuales se muestran en la Figura 35 y se procede a detallar las características técnicas más relevantes.



Figura 35 – Teléfono IP Cisco clase 9951 de gama alta seleccionado para realizar los cálculos de consumo energético de la telefonía IP en el edificio (Cisco Systems Inc., 2015)

- **Características técnicas:** A partir de la revisión de la hoja técnica del teléfono IP Cisco clase 9951 (Cisco Systems Inc., 2015), se han encontrado las siguientes características técnicas relevantes.
 - Pantalla de visualización:
 - Presentación VGA para llamadas de video y aplicaciones
 - Visualización en colores (24-bits)
 - Cinco pulgadas (5") de tamaño de pantalla
 - Como máximo treinta cuadros por segundo (30 cps)
 - Resolución de 640x480 pixel
 - Acceso a capacidades y aplicaciones XML

- Conmutador Ethernet:
 - El teléfono cuenta con conexiones Ethernet 10/100/1000BASE-T a través de dos (02) puertos RJ-45 para interconectarse a la LAN y a una PC de usuario.
- Alimentación energética:
 - Soporte de energía a través de IEEE 802.3af e IEEE 802.3at PoE (Clase 4)
 - Soporte de alimentación a través de fuente de poder externa
- Protocolo de señalización:
 - Session Initiation Protocol (SIP)
- Protocolo de video:
 - H.264/AVC para video
- Códecs de audio soportados:
 - G.711a
 - G.711u
 - G.729a
 - G.729ab
 - G.722
 - iSAC
 - iLBC
- Calidad de servicio:
 - Soporte de estándares 802.1Q/p y CDP (Cisco discovery Protocol)
 - Capacidad de ser configurado con cabecera VLAN 801.1Q. El administrador puede designar VLANs distintas para el teléfono y la PC.
- Configuración:
 - Autoconfiguración a través de cliente DHCP
 - Domain Name System (DNS)
 - Cisco Discovery Protocol (CDP)
- Accesorios:
 - Soporte de auricular manos-libres (hands-free)
 - Soporte de auricular Bluetooth
 - Módulo de expansión de botones de llamada rápida

- Dos (02) puertos USB para conectar accesorios como cámara IP y auriculares alámbricos o inalámbricos.

4.2 Supuestos del cálculo energético

Utilización de teléfonos según tipo: En base a los criterios de diseño de la Práctica de Consultoría de Edificios Inteligentes y Convergentes de Cisco Systems, se ha estimado una utilización de ochenta por ciento (80%) de teléfonos de gama media y un veinte por ciento (20%) de teléfonos de gama alta en el edificio. Adicionalmente, cada usuario del edificio tendrá un teléfono asignado. Por lo tanto, se tendrán tres mil quinientos (3,500) teléfonos en todo el edificio.

Cantidad de teléfonos por planta: Sobre la base de los porcentajes de utilización de teléfonos IP en el edificio y la cantidad total de usuarios en cada planta del edificio, se ha calculado la cantidad requerida de teléfonos en una planta tipo.

- **Teléfonos de gama media:** Cada planta del edificio tendrá trescientos veinte (320) usuarios y que el porcentaje de utilización de los teléfonos de gama media es de ochenta por ciento (80%); por lo tanto, se tendrán doscientos cincuenta y seis (256) unidades de este tipo.
- **Teléfonos de gama alta:** Cada planta del edificio tendrá trescientos veinte (320) usuarios y que el porcentaje de utilización de los teléfonos de gama alta es de veinte por ciento (20%); por lo tanto, se tendrán sesenta y cuatro (64) unidades de este tipo.

4.3 Cálculo de consumo energético

Consumo energético de teléfonos: Sobre la base de las hojas técnicas y mediciones realizadas (Cisco Systems Inc.) a los teléfonos de gama media (Cisco 7821) (Cisco Systems Inc., 2015) y gama alta (Cisco 9951) (Cisco Systems Inc., 2015), se han encontrado los siguientes consumos energéticos según cuatro (04) categorías:

- **Consumo durante llamadas:** Es el consumo energético que demanda el teléfono cuando el usuario se encuentra en una llamada de voz y/o video. El teléfono de gama media requiere tres punto nueve watts (3.9W) y el de gama alta once punto cuatro watts (11.4W).

- **Consumo normal:** Es el consumo energético que demanda el teléfono cuando se encuentra colgado sobre la mesa del usuario y sin ninguna política de ahorro de energía. El teléfono de gama media requiere tres punto ochenta y cuatro watts (3.84W) y el de gama alta seis punto tres watts (6.3W).
- **Consumo en modo ahorro:** Es el consumo energético que demanda el teléfono cuando se encuentra colgado sobre la mesa del usuario y se han aplicado medidas de ahorro energético, como el apagado de pantalla y de leds de iluminación. El teléfono de gama media requiere tres punto cinco watts (3.5W) y el de gama alta cinco punto cinco watts (5.5W).
- **Consumo mínimo:** Es el consumo energético que demanda el teléfono cuando se encuentra prácticamente en estado de hibernación. Es el modo que demanda la menor energía. Ambos teléfonos, de gama media y alta requieren menos de un watt (1W) de potencia; sin embargo, para el presente trabajo de tesis se ha definido un watt (1W) como el consumo mínimo.

En la Tabla 35 se muestra el resumen de las potencias requeridas por cada teléfono de gama media y gama alta.

Característica	Teléfono Gama Media	Teléfono Gama Alta
Consumo promedio (W)		
Modo llamada	3.9	11.4
Modo normal	3.84	6.3
Modo ahorro	3.5	5.5
Modo consumo mínimo	1	1

Tabla 35 – Potencia eléctrica requerida por los teléfonos IP en cuatro escenarios

Tiempo de uso: Sobre la base de las cuatro categorías definidas en la sección anterior (Consumo energético de teléfonos) y en base a los criterios de diseño de la Práctica de Consultoría de Edificios Inteligentes y Convergentes de Cisco Systems, se ha estimado los tiempos de uso de los teléfonos en relación a su categoría.

Tanto para los teléfonos de gama media como para los teléfonos de gama alta, los tiempos son los mismos según su categoría:

- **Tiempo en modo conversación:** El tiempo de conversación estará repartido en el horario de trabajo desde las 08:00 horas del día, hasta las 17:00 horas de la tarde. Se estimó que durante una hora y media (1.5 hrs), se estará conversando por el teléfono.
- **Tiempo en modo normal:** El tiempo de conversación estará repartido en el horario de trabajo desde las 08:00 horas del día, hasta las 17:00 horas de la tarde. Se estimó que durante siete horas y media (7.5 hrs), el teléfono estará funcionando en modo normal, colgado en el escritorio del usuario.
- **Tiempo en modo ahorro:** Se estimó que desde las 17:00 horas de la tarde hasta las 22:00 horas de la noche (5 hrs), el teléfono se encontrará en modo de ahorro de energía.
- **Tiempo en modo fuera de oficina:** Se estimó que desde las 22:00 horas de la noche hasta las 08:00 del día siguiente (10 hrs), el teléfono se encontrará en modo hibernación.

En la Tafbla 36 se muestra el resumen de los tiempos de uso de los teléfonos según los escenarios definidos.

Característica	Tipo de Teléfono	
	Gama Media	Gama Alta
Tiempo de uso promedio (horas)		
Tiempo de conversación	1.5	1.5
Tiempo normal	7.5	7.5
Tiempo de ahorro	5	5
Tiempo fuera de oficina	10	10

Tafbla 36 – Tiempo de uso de teléfonos IP según los cuatro distintos escenarios

Consumo energético diario: Se realizaron dos cálculos de consumo energético de la solución de telefonía IP del edificio que se detallan a continuación:

- **Consumo normal:** Para determinar el consumo normal se ha tomado en cuenta el consumo energético durante llamadas telefónicas y consumo normal. Por otro lado, los tiempos de uso utilizados son el Tiempo de uso normal y Tiempo de conversación. En este caso, el tiempo de uso normal engloba los tiempos de ahorro y fuera de oficina. En la siguiente ecuación (Ecuación 1) se puede apreciar el cálculo que determina el consumo energético normal diario y unitario.

Ecuación 1:

Consumo Normal Diario

$$\begin{aligned} &= \text{Consumo Modo Normal} \times (\text{Tiempo Normal} + \text{Tiempo Modo Ahorro} \\ &+ \text{Tiempo fuera de oficina}) \\ &+ \text{Consumo Modo Llamada} \times \text{Tiempo de Conversación} \end{aligned}$$

En base al resultado de la Ecuación 1, se determina que el consumo normal de los teléfonos de gama media es noventa y dos punto veinticinco watt.hora (92.25Wh) y para el teléfono de gama alta es ciento cincuenta y ocho punto ochenta y cinco watt.hora (158.85Wh).

- **Consumo optimizado:** Para determinar el consumo optimizado de energía, se ha tomado en cuenta cada categoría de ahorro energético como el modo ahorro y modo consumo mínimo. Cada categoría se ha multiplicado por su tiempo relacionado. En la siguiente ecuación (Ecuación 2) se puede apreciar el cálculo que determina el consumo energético optimizado diario y unitario.

Ecuación 2:

Consumo en modo ahorro diario

= Consumo Modo Llamada x Tiempo de Conversación

+ Consumo Modo Normal x Tiempo Normal

+ Consumo Modo Ahorro x Tiempo Modo Ahorro

+ Consumo Modo Consumo Mínimo x Tiempo fuera de oficina

En base al resultado de la Ecuación 2, se determina que el consumo energético optimizado de los teléfonos de gama media es sesenta y dos punto quince watt.hora (62.15Wh) y para el teléfono de gama alta es ciento uno punto ochenta y cinco watt.hora (101.85Wh). Finalmente, en la Tabla 37 se muestran los componentes utilizados para realizar los cálculos de consumo energético.

Características	Teléfono Gama Media	Teléfono Gama Alta
Consumo promedio (W)		
Durante llamadas	3.9	11.4
Modo normal	3.84	6.3
Modo ahorro	3.5	5.5
Consumo mínimo	1	1
Tiempo de uso promedio (horas)		
Tiempo de habla	1.5	1.5
Tiempo normal	7.5	7.5
Tiempo de ahorro	5	5
Tiempo fuera de oficina	10	10
Consumo teléfonos (kWh)		
Consumo (kWh)	92.25	158.85
Consumo en ahorro (kWh)	62.15	101.85

Tabla 37 – Cálculo de consumo energético unitario de teléfonos IP en modo normal y optimizado

Consumo diario del total de teléfonos en una planta: Se han calculado dos clases de consumo energético por día en una planta tipo del edificio: consumo normal y en modo ahorro:

- **Consumo normal:** Sobre la base del cálculo del consumo energético unitario de teléfonos por día y la cantidad de teléfonos por planta, se ha calculado que los teléfonos de gama media requieren veintitrés punto seis kilo-watt-hora (23.6kWh) y los teléfonos de gama alta, diez punto dos kilo-watt-hora (10.2kWh) por planta en modo consumo normal.
Por lo tanto, la planta requiere en total treinta y tres punto setenta y ocho kilo-watt-hora (33.78kWh) por planta.
- **Consumo en modo ahorro:** Sobre la base del cálculo del consumo energético unitario de teléfonos por día y la cantidad de teléfonos por planta, se ha calculado que los teléfonos de gama media requieren quince punto nueve (15.9kWh) y los teléfonos de gama alta, seis punto cinco kilo-watt-hora (6.5kWh) por planta.
Por lo tanto, la planta requiere en total veintidós punto cuarenta y tres kilo-watt-hora (22.43kWh) por planta en modo ahorro.

Consumo energético diario total de teléfonos en el edificio: Finalmente, se tienen dos consumos totales distintos:

- **Consumo normal:** Sobre la base del consumo normal diario de cada planta del edificio y del total de plantas (11), se ha estimado que el edificio requiere trescientos setenta y uno punto sesenta y uno kilo-watt.hora (371.61kWh) de consumo diario dedicados a telefonía IP.
- **Consumo en modo ahorro:** Sobre la base del consumo diario en modo ahorro de cada planta del edificio y del total de plantas (11), se ha estimado que el edificio requiere doscientos cuarenta y seis punto setenta y dos kilo-watt.hora (246.72kWh) de consumo diario dedicados a telefonía IP.

En la Tabla 38 se muestra el resumen del consumo energético generado por la telefonía IP en el edificio propuesto. Se detalla el consumo en modo normal y en modo optimizado.

Finalmente, en la Tabla 39 se muestra el resumen del consumo energético en modo normal y optimizado de las luminarias, HVAC y telefonía IP. Sobre la base de

estos consumos energéticos, se ha determinado el factor de reducción de potencia según la siguiente ecuación (Ecuación 3):

Ecuación 3:

Factor de reducción (%)

$$= \frac{\text{Consumo normal diario (kWh)} - \text{Consumo optimizado (kWh)}}{\text{Consumo normal diario (kWh)}}$$

ANÁLISIS ENERGÉTICO TELEFONÍA IP		
Características	Valor	Unidades
Usuarios de teléfonos gama media	80	%
Usuarios de teléfonos gama alta	20	%
Teléfonos de gama media	256	Unidades
Teléfonos de gama alta	64	Unidades
Consumo energético normal		
Consumo teléfonos gama media	23.6	kilo-watt.hora
Consumo teléfonos gama alta	10.2	kilo-watt.hora
Consumo energético por planta	33.78	kilo-watt.hora
Consumo energético por edificio	371.61	kilo-watt.hora
Consumo energético en ahorro		
Consumo teléfonos gama media	15.9	watt.hora
Consumo teléfonos gama alta	6.5	watt.hora
Consumo energético en ahorro por planta	22.43	kilo-watt.hora
Consumo energético en ahorro por edificio	246.72	kilo-watt.hora

Tabla 38 – Resumen del cálculo de consumo energético de Telefonía IP modo normal y optimizado

Característica	Solución		
	Luminarias	HVAC	Telefonía IP
Consumo normal diario (kWh)	12,199.1	39,931.0	371.61
Consumo optimizado diario (kWh)	8,783.4	27,951.73	246.72
Factor de reducción (%)	28%	30%	34%
Diferencial de consumo (kWh)	3,415.76	11,979.31	124.89

Tabla 39 – Diferencial de consumo energético