

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS
VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**ANÁLISIS DE LAS NUEVAS TENDENCIAS TECNOLÓGICAS
UTILIZADAS EN DISEÑOS ELÉCTRICOS DE ILUMINACIÓN
Y AIRE ACONDICIONADO BASADOS EN AHORRO
ENERGÉTICO DE EDIFICIOS DE OFICINAS.**

**MODALIDAD DE TESIS PARA
OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

ING. OSCAR FRANCISCO QUIRÓS VILLALOBOS

ING. BILLY RETANA PEÑA MAIE

SAN JOSÉ, COSTA RICA

JULIO 2018

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
Planteamiento del problema	15
Objetivo general.....	15
Objetivos específicos	15
Justificación	16
Alcances	19
Limitaciones	19
Antecedentes	20
CAPÍTULO 1: DIAGNÓSTICO	26
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	30
2.1 Normas.....	30
2.1.1 Norma Nacional de Uso de Energía	30
2.1.2 AR-NT-POASEN “Planeación, operación, y acceso al sistema eléctrico nacional”	31
2.1.3 Norma INTECO, INTE 31-08-06-2000	32
2.1.4 El Código Eléctrico Nacional (NEC) o NFPA 70	33
2.1.5 ASHRAE 90.1	33
2.1.6 Protocolo de Kyoto.....	34
2.2 Sistema de iluminación	34
2.2.1 Cálculo de iluminación por método de lúmenes.....	34
2.2.2 Tecnologías	39
2.2.2.1 Tecnología fluorescente.....	40
2.2.2.2 Tecnología LED	41
2.2.3 Tipos de control de iluminación.....	42
2.2.3.1 Sistemas basados en botoneras y sensores	43
2.2.3.1.1 Tipos de sensores	43
2.2.3.1.1.1 Sensor de ocupación o detección de vacantes	44
2.2.3.1.1.2 Sensor Daylight (Luz día).....	44
2.2.3.1.1.3 Control de atenuación personal	45

2.2.3.1.2 Estrategias de control	45
2.2.3.2 Sistemas POE Technology	47
2.3 Sistema de aire acondicionado	49
2.3.1 Cálculo de sistema de aire acondicionado	49
2.3.2 Tecnologías	52
2.3.2.1 Tecnología VRF	52
2.3.2.2 Tecnología agua helada	53
2.4 Tecnología de sistemas fotovoltaicos	56
2.4.1 Cálculo de una instalación fotovoltaica	57
2.5 Aspectos financieros	60
2.5.1 Valor actual neto	60
2.5.2 Tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR)	62
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO	64
3.1 Enfoque de la investigación	64
3.2 Método de la investigación	64
3.3 Fuentes de Información	65
3.4 Instrumentos	65
3.5 Proceso para la recolección y análisis de datos	65
CAPÍTULO 4: DESARROLLO	67
4.1 Sistema de iluminación	70
4.1.1 Cálculo de luminarias	70
4.1.2 Catálogo de selección de luminarias	73
4.1.3 Control de iluminación	76
4.1.4 Catálogo de selección de equipos de control de iluminación	80
4.1.5 Cálculo de factor de utilización	81
4.1.6 Presupuesto de la propuesta con luminarias con tecnología LED	91
4.1.7 Presupuesto de la propuesta con control de iluminación	92
4.1.8 Cálculo de retorno de inversión	94
4.2 Sistema inteligente de control de receptáculos	97
4.3 Sistema de aire acondicionado	99
4.3.1 Cálculo de carga térmica	100

4.3.2 Catálogo de selección de equipos sistema VRF	105
4.3.3 Catálogo de selección de equipos de agua helada	106
4.3.4 Control de aire acondicionado	108
4.3.5 Cálculo de factor de utilización	108
4.3.6 Presupuesto de la propuesta con sistema VRF	114
4.3.7 Presupuesto de la propuesta con agua helada.....	115
4.3.8 Cálculo de retorno de inversión	116
4.4 Generación fotovoltaica	118
4.4.1 Propuesta de paneles solares para la alimentación del sistema de iluminación.....	119
4.4.1.1 Presupuesto de la propuesta con paneles solares.....	123
4.4.1.2 Cálculo de retorno de inversión	124
4.4.2 Propuesta fotovoltaica utilizando 100% de área disponible en metros cuadrados.....	127
4.4.2.1 Presupuesto de propuesta fotovoltaica utilizando 100% de área disponible en metros cuadrados.....	135
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS	136
5.1 Propuesta iluminación LED y control de iluminación	137
5.2 Propuesta de sistema inteligente de receptáculos.....	143
5.3 Propuesta de sistema agua helada.....	144
5.4 Propuesta de sistema fotovoltaico	149
CONCLUSIONES.....	154
RECOMENDACIONES	160
BIBLIOGRAFIA	162
APENDICE 1. Tabla 4	164
APENDICE 2. Tabla 6 y 7	165
APENDICE 3. Tablas 12, 13, 14, 15	166
APENDICE 4. Tablas 16 y 17	167
APENDICE 5. Tablas 22 y 23	170
APENDICE 6. Tabla 28.....	171
APENDICE 7. Tabla 31	172
APENDICE 8. Tabla de horarios según ocupación Norma ASHRAE 90.1	174

APENDICE 9. Memoria de Cálculo de luminarias	175
APENDICE 10. Precio de luminarias Eaton	176
APENDICE 11. Diagramas del sistema de control de Lutron propuesto	177
APENDICE 12. Planos de diseño de Iluminación	178
APENDICE 13. Especificación de Módulo de medición Schneider PM5560.....	182
APENDICE 14. Planos de diseño de tomacorrientes	183
APENDICE 15. Cotización de equipos de sistema VRF	187
APENDICE 16. Tabla G-H de estacionamientos según Norma ASHRAE 90.1.....	188
APENDICE 17. Proforma paneles solares	189
APENDICE 18. Memoria de Cálculo de carga térmica.....	190
APENDICE 19. Simulación ElumTools.....	195

TABLAS

Tabla 1 Factores de reflexión.....	36
Tabla 2 Factores de mantenimiento	38
Tabla 3 Número de luminarias por recinto	72
Tabla 4 Catálogo de selección de luminarias LED	73
Tabla 5 Catálogo de selección de equipos de control de iluminación	80
Tabla 6 Resumen de carga Voltiamperios (Iluminación LED)	87
Tabla 7 Resumen de carga Voltiamperios ((Iluminación Convencional)	87
Tabla 8 Mapeo de Consumo, medición diaria tablero “L1”	88
Tabla 9 Tarifa eléctrica vigente	90
Tabla 10 Presupuesto de luminarias con tecnología LED.....	91
Tabla 11 Presupuesto de sistema de control	92
Tabla 12 Presupuesto final de iluminación.....	95
Tabla 13 Ahorro anual.....	95
Tabla 14 Retorno de inversión de la propuesta de iluminación LED y control de iluminación	96
Tabla 15 Factores de demanda para receptáculos (Tabla 220.44).....	98
Tabla 16 Resumen de carga Voltiamperios (Tablero con control de cargas).....	98
Tabla 17 Carga térmica por recinto	104
Tabla 18 Catálogo de selección de equipos VRF	105
Tabla 19 Catálogo de selección de equipos de sistema de agua helada.....	106
Tabla 20 Resumen de carga en Voltamperios (Sistema de Agua Helada)	110
Tabla 21 Resumen de carga en Voltiamperios (Sistema VRF)	111
Tabla 22 Mapeo de Consumo, medición diaria tablero “AC1”	112
Tabla 23 Presupuesto de la propuesta con sistema VRF	114
Tabla 24 Presupuesto de sistema con agua helada	115
Tabla 25 Ahorro anual con sistema de agua helada	116
Tabla 26 Retorno de inversión de la propuesta de sistema agua helada.....	117
Tabla 27 Radiación Solar, Barrio Aranjuez	119
Tabla 28 Potencia generada por sistema fotovoltaico de 101 paneles	121
Tabla 29 Presupuesto de propuesta paneles solares	124

Tabla 30 Presupuesto de sistema fotovoltaico	125
Tabla 31 Ahorro anual con sistema fotovoltaico.....	125
Tabla 32 Retorno de inversión de la propuesta de sistema fotovoltaico	126
Tabla 33 Potencia generada por sistema fotovoltaico de 628 paneles	128
Tabla 34 Consumo diario en KW/h para el tablero TP	133
Tabla 35 Presupuesto de sistema fotovoltaico con 628 paneles.....	135

FIGURAS

Figura 1 Planta arquitectónica niveles 1,2,3.....	26
Figura 2 Planta arquitectónica nivel 4	27
Figura 3 Planta arquitectónica niveles Sótano 1 y Sótano 2	27
Figura 4 Alturas requeridas	35
Figura 5 Cálculo de índice de local	36
Figura 6 Valores mínimos de servicio de iluminación (lux).....	37
Figura 7 Elementos que conforma lámpara fluorescente	40
Figura 8 Tipos de luminarias led.	42
Figura 9 Modelo YCM2 Chiller Centrifugo enfriado por agua.....	54
Figura 10 Modelo YK Chiller Centrifugo enfriado por agua	55
Figura 11 Radiación solar global en Costa Rica	57
Figura 12 Zonas de Control de iluminación.....	78
Figura 13 Control de iluminación.....	79
Figura 14 Paneles de mediciones	82
Figura 15 Diagrama unifilar eléctrico.....	82
Figura 16 Mapeo de Consumo, medición cada 15 minutos tablero “L1”	83
Figura 17 Calculo de factor de demanda para iluminación	86
Figura 18 Sectorización para carga térmica.....	101
Figura 19 Mapeo de Consumo, medición cada 15 minutos tablero “AC1”	109
Figura 20 Instalación de paneles fotovoltaicos en azotea	127
Figura 21 Mapeo de Consumo, medición cada 15 minutos tablero “TP”	130
Figura 22 Diagrama unifilar	132
Figura A- 1 Tabla 4 de factor solar	164

Figura A- 2 Tabla 6 y 7 de coeficiente de sombra	165
Figura A- 3 Tablas 12, 13, 14, 15.....	166
Figura A- 4 Tablas 16 y 17	169
Figura A- 5 Tablas 22 y 23	170
Figura A- 6 Tabla 28.....	171
Figura A- 7 Tabla 31.....	173
Figura A- 8 Tabla de Horarios según numeración Norma ASHRAE 90.1	174
Figura A- 9 Memoria de Cálculo para los diferentes recintos.....	175
Figura A- 10 Precio de luminarias Eaton.....	176
Figura A- 11 Diagrama de control de iluminación	177
Figura A- 12 Diseño de Iluminación	181
Figura A- 13 Módulo de medición Schneider PM5560	182
Figura A- 14 Diseño de Tomacorrientes.....	186
Figura A- 15 Cotización de equipos de sistema VRF	187
Figura A- 16 Tabla G-H de estacionamientos según Norma ASHRAE 90.1	188
Figura A- 17 Proforma de paneles solares.....	189
Figura A- 18 Memoria de Cálculo para los diferentes recintos.....	194
Figura A- 19 Simulación en software de iluminación de oficina	196

Dedicatoria y agradecimiento

Primero agradecer a Dios, a la Virgen de los Ángeles y al Divino Niño, los cuales me guían siempre y me ayudan a cumplir mis metas y sueños brindándome fuerzas, sabiduría y la constancia para seguir adelante.

A mis padres los cuales siempre me han apoyado incondicionalmente en todo proyecto que me he propuesto, estando ahí en los momentos más difíciles para seguir dándome la fuerza para seguir adelante y alcanzar mis sueños.

A mis hermanos y mi abuela, que estuvieron en los momentos más complicados en esta etapa.

A Farah Calvo, la cual ha sido más que mi pareja; ha sido mi apoyo y motivación para poder alcanzar esta meta, brindándome su comprensión en todo momento y su ayuda incondicional.

A los ingenieros Adolfo Miranda, Omar López, Eduardo Lizano y Federico Salazar, los cuales me apoyaron y me brindaron su ayuda en muchos temas al inicio de este proyecto.

Al máster Billy Retana Peña, quien fue guía de este este proyecto, y me tendió su mano durante este proceso, dedicando parte de su tiempo para poder culminar exitosamente.

Resumen

El proyecto desarrollado consiste en el análisis de las nuevas tendencias tecnológicas que se encuentran disponibles en el país sobre las disciplinas de aire acondicionado e iluminación; así como el desarrollo de diseños óptimos que permitan disminuir el consumo eléctrico de edificaciones típicas de oficinas. En la fase de diseño se realizó una comparación entre un modelo convencional y un modelo basado en los parámetros de ahorro energético; el modelo convencional contaba con tecnología fluorescente e incandescente y sistema on/off, para el tema de iluminación, y con un sistema VRF para el tema de aire acondicionado; mientras tanto, el modelo propuesto abarcaba una mejora en el tema de iluminación, implementando un sistema de iluminación con tecnología led y un control de iluminación por medio de sensores y el software Quantum de Lutron, así como la implementación de un sistema de agua helada para el aire acondicionado, con un sistema de control inteligente.

Para la realización de este análisis se definieron los factores de utilización de cada uno de los sistemas por medio de una comparación entre mediciones realizadas en campo contra los datos calculados por medio del Código Eléctrico Nacional y la ASHRAE 90.1. De esta manera, se definió la carga real por metro cuadrado que se tiene en este tipo de edificación. Asimismo, se realizó un presupuesto para cada uno de estos sistemas, el cual permitió definir cuál de los sistemas era el más rentable para la implementación, esto por medio del cálculo del retorno de inversión, el cual se obtuvo con el ahorro calculado por medio de estos factores de utilización y las mediciones reales que se realizaron en edificios de oficinas que tuvieran implementado cada una de las tecnologías mencionadas.

INTRODUCCIÓN

Costa Rica presenta un importante desafío a nivel de eficiencia energética, que a su vez se transforma en una necesidad nacional, tal como lo representan los problemas económicos causados por el alto costo en la facturación de servicios eléctricos en los edificios y oficentros de las diferentes zonas a lo largo y ancho del territorio costarricense; indistintamente de la empresa que supla el servicio eléctrico e independiente del costo de facturación, se tiene una característica de suma importancia a considerar y esta es la tecnología utilizada en cada una de estas infraestructuras.

La presente investigación se desarrollará para la ejecución de un proyecto desde la etapa de su diseño y construcción hasta la aplicación en edificios ya existentes. En el caso del proyecto a desarrollar, será un oficentro en etapa de diseño, el cual estará situado dentro del Gran Área Metropolitana de Costa Rica, el mismo será utilizado para oficinas de diferentes empresas y contará con cuatro niveles de oficinas y dos niveles de estacionamientos; de estos los niveles primero, segundo y tercero poseen una distribución típica y se encontrarán alquilados a diversos dueños, cabe destacar el hecho de que al ser niveles típicos se podrá realizar el estudio de uno de los pisos desarrollando un análisis de las diferentes tecnologías implementadas en los diseños electromecánicos basados en ahorro de energía. Por otro lado, el cuarto nivel posee una distribución distinta y, por último, se cuenta con dos niveles de sótanos para parqueos.

Para la realización de este proyecto se tomó como parámetro diferentes oficinas típicas que se encuentran en la base de datos de la empresa Circuito S.A. México, las cuales permitan realizar la comparación de las diferentes tecnologías.

Es importante tratar de disminuir la huella de contaminación que una edificación de este tipo deja en el país, por lo que se busca llevar al edificio a un punto de ahorro y

eficiencia energética óptimo, esto por medio de generación de energía de fuentes renovables que permitan auto abastecer ciertas cargas del edificio, por medio de sistemas de control de iluminación y de aire acondicionado para bajar el alto consumo que conlleva el mal uso de estos equipos.

Planteamiento del problema

Analizar las nuevas tendencias tecnológicas utilizadas en diseños eléctricos de iluminación y aire acondicionado basados en ahorro energético de edificios de oficinas, por medio de la comparación entre un sistema diseñado en base al ahorro energético contra un sistema convencional.

Objetivo general

Analizar las nuevas tendencias tecnológicas utilizadas en diseños eléctricos de iluminación y aire acondicionado basados en ahorro energético de edificios de oficinas, por medio de la comparación entre un sistema diseñado en base al ahorro energético contra un sistema convencional.

Objetivos específicos

- Definir un modelo base de edificación típica de oficinas según la norma ASHRAE 90.1, con los requisitos mínimos que debe cumplir una edificación de este tipo para su funcionamiento.
- Definir por medio del Código Eléctrico Nacional y la metodología de mediciones en campo un promedio de las horas de funcionamiento de la edificación, el cual permita realizar el cálculo de la energía consumida mensualmente.
- Analizar la tendencia mundial en sistemas de iluminación, incluyendo la escogencia de luminarias y sistemas de control, por medio de cálculo teórico y la

realización de la simulación en el software ElumTools de Autodesk, para permitir un adecuado uso de la energía y una mayor eficiencia de la edificación.

- Analizar la tendencia mundial en sistemas de aire acondicionado, desde la escogencia de equipos por medio de cálculo y de simulación en el software HAP de Carrier.
- Investigar los parámetros de las normas nacionales que rigen el uso de energía y sistemas de auto generación, sus usos y cumplimiento de estas.
- Definir cuál es la capacidad de generación fotovoltaica del edificio y determinar cuáles sistemas electromecánicos se podrían alimentar de esta, para subvencionar una parte del consumo eléctrico.
- Realizar un análisis desde el punto de vista energético y financiero del proyecto para definir tiempos de recuperación de inversión.
- Realizar un análisis comparativo entre edificaciones típicas de oficinas donde se tiene implementado un modelo convencional y un modelo con las nuevas tecnologías basadas en eficiencia energética.

Justificación

Como parte de esta investigación se estudiarán las causas del alto costo financiero que tienen las edificaciones utilizadas para oficinas, esto debido al alto consumo eléctrico que poseen. Por lo cual, se busca analizar las nuevas tendencias mundiales en diseño, las cuales permitan definir una serie de estrategias de eficiencia energética que faciliten tener un control completo de todos los sistemas del edificio, desde sistemas de iluminación que podrían ser sustituidos, por ejemplo, por tecnologías LED de bajo voltaje; así como un control para las cargas conectadas a tomacorrientes por medio de sensores

ubicados en zonas específicas del edificio, el cual permita la desconexión de los circuitos que no están siendo utilizados; por otro lado, implementar sistemas de control de aire acondicionado y sistemas de extracción de aire, que se tienen dentro de este tipo de edificación logrando la eficiencia en el inmueble. Asimismo, se pretende desarrollar como parte de las estrategias la generación por medio de sistemas fotovoltaicos con tecnología de microinversores que puedan generar y autoabastecer una parte de la carga total instalada en el edificio.

Seguidamente se realizará una comparación de consumo eléctrico, tomando como base el modelo desarrollado teóricamente, en el cual se implementarán todas estas nuevas tecnologías anteriormente mencionadas, asimismo, deberá respetar los valores mínimos que brindan las normas y estándares internacionales en los cuales se basan los diseños de este tipo de edificación; este modelo será comparado contra el diseño actual de la edificación que se tomará como parámetro para la investigación, cabe recordar que se realizará la investigación para edificaciones típicas las cuales vayan a ser construidas, así como edificaciones ya construidas que deseen realizar mejoras de eficiencia energética.

Un factor esencial en este tipo de trabajo de investigación es el tema de horas de consumo de la edificación el cual se va a ver reflejado en la facturación mensual. Este cálculo de horas de consumo en una edificación que se está diseñando se estima tomando en cuenta varios factores indispensables, entre los cuales se encuentran los horarios de trabajo, es decir, en una estructura a construir el primer paso que se debe seguir es la coordinación de una reunión con el dueño de la edificación, en la cual se definirán los horarios de trabajo, una vez definido esto se toma como base los parámetros

establecidos en la norma ASHRAE 90.1 para realizar estas estimaciones; por otra parte si se tiene una edificación ya construida a la cual se pretende implementar estas nuevas tecnologías, se respetará el mismo concepto pero en este caso se podrán realizar mediciones en campo a la edificación, esto mediante equipos que analizan consumo y calidad de la energía como por ejemplo el equipo Fluke 430 Series II ; las cual permitan retroalimentar el diseño con el cual fue construida el mismo, esto permitiendo tener datos reales que en conjunto con lo establecido en las normas dará una estimación de las horas de consumo.

En el presente caso, se cuenta con mediciones reales de un edificio de oficinas típicas ubicado en México, estos datos son una referencia para el desarrollo del documento, los cuales forman parte de archivos confidenciales de la oficina de Circuito S.A. México facilitados para el desarrollo de este proyecto. Para la realización del diagnóstico se tomó como referencia la Torre Virreyes en México, esto debido a que el desarrollador desea construir una edificación con la misma distribución arquitectónica en Costa Rica, por lo cual se deberá tropicalizar cada una de las tecnologías a las necesidades del país. De igual manera, se tomó como referencia la información brindada por expertos en la materia de diseño y desarrollo de sistemas eficientes de la empresa mencionada para los respectivos temas.

De la misma forma, se desarrollará una comparación desde el punto de vista financiero y técnico el cual permitirá definir la factibilidad de la implementación de las tecnologías propuestas de eficiencia energética aplicadas en edificaciones típicas de oficinas.

Alcances

Se entregará un CD que contenga el resultado de la comparación realizada a las diferentes tecnologías utilizadas en diseño eléctrico, las cuales debería seguir el dueño o constructor del edificio, si desea bajar su facturación eléctrica en edificaciones existentes o nuevas. Este documento tendrá la propuesta del diseño basado en ahorro energético y catálogos de las diferentes tecnologías aplicadas.

Limitaciones

Una de las limitantes de este proyecto podría ser el acceso al software de aire acondicionado, tal como el HAP, así como el acceso a la base de datos de mediciones mensuales del edificio, ya que solamente se obtuvieron las mediciones del mes de enero del presente año.

Otra de las limitaciones es el tema de presupuesto, ya que, al ser para uso de tesis universitaria, algunas empresas no brindan un presupuesto o cotización con costos reales.

Antecedentes

Título: Ahorro energético fundamentado en sistemas de automatización.

Autor: Maynor Garita Chavarría.

Institución: Universidad Internacional de las Américas

Año: 2013

Este trabajo consiste en definir cuál es el método de ahorro de energía eléctrica más adecuado para un edificio de enseñanza, el cual toma como institución modelo las instalaciones de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional.

Primeramente, el autor realizó un levantamiento de sistemas tales como, aires acondicionados, sistemas de computación y sistemas de iluminación; de la misma manera recopiló información de los consumos de energía eléctrica la cual es información vital en estos procedimientos. Se hace referencia a las normas y estándares que se deben tomar en cuenta a la hora de realizar una mejora de iluminación. También se habla de los equipos de aire acondicionado y de los principales valores que se pueden modificar para lograr un control de las variables y tener equipos de mayor eficiencia y menos consumo energético; valores como temperaturas de evaporación y condensación, se hace énfasis a los mantenimientos que deberían recibir constantemente los equipos para aumentar su eficiencia, así como aumento de las temperaturas de set-point, y lo más importante que menciona el autor es el mejoramiento de los sistemas de automatización y operación de los equipos.

En el análisis el autor hacía referencia a los sistemas de control que se escogieron para la implementación del sistema iluminación, como sensores de diferente tecnología, en los pasillos se usaron sensores con fotocelda incorporada lo cual permita la utilización

de la iluminación natural por encima de la artificial; en estos recintos donde se requiere bajar el consumo se implementarían balastros EcoSystem de Lutron, los cuales permiten atenuar hasta en un 80% la luz emitida por cada luminaria. Luego para obtener un ahorro energético en equipos de aire acondicionado de la Facultad el autor recomendaba la utilización de sensores infrarrojo pasivo los cuales por medio de un relé interrumpen el circuito de control de la unidad de refrigeración.

Se encontró que en muchos sectores no cumple con las especificaciones emitidas en la norma INTECO 31-08-06-2000, otro de los problemas que se encontraron es la mezcla en el grado de temperatura de los tubos fluorescentes los cuales hace que se vea una considerable variación de colores en los aposentos, se tiene que de 16 aulas por lo menos 6 no cumplen con la norma. Por lo tanto, el autor recomendaba capacitar al personal de mantenimiento por medio de cursos y charlas, para que hagan los cambios respectivos, puedan cumplir con la norma y a su vez no se ocasionen inversiones cuantiosas y gastos innecesarios por no corregir estos problemas.

En cuanto a la inversión y su recuperación se estableció un tiempo de 5 años y una tasa de costo del capital de 10%, la propuesta final se realiza en tres etapas ya que si se realiza la implementación completa del plan original da como resultado que no es rentable; por lo cual el autor propone tres etapas, donde la primera se implementará a aulas pasillos y servicios sanitarios la cual generaría una tasa interna de retorno que esta 3% por encima de la del costo de capital, una segunda etapa la cual se basa en aires acondicionados el cual generaría una tasa de retorno del 54%, y un tercer escenario positivo denominado aulas y aires acondicionados que generaría una tasa de retorno del 26% cabe aclarar que en estas propuesta se deja únicamente sistemas de sensado, ya

que aquellos donde se emplean sistemas de atenuación, generan una rentabilidad negativa.

Este proyecto permitiría un constante ahorro si se implementara mínimo una de estas tres etapas que recomendaba el autor, en el documento entregado, el cual era el objetivo y este proyecto el cual era definir cuál es el método de ahorro de energía eléctrica más adecuado para un edificio utilizado en la enseñanza.

En esta tesis se ven temas muy importantes que sirven como guía para diseños basados en ahorro energético, por lo cual me despertó el interés en el tema.

Título: Comparación entre el diseño existente eléctrico y HVAC para el cumplimiento del capítulo de energía y atmosfera de la certificación LEED CI v.2009 del proyecto Schneider Electric Centroamérica, contra un diseño convencional eléctrico y de HVAC.

Autor: Gloriana Jiménez León.

Institución: Universidad Internacional de las Américas

Año: 2016

En este documento la autora hace referencia a certificaciones LEED, a sus generalidades y aspectos, que se deben tomar en cuenta a la hora de realizar el diseño con el cual se desee lograr esta certificación, de igual manera se detalla el tipo de certificaciones que existen y cuál es el ente encargado de dar las acreditaciones las cuales se dan por medio de puntos, el cual se aclara con diferentes cuadros a lo largo del documento, definiendo cuantos puntos y porque acciones los podría recibir, deja en claro, que de igual manera, luego de que la edificación esté terminada se deberá velar

por el cumplimiento de requisitos; para eso existen sistemas comparativos en los cuales el usuario ingresa los datos de consumos y el sistema evalúa el desempeño del edificio.

En el desarrollo el autor calcula las cargas de iluminación en base a los estándares mínimos de la IESNA (Illuminating Engineering Society of North America), así como también la distribución de luminarias en los recintos, a su vez para el cálculo de las cargas finales del edificio se basó en los artículos del NEC.

Se realizó el cálculo de cargas térmicas por medio de un software en el cual se deben especificar de forma clara los parámetros del edificio a estudiar y las diferentes zonas a estudiar con este dato se escogen los equipos de aire acondicionado para cada recinto dentro del edificio, así como todos los equipos externos.

Luego de tener los consumos de todas las cargas eléctricas del edificio se procede con el análisis de los procedimientos que lo llevan a la certificación LEED, así como los prerrequisitos y requisitos; el cual este edificio logro 81 puntos por lo que según las tablas de certificaciones sería un edificio con certificación LEED Platino.

Luego de la comparación de los dos sistemas se llegó a que un edificio con certificación LEED tiene como resultado que el capital inicial es un 22% más caro que el diseño tradicional, el autor deja claro que estos porcentajes podrían cambiar según el sistema de aire acondicionado que se escoja.

Una de las observaciones que realiza es que estos edificios con certificación no solo mejoran eficiencia energética, sino que también mejora la calidad del ambiente interior para sus ocupantes haciendo el trabajo más productivo.

Hablando en términos económicos se demostró que un sistema LEED ahorra hasta un 38% de la facturación eléctrica, luego de realizado el análisis entre el ahorro de

facturación anual contra el capital de inversión inicial del proyecto LEED se estimó que la recuperación sería de aproximadamente 7-8 años.

Esta tesis puede servir de guía para realizar diseños basados en el ahorro energético de ahí el interés en este documento.

Título: Ahorro energético basado en el diseño e iluminación interior de un edificio comercial.

Autor: Brianci Quesada Elizondo.

Institución: Universidad Internacional de las Américas

Año: 2012

Este documento se basa en el mejoramiento del diseño de iluminación interior de un edificio comercial, ubicado en Pérez Zeledón, por lo cual es una buena referencia ya que se tratan diferentes tecnologías de iluminación, así como estándares y normas que deben cumplir en este caso la norma INTECO INTE, el NEC y la NFPA-70.

En el desarrollo el autor realiza el cálculo de luminarias necesarias por recinto, así como el cálculo de luxes requeridos por las normas, en este cálculo se deberá tener claro la luminaria y la lámpara que se desee utilizar ya que para estos cálculos es necesario la cantidad de lúmenes que proporciona, luego de los cálculos hace la aclaración de que el método de los lúmenes sobredimensiona el diseño ya que se calcula para todo el área y su iluminación debe ser equitativa en ella, mientras que en el método punto a punto se podrá calcular de manera más precisa y en el lugar donde se requiere.

Seguidamente se realizó el cálculo de potencia de los circuitos el cual se debe de calcular de acuerdo con lo establecido en el NEC, y el cálculo se deberá realizar de

manera que sirva para los tres sistemas, ya que no se sabe a realmente cual sistema deseaba el cliente.

Luego se realizó un análisis financiero el cual podría determinar la factibilidad del cambio de una tecnología a otra, donde se tomaron valores de consumo de luminarias, parámetros como los kilowatts/hora que permiten realizar la comparación, en este punto el autor menciona, que el sistema LED nuevo, que se buscaba implementar no es lo suficientemente rentable y que no se consideraría como una inversión sino como un gasto por lo cual no se implementó esta tecnología.

Este trabajo permitió tener otro punto de vista en donde se muestra que no todo lo nuevo es rentable, el cual hace que se preste mucha atención a la hora de diseñar, de igual manera entender las diferencias entre las tecnologías de expuestas en esta tesis.

CAPÍTULO 1: DIAGNÓSTICO

Las instalaciones cuentan con aproximadamente de 2100m² a 3000m² por piso, esto sin tomar en cuenta las áreas comunes, espacios en los cuales se encuentran los elevadores, servicios sanitarios y accesos en general. Cada uno de los pisos de oficinas se distribuyen en estaciones de trabajo, comedor y salas de juntas como se observa en la figura 1, en la cual se muestra la planta arquitectónica de los pisos 1, 2, y 3 que tienen la misma distribución arquitectónica, así como se muestra la planta del nivel 4 en la figura 2, la cual tiene un diseño diferente y es la más pequeña de los cuatro niveles, y por último, se muestran los sótanos del proyecto en la figura 3.

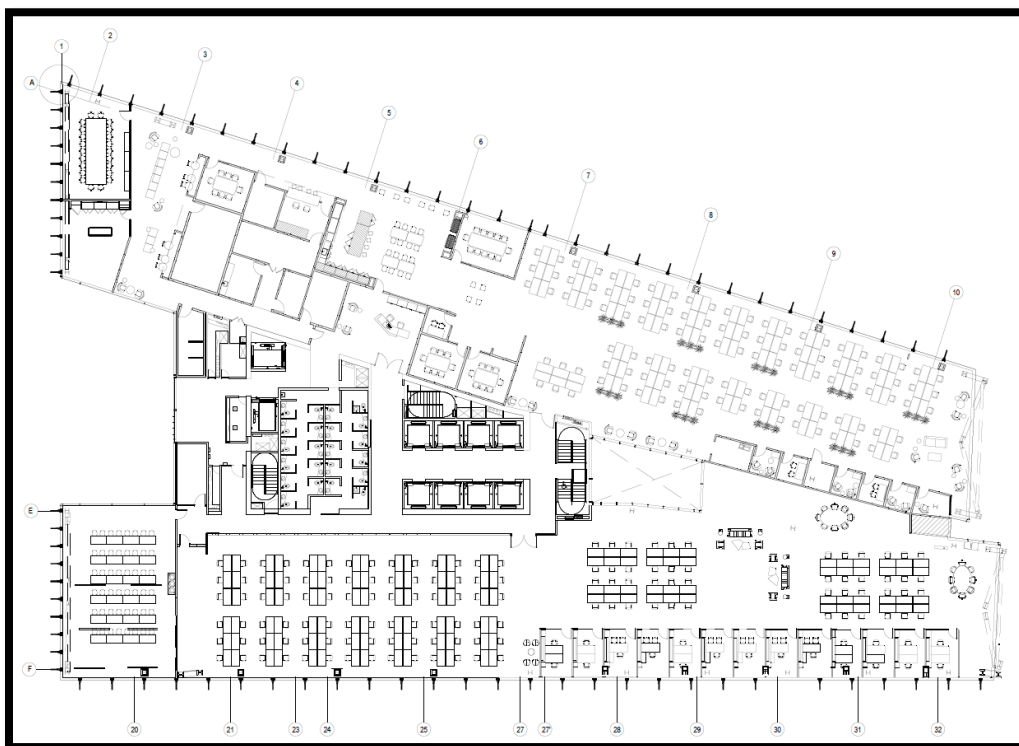


Figura 1 Planta arquitectónica niveles 1,2,3

Fuente: Planta arquitectónicas Circuito S.A. México

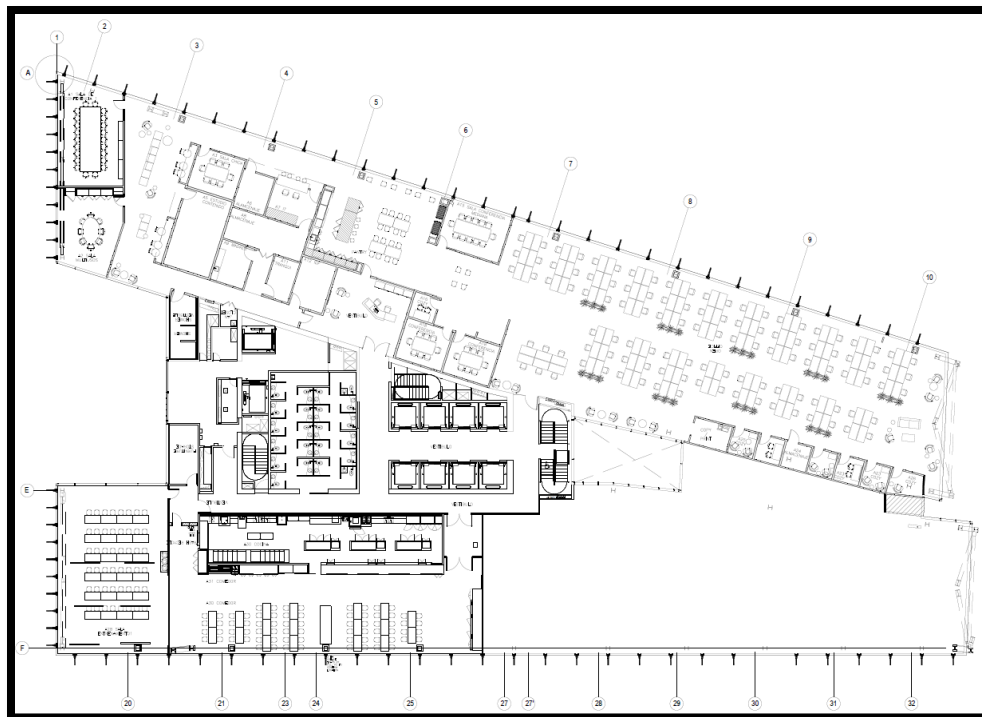


Figura 2 Planta arquitectónica nivel 4

Fuente: Planta arquitectónicas Circuito S.A. México

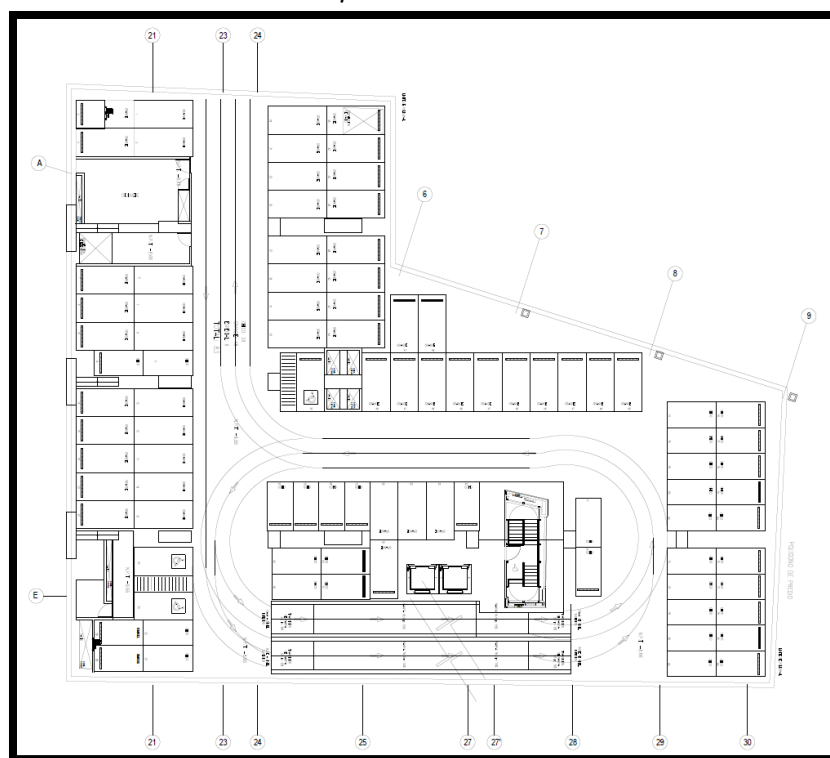


Figura 3 Planta arquitectónica niveles Sótano 1 y Sótano 2

Fuente: Planta arquitectónicas Circuito S.A. México

Al momento de realizar el levantamiento de la edificación, la cual se utilizó como base para el desarrollo de la investigación, se observó el tipo de tecnología con el que cuenta el edificio actual en México, y se tomaron parámetros que vendrían a enriquecer el diseño al cual se le desea implementar las mejoras que permitan bajar el consumo eléctrico y por ende bajar el monto de la facturación, en comparación con el sistema convencional instalado en este país. A continuación, se detallarán las tecnologías actuales.

En materia de iluminación se cuenta con tecnología fluorescente, la cual es controlada por apagadores sencillos que permiten solamente la acción de encender o apagar (on/off) de manera manual, los cuales controlan las diferentes zonas, pero no permiten un control de iluminación más eficiente, ya que este sistema no cuenta con sensores de presencia o movimiento, lo cual produce que en sectores donde no se encuentra ninguna persona las luminarias puedan continuar encendidas por largos periodos.

De igual manera, se presenta un problema a nivel de cargas eléctricas de dispositivos que quedan conectados permanentemente, tales como laptops, impresoras, cargadores de celular de los empleados, microondas en los comedores, entre otros equipos electrónicos, que al estar conectados de forma continua quedan consumiendo energía sin ser utilizados.

Por otro lado, el aire acondicionado con el que se cuenta en el edificio, es una tecnología de Volumen de Refrigerante Variable (VRF), la cual, aunque es una tecnología que viene en crecimiento y cuenta con una buena eficiencia, en esta edificación el sistema no cuenta con controles que permitan conseguir un mayor provecho a esta

tecnología, ya que cuenta con termostatos básicos que no traen incluido sensores de presencia, además el sistema tampoco cuenta con sensores de temperatura remotos, los cuales permitirían equilibrar las temperaturas de mejor manera.

En cuanto a las áreas comunes, se tienen zonas donde se podrían mejorar algunos sistemas, entre los cuales se encuentran la iluminación, la cual no cuenta con ningún otro tipo de control más que apagadores on/off; asimismo, en áreas de servicios sanitarios se tiene un sistema de extracción de aire, el cual es controlado mediante los apagadores que encienden la iluminación, lo cual hace que muchas veces queden encendidos por horas aunque los sanitarios no sean utilizados y por ende, se tiene un mayor consumo eléctrico en este rubro.

A nivel de parqueos, los cuales son los dos niveles de sótanos, no cuentan con sistemas de control de iluminación, y los sistemas de inyección y extracción pasan trabajando continuamente debido a la falta de algún sistema de control inteligente que permita automatizar estos sistemas para un ahorro energético y la reducción de costos.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

Cuando se tienen proyectos con altos consumos energéticos a los cuales se les deciden implementar sistemas o estrategias de ahorro energético, es común encontrar muchos errores de concepto los cuales pueden hacer que los clientes pierdan dinero y tiempo, es importante como primer paso conocer las normas, reglamentos y leyes con las que debe cumplir el diseño o la mejora propuesta.

2.1 Normas

2.1.1 Norma Nacional de Uso de Energía

En este documento se busca la participación del Estado, en establecer mecanismos para alcanzar el uso eficiente de la energía, la cual se basa en tres postulados:

- La obligación de ejecutar proyectos de uso racional de la energía en empresas de alto consumo.
- Control sobre los equipos y las instalaciones que, por su uso generalizado, incidan en la demanda energética.
- Establecimiento de un sistema de plaqueo que informe a los usuarios de su consumo energético.

Se nombran, en este documento, las instituciones del Estado que se encuentran autorizadas para ejecutar programas de uso racional, esto según el MIRENEM (1994), como lo son las compañías que brindan los servicios eléctricos. En esta normativa se establecen los consumos eléctricos y de productos derivados del petróleo para empresas privadas; de la misma manera, se expresa cómo y cuáles son los pasos y requisitos que se deberán seguir para la ejecución de estos programas, los cuales deberán detallar

antes de su ejecución las medidas a implementar y el monto en colones de la energía anual que se reducirá al aplicar este programa.

En estos estudios se deberán tomar en cuenta las recomendaciones dadas por el MIRENEM, y se deberán reflejar los estudios técnicos, plazos de ejecución, medidas de alto costo o inversión, contratos, beneficiarios y uno de los temas más importantes que muchas veces se deja de lado, las sanciones que se darán en caso de incumplimiento.

Asimismo, establece que todo equipo, maquinaria o vehículos que se deseen importar, deberán aportar una declaración jurada con las características de eficiencia energética de estos bienes y deberá contar con una placa que tenga estas características especificadas. (Ley de Regulación del Uso Racional de la Energía, 2012)

2.1.2 AR-NT-POASEN “Planeación, operación, y acceso al sistema eléctrico nacional”

Esta norma tiene como propósito definir y describir el marco regulatorio que regirá en las actividades de generación, transmisión y distribución; así como velar por el desarrollo, operación técnica y acceso al sistema eléctrico nacional, tomando parámetros como calidad, continuidad, confiabilidad y oportunidad del circuito eléctrico.

En esta norma se extraen los artículos más importantes que se deberían tomar en cuenta para la generación eléctrica por medio de fuentes renovables y para la disminución del consumo eléctrico del edificio, esta norma permite al edificio generar y subir esa energía a las redes, de manera que en las noches o días de baja generación se pueda aprovechar lo generado en los días de alta producción. Se han establecido lineamientos como satisfacción de demanda, acceso, expansión, operación, topología, desempeño de la red de transmisión, y la generación distribuida a pequeña escala para

autoconsumo, tema de suma importancia a nivel nacional por la creciente demanda de sistemas fotovoltaicos.

Se establecen las escalas de generación para generación y autoconsumo donde específica que el abonado que genere con fuentes renovables para autoconsumo y que interactúe con la red de distribución, tendrá la opción de comprar y vender al precio que determine la autoridad reguladora.

En esta norma, se especifican características técnicas generales del sistema eléctrico nacional, planteamientos de operación, coordinación, supervisión, control, así como también define el acceso a la red y verifica el desempeño de la red; en este documento se encuentra una serie de fórmulas que permiten determinar factores de utilización y disponibilidad. En el capítulo XII de esta norma, se puede encontrar los temas referentes a autoconsumo, desde interconexión, capacidad de acceso, limitaciones de acceso, adecuaciones de red, construcción de línea y equipos de conexión, costos de interconexión, así como también los sistemas de medición que deben implementarse, esto con el objetivo de tener un modelo de facturación. (Planeación, Operación y Acceso, al Sistema Eléctrico Nacional (AR-NT-POASEN, 2015)

2.1.3 Norma INTECO, INTE 31-08-06-2000

La Norma INTECO es la norma vigente en el país y tiene como objetivo establecer los niveles y requerimientos de iluminación para los centros de trabajo, de tal forma que ésta no sea un factor de riesgo y provoque daños a la salud de los trabajadores al realizar sus actividades.

Esta norma establece el valor de servicio de la iluminación artificial para distintos tipos de locales, tanto en función del destino del local como de la dificultad de la tarea visual por realizarse. Dentro de los requerimientos para el empleador, está efectuar el

reconocimiento, evaluación y control de la iluminación del centro de trabajo, así como cuantificar los niveles de iluminación, aplicando los métodos establecidos en las Normas nacionales o en ausencia de estas, Normas Internacionales. (INTE-31-08-06-00)

2.1.4 El Código Eléctrico Nacional (NEC) o NFPA 70

Es una norma regional adoptable para la instalación segura de cableado y equipo eléctrico en los Estados Unidos la cual ha sido adoptada por Costa Rica.

Es parte de la serie de códigos publicados por la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA), esta norma tiene como propósito salvaguardar la vida de las personas, en este código se encuentran todos los requerimientos con los que debería contar toda instalación eléctrica.

2.1.5 ASHRAE 90.1

Es un estándar de Estados Unidos que proporciona los requisitos mínimos para los diseños de eficiencia energética para edificios. La norma original, ASHRAE 90, se publicó en 1975, seguidamente se han publicado varias ediciones desde entonces. En 1999, el Consejo de Administración de ASHRAE votó para colocar la norma en el mantenimiento continuo, basado en los cambios rápidos en energía y tecnología de los precios de la energía. La norma fue renombrada ASHRAE 90.1 en 2001, desde entonces ha sido actualizadas en 2004, 2007, 2010 y 2013 para reflejar las tecnologías más nuevas y más eficientes. Se encuentra también la ASHRAE 60.4 que tiene los parámetros mínimos para extracción e inyección de aire dentro de la instalación, de la misma manera dan parámetros de los cambios de aire fresco que deberían tener estas edificaciones.

2.1.6 Protocolo de Kyoto

Este Protocolo tiene como objetivo principal la disminución de gases de efecto invernadero, en este documento los países miembros se comprometían a bajar considerablemente sus niveles de emisiones de gases contaminantes. Actualmente, la electricidad es el factor que más contribuye a la emisión de estos gases. Un alto porcentaje de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) atribuibles a los edificios residenciales y comerciales proceden del consumo eléctrico.

Además, con la propagación de electrodomésticos, ordenadores, sistemas de entretenimiento y el aumento del uso de otros equipos como los sistemas de aire acondicionado y ventilación, el consumo de electricidad está creciendo de un modo desproporcionado con respecto al uso de otras energías. Luego de conocer las principales normas y legislaciones es importante definir conceptos, que puedan ayudar a disminuir los consumos del edificio y como primer punto se podría hablar de las diferentes tecnologías que se encuentran en el mercado.

2.2 Sistema de iluminación

Como primer punto a desarrollar se encuentra el sistema de iluminación, ya que es el mayor generador de consumo en este tipo de edificaciones. Para poder efectuar un adecuado diseño en sistemas de iluminación, se debe calcular la cantidad de luminarias que se debe tener en cada recinto. Este cálculo se explicará a continuación:

2.2.1 Cálculo de iluminación por método de lúmenes

El método de los lúmenes es una forma muy práctica y sencilla de calcular el nivel medio de la iluminancia en una instalación de alumbrado general. Proporciona una

iluminancia media con un error de $\pm 5\%$ y da una idea muy aproximada de las necesidades de iluminación.

Primero se debe definir las dimensiones del recinto y la altura de trabajo, la cual normalmente ronda los 0.80m o 0.85m S.N.P.T. Es importante en este paso definir el nivel de iluminancia media (EM), este va a depender de la actividad que se va a realizar en el recinto, seguidamente se deberá escoger la luminaria que sea la más adecuada a la actividad, es de suma importancia definir si se quiere una luz directa, indirecta proveniente del techo o indirecta proveniente de la pared. La altura de suspensión es un dato muy importante esto según el sistema de iluminación escogido. (García J., s.f.)

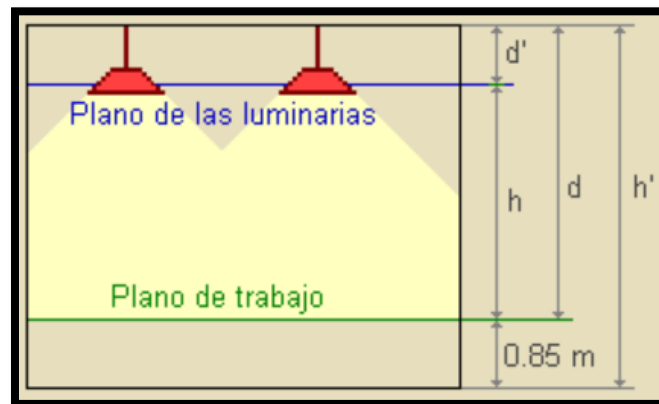


Figura 4 Alturas requeridas

Fuente: García, J. Cálculos en iluminación de interiores.

Donde:

h: altura entre el plano de trabajo y las luminarias

h': altura del local

d: altura del plano de trabajo al techo

d': altura entre el plano de trabajo y las luminarias

Una vez definidos estos parámetros se necesita calcular y escoger ciertos factores que van a permitir desarrollar las fórmulas que al final brinden la cantidad de luminarias y todo esto cumpliendo con los requisitos de las normas establecidas.

Sistema de iluminación	Índice del local
Iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa	$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$
Iluminación indirecta y semiindirecta	$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (h + 0.85) \cdot (a + b)}$

Figura 5 Cálculo de índice de local

Fuente: García, J. (s.f.). Cálculos en iluminación de interiores.

Una vez definido el índice de local (K), el cual como se observa en la figura 5, es calculada en base a la geometría del local y el sistema de iluminación definido; seguidamente se determinan los valores de reflexión los cuales van a depender de los colores o materiales que se tenga en el recinto como se observa en la tabla 1.

Tabla 1 Factores de reflexión

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

Fuente: Norma INTECO

Por último, pero no menos importante, se van a escoger los factores de mantenimiento (fm), los cuales dependen del ambiente donde se va a realizar la instalación de las luminarias, ejemplo de esto se puede observar en la figura 6 y el factor de utilización (η_{CU}) respectivamente como se muestra en la tabla 2, el cual va a depender del índice del local y los factores de reflexión, estos valores son suministrados por el fabricante. Si estos valores no se pueden obtener de manera directa será necesario interpolar.

En este edificio se trabajará bajo los parámetros de la norma INTECO INTE-31-08-06-00, el cual define los valores mínimos de servicio de iluminación (lux) con respecto al tipo de edificio, local y tarea visual, en este caso sería Oficinas, como se muestra en la figura 6.

Oficinas	
Halls para el público.	200
Cartografía, proyecto, dibujos detallados.	1000
Contaduría, tabulaciones, teneduría de libros, operaciones bursátiles, lectura de reproducciones, bosquejos rápidos.	500
Trabajo general de oficinas, lectura de buenas reproducciones, lectura, transcripción de escritura a mano en papel y lápiz ordinario, archivo, índices de referencia, distribución de correspondencia, etc.	500
Trabajos especiales de oficina, por ejemplo: sistema de computación de datos	750
Sala de conferencia	

Figura 6 Valores mínimos de servicio de iluminación (lux)

Fuente: Norma INTECO INTE-31-08-06-00

Tabla 2 Factores de mantenimiento

Ambiente	Factor de mantenimiento (f_m)
Limpio	0.9
Sucio	0.6

Fuente: Datos de fabricante de luminarias

Una vez definidos todos estos factores es cuestión de despejar los datos obtenidos en las fórmulas que aplican para cada uno de los métodos de cálculo; para el método por lúmenes, se tiene la siguiente ecuación para el cálculo de flujo luminoso.

Ecuación: Cálculo del flujo luminoso total necesario

$$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m}$$

Donde:

E_m = nivel de iluminación medio (en LUX).

Φ_T = flujo luminoso que un determinado local o zona necesita (en LÚMENES).

S = superficie del plano de trabajo (en m²).

C_u = Coeficiente de utilización.

C_m = Coeficiente de mantenimiento.

Una vez que se tiene definido el flujo luminoso, es cuestión de sustituir los valores obtenidos en la siguiente ecuación para determinar la cantidad de luminarias necesarias para cada recinto, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

Ecuación 2: Cálculo del número de luminarias

$$N = \frac{(\Phi T)}{n * \Phi L}$$

Donde:

N = número de luminarias.

ΦT = flujo luminoso total necesario en la zona o local.

ΦL = flujo luminoso de una lámpara (se toma del catálogo de luminarias escogidas).

n = número de lámparas que tiene la luminaria.

Es importante tomar en cuenta la distribución de las luminarias, hoy en día mediante software, como por el ejemplo Dialux o ElumTools para Revit de Autodesk, permiten realizar la simulación del diseño, llevando el proyecto lo más cercano a la realidad, de esta manera permitiendo una comparativa entre los dos cálculos realizados. También es de suma importancia resaltar que existen otros métodos para el cálculo de luminarias, uno de ellos es el método del punto por punto, este método es más utilizado donde la luz no se distribuye uniformemente; este método permite conocer los valores de la iluminancia en puntos concretos.

2.2.2 Tecnologías

Uno de los puntos a nivel constructivo que ha tenido gran crecimiento es el tema de iluminación; en donde se han implementado gran cantidad de cambios en los últimos años desde nivel residencial, industrial y en centro de oficinas que son lugares donde se pasan horas con grandes cargas por concepto de iluminación.

2.2.2.1 Tecnología fluorescente

Se conoce por luminaria fluorescente al conjunto que forman un tubo de descarga, denominada tubo fluorescente, un balastro y una carcasa que contiene los accesorios necesarios para el funcionamiento.

El tubo fluorescente se fabrica en vidrio y su longitud depende de la potencia en watt (W) que tenga la lámpara; tienen un diámetro estandarizado a 25,4mm, la pared interior del tubo se encuentra recubierta con una capa de sustancia fosforescente o fluorescente, cuya misión es convertir los rayos de luz ultravioleta, en radiaciones de luz visible. Su interior se encuentra relleno con un gas inerte, generalmente argón (Ar) y una pequeña cantidad de mercurio (Hg) líquido. El gas argón se encarga de facilitar el surgimiento del arco eléctrico que posibilita el encendido de la lámpara, así como de controlar también la intensidad del flujo de electrones que atraviesa el tubo, en la figura 7 se pueden observar de forma clara los componentes del tubo fluorescente.

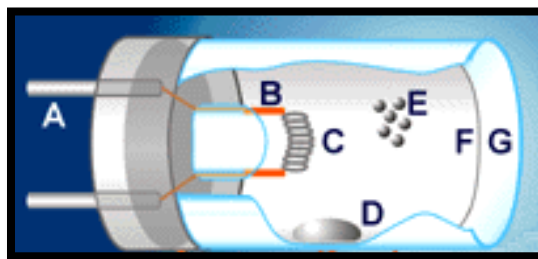


Figura 7 Elementos que conforma lámpara fluorescente

Fuente: García, J. (2015). ASÍ FUNCIONAN LAS LÁMPARAS FLUORESCENTES.

A. Patillas o pines de contacto.

B. Electrodo.

C. Filamento de tungsteno.

D. Mercurio (Hg) líquido.

E. Átomos de gas argón (Ar).

F. Capa o recubrimiento fluorescente de fósforo (P).

G. Tubo de descarga de cristal

Este sistema cuenta en cada extremo del tubo con un filamento hecho de tungsteno, que al calentarse al rojo contribuye a la ionización de los gases, por otra parte, cada una de estas luminarias cuenta con un balastro el cual se encarga de mantener estable y limitar la intensidad de la corriente para las lámparas. (Cooperindustries, s.f.).

2.2.2.2 Tecnología LED

Una lámpara de led utiliza LED (Light-Emitting Diode), los cuales son diodos emisores de luz utilizados como fuente lumínica. Debido a que la luz capaz de emitir un led no es muy intensa para alcanzar la intensidad luminosa similar a las otras lámparas existentes, como las incandescentes o las fluorescentes compactas, las lámparas LED están compuestas por agrupaciones de leds, en mayor o menor número, según la intensidad luminosa deseada.

Estas luminarias cuentan con un driver el cual estabiliza la corriente y proporciona una protección térmica, cuentan con un chip el cual es el cerebro y define la calidad e intensidad de la luz, durabilidad y consumo, así como también el color que se desea. Todas estas luminarias cuentan con disipadores de calor los cuales garantizan el buen funcionamiento y duración de las lámparas LED.

Es de suma importancia saber diferenciar los tipos de luminarias LED que se encuentran en el mercado, actualmente se tienen tres tipos de tecnología como se puede observar en la figura 8.

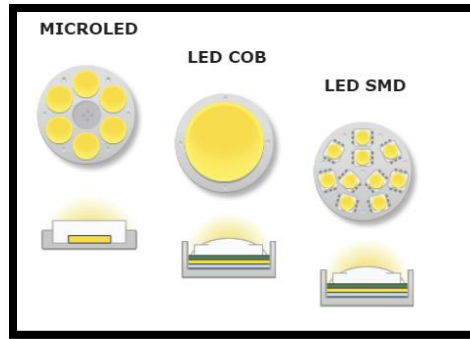


Figura 8 Tipos de luminarias led.

Fuente: Smart LED (s.f.)

Donde los fabricantes hablan de características para las luminarias tipo MICROLED y LEDCOB, las cuales cuentan con un rendimiento lumínico de hasta 120 lúmenes/W, ángulos de apertura de hasta 160°, mayor intensidad lumínica, brinda una luz multidireccional sin deslumbramiento y una mejor gestión de las fluctuaciones eléctricas, mientras que para las luminarias LED SMD, un rendimiento lumínico que ronda los 60 lúmenes/W, ángulos de hasta 360° ya que pueden distribuirse por toda la luminaria, cuenta con un dispositivo que permite que funcionen el resto de leds, aunque se haya dañado un led, no son para estar continuamente encendidas por las altas temperaturas generadas, al combinar Leds con colores primarios se pueden crear distintos colores y emiten una luz unidireccional exclusivamente.

Teniendo claro estas características se puede realizar un mejor diseño tomando en cuenta temas como eficiencia, calidad e intensidad lumínica, tema que en diseños convencionales no son tomados en cuenta por los consultores de iluminación.

2.2.3 Tipos de control de iluminación

Hoy en día existe una gran competencia a nivel de sistemas de control aplicados en iluminación, y esto ha hecho que los fabricantes desarrollen sistemas de alta eficiencia

los cuales actualmente están enfocados en la tecnología LED, la cual como se vio anteriormente brinda parámetros de eficiencia y calidad de iluminación superior a las otras tecnologías como la fluorescente y la incandescente que se encuentran en el mercado. Dentro de los principales sistemas que se tienen actualmente se pueden encontrar los siguientes:

2.2.3.1 Sistemas basados en botoneras y sensores

En algunos edificios, por lo menos en Costa Rica todavía se mantienen sistemas de control On/Off, sin embargo, estos son catalogados como antiguos; algunas personas expresan que estos sistemas no cuentan como sistemas de control, no obstante, ciertos fabricantes enfatizan que todo dispositivo que permita la acción de encender o apagar el sistema de iluminación se considera como control.

Debido a esto, se han desarrollado varias tecnologías que permiten realizar un control más eficiente y se ha llegado a fabricar dispositivos que, con ayuda de sensores y botoneras, pueden crear escenarios o simplemente tener la opción de apagar las luminarias de lugares en los cuales se está desperdiciando energía, ya que no se le está dando ningún uso, o simplemente darle al cliente la opción de manejar la iluminación de su edificio según sus gustos o especificaciones. Para lograr un control de iluminación existe una variedad de dispositivos de los cuales se debe conocer su funcionamiento, pero especialmente su aplicación.

2.2.3.1.1 Tipos de sensores

Actualmente se tienen gran variedad de sensores para controles de iluminación cada uno con características y aplicaciones diferentes según su tecnología.

2.2.3.1.1.1 Sensor de ocupación o detección de vacantes

Este tipo de sensor permite encender las luminarias una vez que detecta que hay ocupantes en el recinto o zona la cual se está controlando, a su vez permite atenuar las luminarias o apagarlas una vez que el recinto se encuentra desocupado, este tipo de sensor, según datos del fabricante Lutron, permite un ahorro de energía que va desde un 20% hasta un 60% si se cuenta con un sistema de control completo, este dato va directamente con el área de la zona y cantidad de sensores ubicados.

Estos sensores se pueden encontrar en varias tecnologías y va a depender de la aplicación que se le va a dar. Los sensores de ultrasonido (US) tienen una excelente detección de movimiento menor y los sensores de infrarrojos pasivos (PIR) son más adecuados para grandes movimientos. Las versiones de tecnología dual combinan ambas características para proporcionar un ahorro de energía óptimo y detección de ocupación.

Por otra parte, es importante destacar que hoy en día ya no representa un problema el implementar estos nuevos sistemas en edificaciones ya existentes, el principal problema era como cablear, pues estas nuevas tecnologías trabajan por radio frecuencias, lo cual permite tener sensores y botoneras inalámbricas, los cuales facilitan el montaje de estos dispositivos.

2.2.3.1.1.2 Sensor Daylight (Luz día)

Este tipo de sensor permite atenuar la iluminación en función de la luz día detectada en las zonas, dependiendo de la intensidad lumínica que se tenga, debido a los rayos del sol o entorno así será el nivel de atenuación que se tenga, hasta el punto de que

permita apagar las luminarias de esta zona. Este tipo de sensor, según datos del fabricante, permite un ahorro de energía que va desde un 25% a 60% si se cuenta con un sistema de control completo, este dato va directamente con el área de la zona, cantidad de sensores ubicados e influencia solar.

2.2.3.1.1.3 Control de atenuación personal

Da al ocupante la posibilidad de atenuar la iluminación de manera que encuentre un punto de equilibrio entre confort y a su vez genere un menor consumo de energía. Este tipo de sensor, según datos del fabricante, permite un ahorro de energía que va desde un 10% a 20% si se cuenta con un sistema de control completo, este dato va directamente con el área de la zona, cantidad de sensores ubicados y uso del cliente.

2.2.3.1.2 Estrategias de control

Se hace énfasis a la integración de los sistemas de HVAC, la cual permite una interacción entre los sistemas, lo cual según el fabricante se podría obtener un ahorro energético que va desde un 5% a un 15%, se nombra también estrategias de atenuación, trabajando las luminarias a un 80% de su capacidad máxima, lo cual permite un ahorro energético que va de un 10% a un 30%, muchos fabricantes enfatizan que esa diferencia del 20% no es percibida por el ojo humano por lo cual no tendría implicaciones a nivel salud de los ocupantes, y se nombra una estrategia por horario y movimiento, la cual especifica que una vez definido el horario de trabajo y cumplido ese horario diario el sistema empezara a apagar zonas que no detecten movimiento y una vez apagadas no se podrán encender automáticamente.

Ahora, ¿que sería toda esta tecnología de sensores, botoneras y luminarias de última tecnología sin un cerebro que combine todo esto? Para contestar esta interrogante es necesario conocer la importancia del software y la centralización de datos. Cada marca tiene sus sistemas y se nombraran tres sistemas en los cuales cada fabricante tiene sus especificaciones de cableado.

El sistema Quantum de Lutron, es uno de los más completos del mercado, permite integrar sensores, cortinas eléctricas, balastros digitales, driver LED, y todo bajo un mismo conjunto de software, este sistema permite su conexión a un sistema BMS por medio de Bacnet IP. Es considerado uno de los más eficientes debido a todas sus aplicaciones ya que también permite un control de cargas enchufables, el cual automáticamente apaga las cargas después de que los ocupantes han salido del espacio. (Lutron, s.f.)

El segundo sistema es el nLIGHT de AcuityBrands, es similar al Quantum de Lutron, permite una interacción completa entre todos los dispositivos pero con una diferencia marcada: el sistema de cableado de control, el cual es mediante cable UTP entre los dispositivos del sistema; por lo cual se lleva la potencia a cada power pack y de este salen el cableado de control; mientras que en los otros sistemas el cableado de control va desde los tableros y se lleva el cableado de potencia y dos líneas adicionales #18 para las señales de control, lo cual hace que sea una de las ventajas del nLIGHT sobre los otros sistemas. De igual manera este sistema permite conexión a la red, el fabricante tiene una aplicación la cual se encuentra en la nube y se suben todos los datos, lo cual facilita que el cliente tenga los datos de iluminación y control en el momento que el desee. (AcuityBrands, s.f.)

Ahora bien como se sabe, entre más funciones tenga el sistema el costo es mayor por lo que se vuelven controles de iluminación no accesibles para todos los clientes, por lo cual existen sistemas de control más básicos y uno de ellos es el DLM de Wattstopper, el cual es un sistema que permite crear zonas y escenarios, permite atenuación pero con productos más robustos y que estéticamente no son la última línea en el mercado, se diría un sistema que cumple la función sin lujo ni extras pero a un menor costo y como este se encuentran otros sistemas de control.

2.2.3.2 Sistemas POE Technology

Este es un sistema el cual se basa en tecnología de bajo voltaje, que alimenta las luminarias por medio de un sistema llamado Power over Ethernet (PoE), esta alimentación se da por medio de un cable UTP, utilizado en sistemas de telecomunicación, este no solo permite alimentar la luminaria sino también realizar la recolección de datos del ambiente, ya que cada luminaria cuenta con sensores de movimiento, presencia, sensores de luz día o ultrasónicos, y eso va a depender directamente del ecosistema que se quiera crear, así lo describe su fabricante como un sistema de iluminación que va a permitir tener una edificación más inteligente y eficiente por medio de la creación de ecosistemas que permitan mantener las mejores condiciones para el ambiente sin dejar de lado las condiciones de los ocupantes, ya que al tener una retroalimentación de cada una de las luminarias permite ajustar, o atenuar las luminarias, aparte este sistema permite una integración de sistemas de aire acondicionado, lo cual permite un gran ahorro energético, según enfatiza el fabricante Philips.

El sistema se conecta a un switch de telecomunicaciones, el cual cuenta con un transformador el cual le va a dar al sistema el voltaje de funcionamiento según las

especificaciones de las luminarias y en este punto se realiza la distribución hacia cada luminaria y sensor que se tenga en las diferentes zonas, cada uno de estos contara con una dirección IP, lo cual permite que se pueda controlar desde cualquier dispositivo que cuente con la aplicación del fabricante, permitiendo apagar, encender o atenuar cualquiera de los elementos de manera puntual en cada zona del edificio.

En este sistema se puede integrar todo el edificio sin tener problemas, ya que al tener cada dispositivo una dirección IP y estar conectados los switches de telecomunicaciones entre sí se puede unificar todo el sistema en un solo servidor.

Este sistema, aunque guarda escenarios para cada zona, al tener una retroalimentación en línea permite cambiar constantemente las condiciones y de manera automática regular las condiciones para tener minuto a minuto las condiciones óptimas de trabajo y el menor consumo energético posible. Este es uno de los sistemas más nuevos actualmente, lo cual hace que su precio sea superior a los demás sistemas de control de iluminación antes vistos, pero a su vez es un sistema futurista, el cual, según los fabricantes, sería el sistema de control que llegue a cambiar el concepto de control y automatización de iluminación en edificaciones. (Philips,PoE technology, s.f.)

Una vez definida la principal tendencia en controles de iluminación es importante mencionar las diferentes tecnologías en aire acondicionado, en los últimos años se ha dado un auge en la fabricación de unidades de expansión directa como la solución en aires acondicionados para cualquier tipo de recinto; pero la necesidad de bajar consumos eléctricos y bajar poco a poco la huella de contaminación dejada por estos sistemas, insta a la creación de nuevos sistemas que día a día se han fortalecido con la idea de reemplazar estos sistemas tradicionales.

2.3 Sistema de aire acondicionado

En sistemas de aire acondicionado se ha dado un avance muy importante en distintas tecnologías y cada vez con equipos más eficientes, así como en sistemas de control que lo complementan permitiendo tener muy bajos consumos energéticos.

2.3.1 Cálculo de sistema de aire acondicionado

Uno de los primeros pasos para poder seleccionar un sistema de aire acondicionado adecuado es saber cuánto es la capacidad de los equipos y de esta manera corroborar que cubra las necesidades del recinto; por esta razón se calcula la carga térmica para cada área, este cálculo contempla el efecto que tiene cada objeto o que influencia del ambiente va a afectar la temperatura de un recinto. Hoy en día existen softwares encargados de realizar estos cálculos, pero también se tienen procedimientos teóricos que permiten realizar el cálculo de la carga térmica como lo es el método CLTD (Cooling load temperature difference), el cual tiene una serie de pasos que se deben seguir para definir la carga térmica. A continuación, se presentan estos pasos, así como las tablas utilizadas para dicho cálculo:

Como primer paso para la obtención de la carga térmica del recinto es importante establecer las siguientes condiciones de diseño:

- Temperatura de diseño exterior.
- Humedad relativa exterior.
- Temperatura de diseño interior. Según recomendaciones de la ASHRAE.
- Humedad relativa interior.
- Variación diaria de temperatura.
- Mes de diseño.
- Ocupación.

Una vez establecidos los parámetros de diseño es importante definir las diferentes zonas las cuales se pretende acondicionar.

Para el cálculo, se deberá calcular la ganancia de calor solar, donde se deberá definir:

$$\text{Ganancia de calor solar} \left(\frac{BTU}{hr} \right) = AC * FS * CS$$

Donde:

AC: Área de cristal (pie²)

FS: Factor Solar a través del vidrio (Btu/hr*pie²) (Ver tabla 4, Apéndice A-1)

CS: Coeficiente de sombra (Ver tablas 6 y 7, Apéndice A-2)

Del mismo modo, para la ganancia por transmisión de cristales se tiene que:

$$\text{Ganancia de transmisión de cristales} \left(\frac{BTU}{hr} \right) = AC * U * CLTD$$

Donde:

AC: Área de cristal (pie²)

U: Factor de sombreado (Ver tablas 12, 13 y 14, Apéndice A-3)

CLTD (Ver tabla 15, Apéndice A-3)

Seguidamente, se realiza el cálculo de ganancia de paredes, puertas exteriores y techos, donde:

$$\text{Ganancia por transmisión de pared } A = AC * U * CLTD$$

AC: Área de paredes o puertas (pie²)

U: Coeficiente de pared o puerta (Ver tablas 16 y 17, Apéndice A-4)

CLTD (Ver tabla 22, Apéndice A-5)

$$\text{Ganancia por transmisión de techos} = AC * U * CLTD$$

AC: Área de techo (pie²)

U: Coeficiente de puerta (Ver tabla 16, Apéndice A-4)

CLTD: (Ver tabla 23, Apéndice A-5)

Posteriormente, se calcula la ganancia interna del local, donde dependerá del número de personas dentro del recinto. Así:

Calor sensible QS: (Ver tabla 28, Apéndice A-6)

Calor latente QL: (Ver tabla 28, Apéndice A-6)

#P: Cantidad de personas

$$\text{Calor de los ocupantes QS} = QS * \#P$$

$$\text{Calor de los ocupantes QL} = QL * \#P$$

El siguiente paso por seguir es el cálculo de la carga térmica por ventilación, para lo cual se utilizan los siguientes valores:

#P: Cantidad de personas

AC: Área de piso (pie²)

CFM: Cantidad de CFM por persona: (Ver tabla 31 Apéndice A-7)

$$\text{Carga térmica por ventilación (ocupantes)} = \frac{CFM}{\#P}$$

$$\text{Carga térmica por ventilación (área)} = \frac{CFM}{\text{pie}^2}$$

Realizando el sumatorio total de las cargas vistas en los diferentes puntos, se logra definir la cantidad de toneladas de refrigeración que se debe contemplar para cada recinto. Una vez que se obtiene este dato se puede escoger los modelos de los equipos.

2.3.2 Tecnologías

Al igual que el sistema de iluminación el sistema de aire acondicionado ha tenido un gran crecimiento; en donde se han implementado gran cantidad de cambios en los últimos años desde nivel residencial, industrial y en centro de oficinas que son lugares donde se pasan horas con grandes cargas por concepto de acondicionamiento de espacios.

2.3.2.1 Tecnología VRF

El sistema VRF es un acrónimo de palabras en inglés, usado para referirse a sistemas de aire acondicionado con Flujo de Refrigerante Variable. Esta es una solución que tiene 3 características importantes que lo hacen diferente a un sistema convencional:

- Tienen la capacidad de controlar la cantidad de refrigerante que fluye a través del sistema.
- Cada unidad interior recibe únicamente la cantidad de refrigerante necesario para acondicionar el espacio al cual está sirviendo.
- A través de la tecnología inverter el motor del compresor varía su velocidad, incrementando o disminuyendo la capacidad requerida del sistema.

Este sistema cuenta con un bajo consumo de energía, baja corriente de arranque por las características de su motor y brinda una confiabilidad excelente, ya que permite alternar el uso de sus compresores teniendo beneficios como alargar su vida útil y su disponibilidad; al tener una tecnología inverter le permite al sistema alcanzar la temperatura deseada en poco tiempo y mantenerla dentro del rango sin percibir cambios drásticos de temperatura.

El poder elegir distintas combinaciones de condensadoras por su diseño modular, hace que sea un sistema flexible donde el tema de espacio no sería un problema cuando se requiere una alta capacidad de refrigeración.

En cuanto a mantenimiento, son sistemas que permiten autodiagnóstico, el cual permite un reporte puntual de fallas y el sistema de programación hace que sea un sistema fácil de manejar para el instalador y el usuario final. El VRF requiere más unidades evaporadoras por m² que otros sistemas de acondicionamiento de aire, ya que las evaporadoras tienen menor presión estática y capacidad térmica que otras unidades.

2.3.2.2 Tecnología agua helada

Los sistemas de agua helada son muy usados en proyectos de gran tamaño, con cargas térmicas muy altas, esto en proyectos con posibilidad de crecimiento.

Estos sistemas como su nombre lo indica, usan como refrigerante el agua, se forman de un condensador llamado Chiller, el cual enfría el agua caliente hasta la temperatura requerida. En el interior del edificio se colocará las unidades termo-ventiladas denominadas FAN-COIL que son similares a las unidades interiores de un sistema de expansión directa, una de las ventajas de estos sistemas es que las únicas conexiones entre la unidad interna y la unidad externa es un circuito hidráulico común cerrando un circuito.

Para llevar el agua helada hasta cada una de las evaporadoras se necesitan bombas y la ubicación y conexión de estas bombas depende del tipo de configuración del sistema. Existen dos tipos de sistemas el enfriado por agua el cual requiere una torre de enfriamiento y el enfriado por aire.

Dentro de las configuraciones se encuentran dos de las más utilizadas las cuales son:

Primero variable: Requiere de pocas bombas (sólo en la succión del chiller). Las bombas cuentan con variador de velocidad por lo que no consumen el 100% de su potencia todo el tiempo y son adecuados para los proyectos con posibilidad de expansión.

Primario-secundario: Necesita más bombas y por ende más cableado y más tuberías. Las bombas de los chillers trabajan on-off, por lo que se tiene siempre un mismo consumo eléctrico de esas bombas y requiere de más espacio.

Los sistemas de tuberías se calculan mediante software especializado. El diámetro de la tubería depende del caudal máximo de agua necesario y de la carga térmica que maneja cada evaporadora. Como regla general por tonelada se necesitan 2.4gpm de agua helada, las tuberías deben tener una velocidad máxima de 4.5ft/s y una caída de presión de no mayor a 3psi/100ft.

Dos de los modelos más utilizados de la marca YORK se encuentra el modelo YCM2 Chiller Centrifugo enfriado por agua, como el que se muestra en la figura 9.



Figura 9 Modelo YCM2 Chiller Centrifugo enfriado por agua

Fuente: YORK, Johnson Controls

Y luego se tiene el modelo más reciente y avanzado de la marca YORK, el cual cuenta con la tecnología de control patentada por YORK® la cual ofrece información rápida

sobre la carga del edificio, para garantizar que el YZ no desperdicie energía ni trabaje más de lo necesario; cuenta con el variador de velocidad como componente estándar, al igual que el difusor de geometría variable y la tecnología de rodamientos magnéticos, permite obtener ahorros de hasta un 35% en los costos anuales de energía en comparación con los chillers tradicionales de velocidad fija y rodamientos en aceite.

Cuenta con un evaporador de película descendente el cual reduce la carga de refrigerante hasta en un 60% y permite disminuir el tamaño de la carcasa del evaporador hasta en un 20% en comparación con los diseños de otros evaporadores inundados de refrigerante de baja presión.

El YZ es el primer chiller centrífugo con rodamientos magnéticos en utilizar motores de inducciones confiables, robustos, y de bajo mantenimiento. Este es el primer chiller de la industria completamente optimizado para obtener el máximo desempeño con un refrigerante de última generación, el R-1233zd, de bajo potencial de calentamiento atmosférico (PCA) con apenas un PCA de 1, con un nivel de eficiencia y operación con capacidades de enfriamiento 165-1000 Ton (581-3516 kW). Hoy en día es uno de los productos más eficientes en sistemas de agua helada.



Figura 10 Modelo YK Chiller Centrífugo enfriado por agua

Fuente: YORK

2.4 Tecnología de sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos son aquellos que transforman los rayos del sol en electricidad, y de esta forma convierte la luz solar en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico. Al utilizar estos sistemas, es importante tomar en cuenta su funcionamiento y componentes básicos. Los paneles fotovoltaicos consisten en una red de células solares conectadas como circuito en serie para aumentar la tensión de salida hasta el valor deseado (usualmente se utilizan 12 V ó 24 V).

El sistema deberá contar con un regulador, el cual se comporta como un interruptor cerrado conectado en serie entre paneles y batería para el proceso de carga, y abierto cuando la batería está totalmente cargada.

Los micro inversores deben tener un alto rendimiento y fiabilidad, el rendimiento de los inversores será un dato el cual brinde el fabricante, estos equipos tienen varias ventajas sobre los inversores centrales convencionales. La principal ventaja es que cuando se presenta una pequeña sombra sobre un mismo panel solar no se reduce de manera desproporcionada la producción de todo el conjunto.

La radiación solar es la energía emitida por el sol, el flujo de radiación recibido por la superficie terrestre es el que dará los parámetros de funcionamiento y generación de los paneles solares, depende principalmente de factores astronómicos y también se ve afectada por factores locales tales como la cobertura nubosa y otros factores del ambiente.

Hoy en día existen softwares que permiten tener una idea clara de la radiación solar la cual va a permitir realizar el cálculo de la cantidad de paneles que se requiere para cubrir la necesidad del proyecto. A continuación, se presenta un mapa del software Solargis Data (2016) donde se muestra la irradiación de Costa Rica.



Figura 11 Radiación solar global en Costa Rica

Fuente: Solargis Data

2.4.1 Cálculo de una instalación fotovoltaica

Una vez establecidos los parámetros iniciales de diseño en donde se contempla la ubicación geográfica de la edificación, se deben tomar en cuenta las estadísticas las cuales permitan identificar si el lugar es apto y reúne las características necesarias para la producción de energía fotovoltaica.

Seguidamente se deben definir los parámetros de radiación solar los cuales son datos brindados por el Instituto Meteorológico Nacional o como en el caso de este documento del software Solargis. Con los datos obtenidos a partir de este paso, se puede observar las horas solares pico de cada mes, esto debido a un factor de conversión por medio de la siguiente ecuación:

$$13.2 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} * \frac{1 \text{ HSP}}{3.6 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}} = 3.67 \text{ hps}$$

Este dato obtenido de 3.67 hps define las horas solares pico del mes que se desee estudiar.

Para definir la cantidad de paneles solares se deberán realizar el cálculo por medio de la siguiente ecuación:

$$NP = \frac{E}{0.9 * Wp * HSP}$$

Donde:

NP: número de paneles solares necesarios

E: consumo energético real

WP: es la potencia pico del panel

HPS: son las horas pico solar

Seguidamente se deberá calcular la cantidad de energía eléctrica generada, la cual es obtenida luego de multiplicar la potencia total del arreglo de paneles por la irradiación solar del mes que se requiera y esto por la cantidad de días del mes, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$NP * WP * 3.67 \text{ hps} * DM = \text{KWh/mes}$$

Donde:

NP: número de paneles solares necesarios

WP: es la potencia pico del panel

DM: días del mes

HPS: son las horas pico solar

Luego de estos cálculos es importante realizar el cálculo de los microinversores, los parámetros con los cuales debería cumplir este equipo son con la tensión en corto circuito, la tensión a la máxima potencia, el coeficiente de temperatura, la corriente de corto circuito, el número de células y también la potencia nominal del panel.

Una vez que se está seguro de que el microinversor cumple con los requerimientos sigue calcular el número de paneles que se podrían conectar.

$$\#Paneles_{microinverso} = \frac{Potencia\ del\ inversor}{Potencia\ nominal\ del\ panel\ solar}$$

Estos microinversores cuentan con protección contra fallas a tierra ya integrado. Para el tema de conductores se utiliza la tabla 310.16 del NEC.

Para determinar el ángulo de inclinación adecuado de los paneles solares, que maximice la radiación sobre ellos, se utiliza la siguiente ecuación:

$$lm = \Phi + 10^\circ$$

Donde:

lm: Es la inclinación máxima en grados

Φ : Es la latitud del lugar de la instalación.

Es importante recordar que, aunque existe este procedimiento para calcular este sistema, las empresas utilizan software especializados.

2.5 Aspectos financieros

En cuanto a los aspectos financieros del proyecto, es importante tener conceptos claros sobre este tema, ya que va a determinar la rentabilidad que tenga el proyecto, y así poder implementarlo o buscar mejoras para alcanzar la rentabilidad deseada.

2.5.1 Valor actual neto

Según EconomistaSimple.net (2016) el concepto de Valor Actual Neto (VAN): “se refiere a un criterio de inversión que pasa por actualizar los cobros y pagos de un proyecto para conocer si esa inversión resulta rentable o no. Otros términos con los que se conoce son el Valor Presente Neto (VPN) o Valor Neto Actual (VNA). Este procedimiento se emplea para valorar las diferentes alternativas de inversión, con el cálculo del VAN de distintas inversiones se determinará en cuál de ellas existirá mayores opciones de ganancias.

Es importante conocer los parámetros que rigen este valor, a continuación, se presentan el intervalo de valores que permite determinar la rentabilidad del proyecto:

VAN superior a 0: el proyecto de inversión permite conseguir ganancias y beneficios.

VAN inferior a 0: debe rechazarse la inversión al provocar pérdidas.

VAN igual a 0: el proyecto de inversión no genera ni pérdidas ni beneficios, por lo que su ejecución provoca indiferencia.

La metodología consiste en descontar, al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa), todos los flujos de caja futuros, o en determinar la equivalencia en el tiempo de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto, y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Dicha tasa de actualización o de descuento es el resultado del producto entre el costo medio ponderado de capital (CMPC) y la tasa de inflación del periodo. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial entonces es recomendable que el proyecto sea aceptado.

La fórmula que permite calcular el valor actual neto es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde:

V_t: Representa los flujos de caja en cada periodo t.

I₀: Es el valor del desembolso inicial de la inversión.

n: Es el número de períodos considerado.

K: Es el tipo de interés.

Si el proyecto no tiene riesgo se tomará como referencia el tipo de la renta fija, de tal manera que con el VAN se estimará si la inversión es mejor que invertir en algo seguro, sin riesgo específico. Cuando el VAN toma un valor igual a 0, k pasa a llamarse TIR (tasa interna de retorno). La TIR es la rentabilidad que está proporcionando el proyecto.

En ocasiones las empresas eligen un proyecto con un VAN más bajo debido a diversas razones, como podrían ser la imagen que le aportará a la empresa, por motivos estratégicos u otros motivos que en ese momento interesen a dicha entidad.

2.5.2 Tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. Es una medida utilizada en la evaluación de proyectos de inversión que está muy relacionada con el Valor Actualizado Neto (VAN). También se define como el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, para un proyecto de inversión dado.

La TIR puede utilizarse como indicador de la rentabilidad de un proyecto: a mayor TIR, mayor rentabilidad; así, se utiliza como uno de los criterios para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, el costo de oportunidad de la inversión (si la inversión no tiene riesgo el costo de oportunidad utilizado para comparar la TIR será la tasa de rentabilidad libre de riesgo). Si la tasa de rendimiento del proyecto expresada por la TIR supera la tasa de corte, se acepta la inversión; en caso contrario, se rechaza. Es la tasa que igual a la suma del valor actual de los gastos con la suma del valor actual de los ingresos previstos:

$$\sum_{i=1}^N VPI_i = \sum_{i=1}^N VPC_i$$

La TIR o tasa de rendimiento interno es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para conocer la factibilidad de diferentes opciones de inversión. El criterio general para saber si es conveniente realizar un proyecto es el siguiente:

Si $TIR \geq r \rightarrow$ Se aceptará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida (el costo de oportunidad).

Si la $TIR \leq r \rightarrow$ se rechazará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida.

Criterio de aceptación o rechazo. El criterio general solo es cierto si el proyecto es del tipo "prestar", es decir, si los primeros flujos de caja son negativos y los siguientes positivos. Si el proyecto es del tipo "pedir prestado" (con flujos de caja positivos al principio y negativos después), la decisión de aceptar o rechazar un proyecto se toma justamente al revés: Si la $TIR > r \rightarrow$ se rechazará el proyecto. La rentabilidad que está requiriendo este préstamo es mayor que el costo de oportunidad.

Si la $TIR \leq r \rightarrow$ se aceptará el proyecto. Comparación de proyectos excluyentes. Dos proyectos son excluyentes si solamente se puede llevar a cabo uno de ellos. Generalmente, la opción de inversión con la TIR más alta es la preferida, siempre que los proyectos tengan el mismo riesgo, la misma duración y la misma inversión inicial. Si no, será necesario aplicar el criterio de la TIR de los flujos incrementales. Los proyectos especiales también son llamados el problema de la inconsistencia de la TIR. Son proyectos especiales aquellos en los que en su serie de flujos de caja hay más de un cambio de signo.

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la investigación

El enfoque que se le da a la presente investigación es mixto, ya que se pretende analizar los datos recolectados por medio de mediciones de consumo de energía mensuales en una edificación de oficinas típicas, así como documentos de innovaciones en el campo, el cual se comparará con un modelo basado en las nuevas tendencias tecnológicas de ahorro energético.

Asimismo, se muestra un paradigma positivista, ya que se enfoca en explicar los temas referentes a la investigación, y la predicción del impacto energético que tendría la implementación de estas nuevas tecnologías.

3.2 Método de la investigación

El desarrollo de la investigación abarcará un método descriptivo, el cual tiene como finalidad describir las situaciones y eventos de la realidad, recopilar la información de otros autores y brindar una propuesta con la precisión requerida de las variables en los resultados obtenidos.

Entre las etapas de la investigación, como primer paso se debe examinar las peculiaridades del problema planteado, el cual una vez definido da paso a la definición y formulación de las hipótesis. Seguidamente, se debe establecer la técnica de la recolección de datos y clasificación de datos, y su validez, así como su aplicación basados en las fuentes de información adecuadas. Y, por último, analizar los datos obtenidos, los cuales permitan realizar observaciones certeras y elaborar la interpretación de datos de forma efectiva.

3.3 Fuentes de Información

Entre las fuentes de información se mencionan los contenidos teóricos obtenidos a partir de una revisión bibliográfica en páginas webs referentes a los temas en cuestión, así como legislaciones vigentes en el país y normativas tales como la ASHRAE que reglamenten el diseño adecuado para la realización del proyecto y sus mejoras a nivel de consumo energético. De la misma manera, se utilizará el Código Eléctrico Nacional (NFPA 70) para determinar el proceso que se debe seguir para la realización de las mediciones en sitio y diseño eléctrico en general. Asimismo, se refiere a expertos en el campo de estudio que tengan experiencia en proyectos relacionados con ahorro energético y disminución de la huella ecológica.

3.4 Instrumentos

Se realizarán mediciones en campo de una edificación la cual será el modelo para la determinación de factores de utilización que permitan especificar horas de consumo de energía. Asimismo, se utilizarán software para cálculos de iluminación, carga térmica que impacta directamente a los sistemas de aire acondicionado.

3.5 Proceso para la recolección y análisis de datos

Tomando en cuenta los instrumentos y la metodología especificada, el proceso de recolección de datos se realizará con base en el Código Eléctrico Nacional (NFPA 70), el cual, en el artículo 220.87 da los parámetros para la realización de las mediciones anteriormente mencionadas, las cuales se realizan cada 15 minutos, todos los días durante un mes como mínimo; esto con el objetivo de observar las fluctuaciones de consumo de energía que se dan mensualmente, y de esta manera poder comprender el

comportamiento de la edificación para poder implementar nuevas tecnologías basadas en ahorro energético.

Por otro lado, la recolección de datos se dará por medio de consulta directa a los fabricantes que brinden información sobre las nuevas tendencias propuestas para la realización de un diseño que permita una eficiencia mayor y una disminución del consumo de energía y sus costos.

Para el análisis de los datos se hará una comparación entre las cargas eléctricas y los costos de los sistemas convencionales actuales y una edificación con la implementación de los nuevos sistemas basados en ahorro energético.

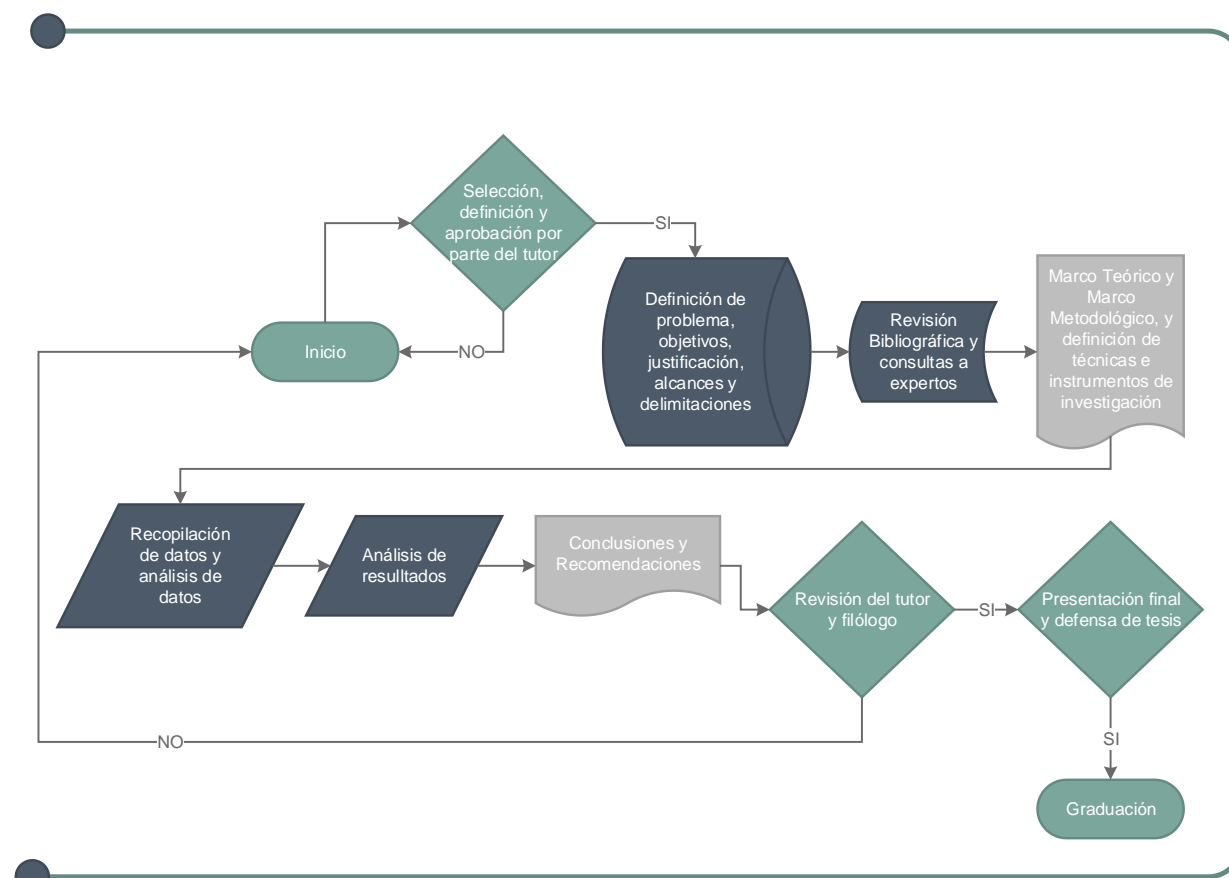


Diagrama de flujo de marco metodológico

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4: DESARROLLO

En este proyecto es indispensable definir horas de uso de la edificación a la cual se le requiere implementar las nuevas tecnologías, de esta manera se puede tener un parámetro real del funcionamiento y consumo diario, semanal, mensual o anual; esto depende directamente del diseñador y el cliente, es importante ya que esto va a permitir realizar una comparación del modelo actual contra el modelo realizado según estándares y especificaciones dadas por la ASHRAE 90.1, la cual define los valores y parámetros mínimos con los cuales debería cumplir cualquier diseño de oficinas típicas para su óptimo funcionamiento.

La medición se realizó con un equipo Fluke 430 Series II, el cual permanece instalado en el sistema eléctrico de la edificación realizando las mediciones por un tiempo establecido, las cuales se pueden descargar en tablas de Excel, lo cual permite realizar el análisis de las mediciones obtenidas durante el periodo que estuvo el equipo recopilando datos. En el presente caso, se tomaron los datos del mes de enero del 2018, tomando mediciones del nivel 4, esto debido a que los otros tres niveles de la edificación cuentan con la misma distribución arquitectónica a excepción del sector de cocina. En el nivel anteriormente mencionado se realizaron las mediciones en cuatro puntos importantes los cuales son: el tablero eléctrico que alimenta los circuitos de iluminación, como segundo punto, el tablero con el cual se pretende controlar cierta cantidad de receptáculos, los cuales están distribuidos en toda la edificación; como tercer punto se encuentra el tablero eléctrico que alimenta los equipos de aire acondicionado, y por último, el punto de medición el cual estaría en el tablero principal.

Es en estos tableros donde se pretende implementar las nuevas tecnologías las cuales permitan la disminución de cargas eléctricas, por ende, bajar los consumos eléctricos y de la misma manera tener una edificación más eficiente, que se refleje en la facturación eléctrica mensual.

Cabe resaltar que cada piso contará con su propia alimentación eléctrica, esto en caso de que el dueño del edificio desee realizar el alquiler de algún piso específico a un inquilino, lo cual permita establecer consumos independientes, esto para temas de facturación eléctrica.

Es importante establecer que cada propuesta por disciplina se va a tratar independientemente, lo cual permita al cliente escoger la opción más viable para el proyecto de manera que pueda realizar una de las mejoras o tener la posibilidad de implementar todas, siempre tomando en cuenta el costo y el ahorro que le podría generar cada una de las tecnologías a utilizar.

La sección 4.1 del presente capítulo se enfocará en el tema de la iluminación, en el cual como primer paso se realizará el cálculo teórico para definir la cantidad de luminarias, así como los parámetros con los que debe cumplir dicha iluminación, esto dará paso para poder definir el tipo de luminarias a especificar y el tipo de control que se desee implementar en la propuesta. Asimismo, el sistema de iluminación propuesto se simulará por medio de un software implementado actualmente por los consultores de iluminación.

Al ser un proyecto en el cual se desean implementar nuevas tecnologías se debe tener como referencia un proyecto que cuente con tecnologías similares, por lo cual se

realizó un levantamiento o auditoria de los diferentes sistemas para lograr obtener un comportamiento lo más cercano a la realidad, seguidamente se definirá el factor de utilización que establece los parámetros de carga y consumo para esta disciplina, debido a esto, se realizan las mediciones antes descritas.

En la sección 4.2 se desarrollará el tema de control inteligente de receptáculos, dicho tema nace por la necesidad de disminuir el consumo generado por los aparatos electrónicos, los cuales permanecen en modo de espera o standby, esto debido a que son sistemas que necesitan un calentamiento previo, como en el caso de monitores, pero también se da la problemática con los sistemas que están conectados a internet permanentemente, esto para la emisión de notificaciones o actualizaciones de los equipos inteligentes.

En la sección 4.3 se realizará el cálculo del factor de utilización para el sistema del aire acondicionado, el cual se define por medio de medición real realizada en campo, para poder definir los equipos y la tecnología a implementar es importante tener el dato de la carga térmica que tiene la edificación en cada una de las zonas o recintos. De igual manera, al igual que en la disciplina de iluminación se realizará el cálculo teórico y se realizará el cálculo por medio del software HAP de Carrier.

Por último, en la sección 4.4 de dicho documento se definirá la capacidad de generación fotovoltaica del edificio y la tecnología a implementar, lo cual se desarrollará por medio de cálculo teórico. Asimismo, se determinarán cuáles son los sistemas electromecánicos que se podrían alimentar de esta fuente de generación renovable, permitiendo subvencionar una parte de la facturación eléctrica.

4.1 Sistema de iluminación

Para realizar la escogencia de una nueva tecnología en sistemas de iluminación es importante definir el tipo de edificación en la cual se desee implementar, por medio de una auditoría, así como conocer el uso final o utilidad de la obra, este factor influirá en la determinación de horarios de ocupación, los cuales se deben establecer con el cliente; de lo contrario, de no tener un horario establecido por medio del cliente se puede tomar en consideración la Tabla G-G de la norma ASHRAE, la cual se encuentra en el Apéndice 8, la cual define las cargas de iluminación, receptáculos y aire acondicionado según un horario establecido por esta norma. En el presente caso se cuenta con la posibilidad de realizar las mediciones reales a la edificación que se tomara como base para el desarrollo del documento.

4.1.1 Cálculo de luminarias

Para el cálculo de cantidad de luminarias requeridas en el proyecto, se tomará como referencia el método de lúmenes, cabe recalcar que al ser un edificio donde los niveles son típicos y poseen la misma distribución arquitectónica, se desarrollará el procedimiento teórico para uno de los recintos y seguidamente se tendrá a manera de resumen las tablas con los datos de los diferentes recintos de la edificación y la cantidad de luminarias requeridas.

Se realizó el ejercicio para el área “A2 Sala Multiusos”, donde:

$E_m = 500 \text{ lux}$ (Norma INTECO)

ΦT = flujo luminoso que un determinado local o zona necesita (en LÚMENES).

$S = 45 \text{ m}^2$

$$C_u = 0.94$$

$$C_m = 0.90$$

$$\Phi T = \frac{500 * 45}{0.94 * 0.9}$$

Por lo tanto, según el resultado obtenido de la sustitución de los valores en la ecuación anterior se obtiene que el flujo luminoso requerido para esta zona es de 26815.01 lúmenes. Este dato será sustituido en la siguiente ecuación, donde:

N = número de luminarias.

$$\Phi T = 26815.01 \text{ lúmenes}$$

$\Phi L = 4000$ (luminaria EATON CORALITE, modelo BRG-WS-2L35-LD2-UNV-24-T1-STD)

$$N = \frac{(26815.01)}{4000} = 6.7$$

Es decir, para este recinto se necesitaría alrededor de 7 luminarias, esto redondeando la cantidad al número mayor de luminarias.

A continuación, se muestran las tablas con el resumen de datos obtenidos a partir de las ecuaciones anteriormente descritas para cada uno de los diferentes recintos del proyecto, de igual manera en el apéndice 9 se encuentra la memoria de cálculo generada en el programa Excel, que permite ver el cálculo realizado para cada sector y los valores utilizados para encontrar el número de luminarias:

Tabla 3 Número de luminarias por recinto

	A1 SALA CONFERENCIA	A2 SALA MULTIUSOS	ÁREA PASILLOS	A3 SALA CONFE CHICA	CUARTO ESTUDIO	A6 ALMACENAJE
Área m ² =	60.60	45.37	109.02	18.57	33.97	10.95
Marca	EATON CORALITE	EATON CORALITE	ACUTY BRAND	EATON CORALITE	ACUTY BRAND	EATON METALUX
Modelo	BRG-WS-2L35-LD2-UNV-24-T1-STD	BRG-WS-2L35-LD2-UNV-24-T1-STD	SMCO-L-CH-15LM-35KM-VOLT-80CRI-G10	BRG-WS-2L35-LD2-UNV-24-T1-STD	SMCO-L-CH-15LM-35KM-VOLT-80CRI-G10	4SLSTP204OD D-UNV
NL =	8.95	6.70	25.77	2.74	13.39	1.29

	A7 IT	A8 ALMACENAJE IT	A9 MADRES	A11 TRANQUI	A8 ALMACENAJE IT	ÁREA PASILLOS
Área m ² =	16.43	23.07	12.80	9.38	15.64	59.25
Marca	EATON METALUX	EATON METALUX	EATON CORALITE	EATON CORALITE	EATON METALUX	ACUTY BRAND
Modelo	4SLSTP204OD D-UNV	4SLSTP204OD D-UNV	BRG-WS-2L35-LD2-UNV-24-T1-STD	BRG-WS-2L35-LD2-UNV-24-T1-STD	4SLSTP204OD D-UNV	SMCO-L-CH-15LM-35KM-VOLT-80CRI-G10
NL =	3.53	3.27	0.76	0.27	2.22	14.01

	PANTRY	PANTRY	ÁREA VESTIBULOS	ÁREA PASILLOS	A15 CONF MEDIANA	A16 COZY
Área m ² =	53.95	53.95	62.57	62.57	27.86	5.78
Marca	EATON METALUX	EATON METALUX	ACUTY BRAND	ACUTY BRAND	EATON CORALITE	EATON CORALITE
Modelo	4SLSTP204OD D-UNV	4SLSTP204OD D-UNV	SMCO-L-CH-15LM-35KM-VOLT-80CRI-G10	SMCO-L-CH-15LM-35KM-VOLT-80CRI-G10	BRG-WS-2L35-LD2-UNV-24-T1-STD	BRG-WS-2L35-LD2-UNV-24-T1-STD
NL =	7.65	5.71	14.79	14.79	2.99	0.62

	A18 CONFECIA	A19 CONFECIA	ÁREA 20A OFICINA	ÁREA 20B OFICINA	ÁREA 20C OFICINA	ÁREA 20D OFICINA
Área m ² =	17.02	17.02	196.20	42.00	403.00	403.00
Marca	EATON CORALITE	EATON CORALITE	PHILIPS	PHILIPS	PHILIPS	PHILIPS
Modelo	BRG-WS-2L35-LD2-UNV-24-T1-STD	BRG-WS-2L35-LD2-UNV-24-T1-STD	5F-FB-X-80L-840-PP2-UNV-DIM	5F-FB-X-80L-840-PP2-UNV-DIM	5F-FB-X-80L-840-PP2-UNV-DIM	5F-FB-X-80L-840-PP2-UNV-DIM
NL =	1.83	1.83	14.05	3.01	28.85	28.85

	A22 COZY	A23 COZY	A24 ALMACENAJE	A25 COZY	A26 COZY	A27 COZY
Área m ² =	5.78	5.78	5.90	5.78	5.78	5.78
Marca	EATON CORALITE	EATON CORALITE	EATON CORALITE	EATON CORALITE	EATON CORALITE	EATON CORALITE
Modelo	BRG-WS-2L35-LD2-UNV-24-T1-STD	BRG-WS-2L35-LD2-UNV-24-T1-STD	BRG-WS-2L35-LD2-UNV-24-T1-STD	BRG-WS-2L35-LD2-UNV-24-T1-STD	BRG-WS-2L35-LD2-UNV-24-T1-STD	BRG-WS-2L35-LD2-UNV-24-T1-STD
NL =	0.62	0.62	0.63	0.62	0.62	0.62

	A28 ENTRENAMIE NTO A	A28 ENTRENAMIE NTO B	A28 ENTRENAMIE NTO C	A29 COCINA	A30 COCINA	A31 COCINA
Área m ² =	82.50	74.25	115.50	146.90	167.10	167.10
Marca	EATON CORALITE	EATON CORALITE	EATON CORALITE	EATON CORALITE	PHILIPS	PHILIPS
Modelo	BRG-WS- 2L35-LD2- UNV-24-T1- STD	BRG-WS- 2L35-LD2- UNV-24-T1- STD	BRG-WS- 2L35-LD2- UNV-24-T1- STD	BRG-WS- 2L35-LD2- UNV-24-T1- STD	5F-FB-X-80L- 840-PP2-UNV- DIM	5F-FB-X-80L- 840-PP2-UNV- DIM
NL =	5.91	5.32	8.27	15.78	11.96	11.96



	AREAS COMUNES	PARQUEO N1	PARQUEO N2
Área m ² =	477.00	2307.00	2307.00
Marca	EATON CORALITE	SYLVANIA	SYLVANIA
Modelo	BRG-WS-2L35- LD2-UNV-24- T1-STD	705 (48)	705 (48)
NL =	13.66	36.70	36.70

Fuente: Elaboración propia.







4.1.2 Catálogo de selección de luminarias

A continuación, se muestran los modelos de luminarias con tecnología LED utilizados en el proyecto, cada uno con su respectiva especificación, las fichas técnicas de estas luminarias se encuentran en el sitio web oficial de Eaton y en el sitio web oficial de Philips, en el cual se puede encontrar por medio de la descripción brindada en el catálogo.

Tabla 4 Catálogo de selección de luminarias LED

	DESCRIPCIÓN	NOMBRE PLANO	VOLTAJE	IRC	UBICACIÓN	IMAGEN
1	Luminaria para suspender de luz DIRECTA e INDIRECTA (20%/80%) de 1220mm de largo marca PHILIPS modelo 5F INDUSTRIAL LED clave 5F-FB-X-80L-840-PP2-UNV-DIM de 51w 6000 lúmenes, temperatura de color 4000°K ATENUABLE, de ALUMINIO color BLANCO - confirmar con Arquitectura. ACCESORIOS: Incluye kit de suspensión , tapas finales y driver. Tramos de 4.8mts	F-01	127-277 0-10V	85	OPEN OFFICE	
2	Luminaria para empotrar en PLAFÓN de luz DIRECTA de 600X1200mm marca EATON modelo CORELITE clave BRG-WS-2L35-LD2-UNV-24-T1-STD de 39w 4000 lúmenes, temperatura de color 4000°K ATENUABLE, de ALUMINIO color BLANCO - confirmar con Arquitectura. ACCESORIOS: Driver incluido.	F-02	127-277 0-10V	85	CONFERENCE	

3	Luminaria para suspender de luz DIRECTA de Ø 10 1/2" x 11" H marca ACUITYBRANDS modelo INDY clave SIMCOE LED clave SMCO-L-CH-15LM-35KM-VOLT-80CRI-G10-FGC-XX-XXX-STEM de 15w 1500 lúmenes, temperatura de color 3500°K 0-10V color - confirmar con Arquitectura. ACCESORIOS: HANG STRAIGHT KIT clave HSK-3/4-24IN-XXXX, confirmar color con arquitectura CONFIRMAR COLOR CON ARQUITECTURA	F-03	127-277 0-10V	80	PASILLOS Y CIRCULACIÓN	
	Luminaria para suspender de luz DIRECTA de 142 mmØ x 290mm H marca EATON modelo PORTFOLIO clave LSR4B-20D010P+EC4B20408035+4LBM0WH de 28w 2000 lúmenes, temperatura de color 3500°K ATENUABLE de ALUMINIO color BLANCO - confirmar con Arquitectura. ACCESORIOS: Incluye kit de suspensión , tapas finales y driver.	F-03B	127-277 0-10V	80	DIY	
4	Luminaria de sobreponer en PLAFÓN de luz DIRECTA de 1180mm x 65mm marca EATON modelo METALUX serie 4SLSTP204ODD-UNV de 23w 2000 lúmenes, temperatura de color 4000°K ATENUABLE de ALUMINIO color BLANCO - confirmar con Arquitectura. ACCESORIOS: Incluye kit de suspensión , tapas finales y driver.	F-04	127-277 0-10V	83	BODEGAS	
5	Luminaria de empotrar en PLAFÓN de luz DIRECTA de 1120mm x 68mm marca EATON modelo NEO-RAY clave QS-S123-DR-LO-35-GYP-0048-1-U-DD-1-W de 28w 1740lúmenes, temperatura de color 3500°K ATENUABLE de ALUMINIO color BLANCO - confirmar con Arquitectura. ACCESORIOS: Driver incluido. TRAMOS CONTINUOS.	F-05	127-277 0-10V	85	CAFETERÍA, PANTRY	
6	Luminaria de empotrar en PLAFÓN de luz DIRECTA de 1200mm x 97mm marca EATON modelo NEO-RAY clave PDR-23XR-1-L35-ETG-4-UNV-STD-1-C-W de 28w 2193 lúmenes, temperatura de color 3500K ATENUABLE de ALUMINIO color BLANCO - confirmar con Arquitectura. ACCESORIOS: Incluye kit de suspensión , tapas finales y driver. Luminario modificado para suspender.	F-06	127-277 0-10V	85	MUROS GRÁFICOS	
7	Luminaria de empotrar en PLAFÓN de luz DIRECTA de 4800mm x 97mm marca EATON modelo NEO-RAY clavePDR67591- 23XR-1-L35-ETG-16FT-UNV-STD-1-C-W de 112w 8772 lúmenes, temperatura de color 3500K ATENUABLE de ALUMINIO color BLANCO - confirmar con Arquitectura. ACCESORIOS: Incluye kit de suspensión , tapas finales y driver. Luminario modificado para suspender.	F-06A	127-277 0-10V	85	MUROS MULTIPURPOSE	
8	Luminaria de empotrar en PLAFÓN de luz DIRECTA de 6000mm x 97mm marca EATON modelo NEO-RAY clavePDR67592- 23XR-1-L35-ETG-20FT-UNV-STD-1-C-W de 140w 10965 lúmenes, temperatura de color 3500K ATENUABLE de ALUMINIO color BLANCO - confirmar con Arquitectura.	F-06B	127-277 0-10V	85	MURO LARGE CONFERENCE	

	ACCESORIOS: Incluye kit de suspensión , tapas finales y driver. Luminario modificado para suspender.					
9	Luminaria de empotrar en PLAFÓN de luz DIRECTA de 6000mm x 97mm marca EATON modelo NEO-RAY clave PDR67593- 23XR-1-L35-ETG-20FT-UNV-STD-1-C-W de 140w 10965 lúmenes, temperatura de color 3500K ATENUABLE de ALUMINIO color BLANCO - confirmar con Arquitectura. ACCESORIOS: Incluye kit de suspensión , tapas finales y driver. Luminario modificado para suspender.	F-06C	127-277 0-10V	85	MURO AREA ABIERTA	
10	Luminaria de empotrar en PLAFÓN de luz DIRECTA de 3600mm x 97mm marca EATON modelo NEO-RAY clave PDR67594- 23XR-1-L35-ETG-12FT-UNV-STD-1-C-W de 84w 6579 lúmenes, temperatura de color 3500K ATENUABLE de ALUMINIO color BLANCO - confirmar con Arquitectura. ACCESORIOS: Incluye kit de suspensión , tapas finales y driver. Luminario modificado para suspender.	F-06D	127-277 0-10V	85	MURO AREA ABIERTA	
11	Luminaria para sobreponer en PLAFÓN de luz DIRECTA de 1200mm x 43mm marca EATON modelo NEO-RAY clave S122-DS-LO-35-JB-0048-1-D-U-DD-1-W de 28w 1580 lúmenes, temperatura de color 3500°K ATENUABLE, de ALUMINIO color BLANCO - confirmar con Arquitectura. ACCESORIOS: tapas finales y driver.	F-07	127-277 0-10V	80	MULTIPURPOSE	
12	Luminaria para empotrar en PLAFÓN de luz DIRECTA de 144mmØ marca EATON modelo PORTFOLIO clave LDRT4B-10-D010-EU4B-1020-80-35-+4LB-M0H de 11w 1500 lúmenes, temperatura de color 3500K ATENUABLE, de ALUMINIO color APARENTE - confirmar con Arquitectura. ACCESORIOS: Incluye kit de suspensión , tapas finales y driver.	F-09	127-277 0-10V	80	BAÑOS	
13	Luminaria de empotrar en PLAFÓN de luz DIRECTA de 1212mm x 600mm marca EATON modelo FAIL-SAFE clave ENW-24-4-LD2-45-35-CA08-UNV-EDD1-GSK/GRD de 47w 4500 lúmenes, temperatura de color 4000°K ATENUABLE de ALUMINIO color BLANCO - confirmar con Arquitectura. ACCESORIOS: driver incluido.	F-10	127-277 0-10V	85	COCINA	
14	Luminaria lineal de 51x78x1800mm para SUSPENDER, marca HAND AND EYE STUDIO, modelo A-BEAM, TYPE 2, fabricación TERRACOTA acabado natural, 20w/m, 3000K. ACCESORIOS: kit de suspensión, driver dimeable.	D-01	0-250V DIM	0	PANTRY	

Fuente: Elaboración propia.

Para el proceso de especificación y escogencia de las luminarias a utilizar es importante tomar en cuenta que sean luminarias fáciles de integrar al sistema de control

de iluminación, de ahí a que tengan la posibilidad de ser dimeables, debe contar con baja brillantez esto para lograr un confort lumínico, y sin dejar de lado deben ser luminarias de alta eficiencia que cuenten con un alto índice de reproducción cromática.

Asimismo, deberán cumplir con los estándares de iluminación y certificaciones ya mencionadas en este documento, tales como la ASHRAE 90.1 (Sección 9.4.1.2 Control de espacio, Sección 9.4.1.3 Controles automáticos de luz diurna, Sección 9.4.1.4 Iluminación, Sección 9.4.9.6 Control de iluminación adicional), esto con el objetivo de crear un ambiente estimulante y confortable, el cual permita el desarrollo óptimo de las diversas tareas a realizar en la edificación.

4.1.3 Control de iluminación

Una de las mayores cargas de consumo de energía en un edificio de oficinas es la iluminación, de ahí la importancia de poder controlar estos sistemas de manera eficiente, hace muchos años se hablaba de sistemas de control encendido y apagado (on/off), los cuales en algunas ocasiones conllevaba a que las personas olvidaran apagar las luminarias y estas quedaban con un consumo constante por un largo periodo de tiempo. Debido a esto, se desea plantear la utilización de un sistema denominado Quantum, el cual pertenece a la marca Lutron y permite un control inteligente que, a su vez, disminuye los consumos de energía en el edificio presentado en este documento.

En este proyecto se plantean varias estrategias de ahorro, como primer paso es aprovechar la capacidad que tiene este sistema y las luminarias seleccionadas de ser atenuadas, lo cual permita reducir considerablemente la carga eléctrica, esto debido a que se quiere implementar una atenuación constante para que las luminarias trabajen a

un 80% de su carga; por otro lado, el tipo de sensores a utilizar son sensores de ocupación/vacancia, estos estarán ubicados en los sectores donde se pueda registrar la presencia de los individuos, cabe recalcar que estos sensores de la marca Lutron cuenta con una tecnología que permite detectar movimientos leves lo cual, hace que las luminarias no se estén apagando.

Este edificio cuenta con un perímetro de paredes de vidrio, por lo cual, la luz natural que entra a través de los cristales es un factor importante que se debe tomar en cuenta a la hora de proponer sensores, por este motivo, se instalan sensores de luz natural, los cuales ajustan los niveles de luz para reducir el consumo y brindar una iluminación uniforme en todo el espacio.

El sistema cuenta con la opción de definir un horario establecido, el cual el cliente desea implementar, aunque una vez que se analicen los datos de las mediciones reales se determinará si estos horarios se respetan o no, esto debido a que hay días en los cuales los empleados laboran hasta altas horas de la noche, así como los fines de semana. A pesar de esto, se pretende tener un horario establecido como parte de las solicitudes del cliente y utilizar la tecnología del sistema para realizar cambios preprogramados.

Como primer paso para el diseño de un sistema de control, se deberá definir las zonas del proyecto a controlar, esta delimitación de áreas se deberá realizar en conjunto con el cliente y es importante tener una reunión con el ingeniero de la marca para aclarar las delimitaciones y alcances del sistema propuesto. De la misma manera se debe tener el catálogo de luminarias a utilizar las cuales cumplan con los requerimientos de Lutron

y los horarios definidos. En la figura 12 se observa la demarcación de las zonas que se desean controlar en la planta arquitectónica, así como también el tipo de sensor que llevará cada zona, esto con el fin de definir la secuencia de operación de los módulos de control, los cuales dependen de la cantidad de luminarias, zonas y sensores que permiten el funcionamiento óptimo de cada recinto, ya que cada módulo cuenta con una limitante de salidas y entradas.



Figura 12 Zonas de Control de iluminación

Fuente: LUTRON

En la figura 13 se encuentra la descripción e implementación de diferentes equipos y estrategias de control para cada una de estas zonas descritas anteriormente, esto por medio de un código de colores, el cual se define basado en las zonas marcadas en las reuniones previas al diseño del sistema de control.

Color	Controles locales	Control Centralizado
	Atenuación en todos los luminarios Sensores de presencia Sensores de luz de día Programación por horario para encendido y apagado	Integrado al sistema centralizado
	Atenuación en todos los luminarios Sensores de presencia Programación por horario para encendido y apagado Control manual para seleccionar escenas predeterminadas, atenuación general y apagado general	Integrado al sistema centralizado
	Atenuación en todos los luminarios Sensores de presencia Programación por horario para encendido y apagado	Integrado al sistema centralizado
	Atenuación en todos los luminarios Sensores de presencia Sensores de luz de día Control manual para seleccionar escenas predeterminadas, atenuación general y apagado general	Control manual escenas
	Atenuación en todos los luminarios Sensores de presencia Control manual para seleccionar escenas predeterminadas, atenuación general y apagado general	Control manual escenas
	Atenuación en todos los luminarios Sensores de presencia Control manual para encendido y apagado general	Control manual escenas
	Atenuación en todos los luminarios Programación por horario para encendido y apagado	Integrado al sistema centralizado
	Atenuación en todos los luminarios Sensores de presencia Control manual para encendido y apagado general	Integrado al sistema centralizado
	Atenuación en todos los luminarios Sensores de presencia Control manual para encendido y apagado general	Integrado al sistema centralizado

Figura 13 Control de iluminación

Fuente: LUTRON

En este proyecto se tomó la decisión de implementar sensores inalámbricos, permitiendo a su vez una disminución en costos de mano de obra, cableado de sensores y el costo del cableado del control. Es fundamental recordar que la configuración del sistema es dada por el fabricante según lo acordado con el cliente, por lo que el fabricante muestra y define la topología del sistema a implementar, así como también el tipo de cableado que deberá tener cada zona. En el Apéndice 10 se muestran los diagramas del sistema de control de Lutron propuesto, estos son una guía para la construcción del sistema, por otro lado, el cableado de potencia de las luminarias son responsabilidad del diseñador de iluminación o consultor eléctrico encargado de la obra.



Seguidamente en el apéndice 11 se muestra el plano eléctrico del sistema de iluminación con el sistema de control implementado.

4.1.4 Catálogo de selección de equipos de control de iluminación

A continuación, se muestra el catálogo de equipos y accesorios de control de iluminación, los cuales son de la marca Lutron:

Tabla 5 Catálogo de selección de equipos de control de iluminación

	IMAGEN	MODELO	DESCRIPCION
Quantum Front End		QS-A-CMP-SBO-0	Servidor estándar para Quantum
		QS-LO	Red Ethernet exclusiva dedicada a Lutron
Paneles de procesador		QP3-1PL-100-240	Hub de gestión de iluminación con procesador One Quantum
Licencias		QSW-BAC-PP-A	Licencia de software Q-Admin BACnet
		QSW-QVS-L	La licencia del software Quantum Lights permite el control, monitoreo y programación de luces en un sistema Quantum.
		QSW-RPT-PP-A	Licencia del software Quantum Reporting
Paneles ESN		QSN-4T16-S	Nodo Energi Savr 0-10 V y Softswitch
QSMs		QSM2-4W-C	Entradas cableadas e inalámbricas del Módulo de sensor QsS
Controles		MS-Z101-WH	120- 277 V, 8 A Maestro 0-10 V Atenuador con XCT, ocupación PIR y sensor de desocupación, se requiere cable neutro, unipolar / multi-ubicación
		PJ2-3BRL-GWH-L01	Botón 3 con subir / bajar e ícono de luz - Teclado Pico
		PJ2-4B-GWH-L41	Botón 4 4 Alternar grupo - Teclado Pico
		QSWs2-5BRLI-WH	seeTouch QS Insertar el botón 5 con Subir / Bajar
Sensores		LRF2-DCRB-WH	Sensor de luz solar con montaje en el techo inalámbrico Radio Powr Savr
		LRF2-OCR2B-P-WH	Sensor inalámbrico de ocupación de techo Radio Powr Savr

		LRF2-OWLB-P-WH	Sensor inalámbrico de ocupación de pared Radio Powr Savr
EnergiTriPak		RMJ-5T-DV-B	Módulo de atenuación PowPak con control de 0-10 V.
Accesorios		CW-1-WH	Placa de pared Claro
		CW-2-WH	Placa de pared Claro -2 Gang
		PICO-WBX-ADAPT	Kit de adaptador de Wallbox de control inalámbrico Pico
Garantía y servicios		LSC-OS-PST-QTM	Lutron proporcionará una inspección previa al cableado, un técnico en el sitio durante el inicio y una visita para proporcionar capacitación del sistema al personal del sitio.
		LSC-B2	Garantía limitada de 2 años de Commercial Systems: una garantía de 2 años que brinda 100% de piezas de repuesto y cobertura de trabajo de diagnóstico 100% Lutron con un tiempo de respuesta disponible por primera vez.

Fuente: Elaboración propia.

Es importante recordar que esta cantidad de equipos es para un nivel típico, por lo cual estas cantidades se deberían multiplicar por los niveles que se tenga en la edificación para el caso de este proyecto son 4 niveles. Todos estos equipos de Lutron cuentan con la última tecnología en sistemas de control de iluminación, de ahí que sea la marca escogida para realizar el proyecto. Todos estos equipos y sus fichas técnicas se pueden descargar del sitio web oficial de Lutron.

4.1.5 Cálculo de factor de utilización

El primer tablero en el cual se realizó la medición fue el tablero denominado “L1”, el cual corresponde al centro de carga de iluminación. Cabe resaltar que en cada uno de estos tableros se instaló un equipo de medición de la marca Schneider, de la familia PowerLogic, en este caso se escogió el modelo PM5560 debido a que este cumple con todos los parámetros de medición solicitados por el cliente, tal como se muestra en la figura 14, la ficha técnica de este modelo se encuentra en el Apéndice 12.



Figura 14 Paneles de mediciones
Fuente: Circuito S.A. México

A continuación, en la figura 15 se observa el diagrama unifilar donde se muestra el punto donde se realizará la medición para el tablero de iluminación y aire acondicionado,

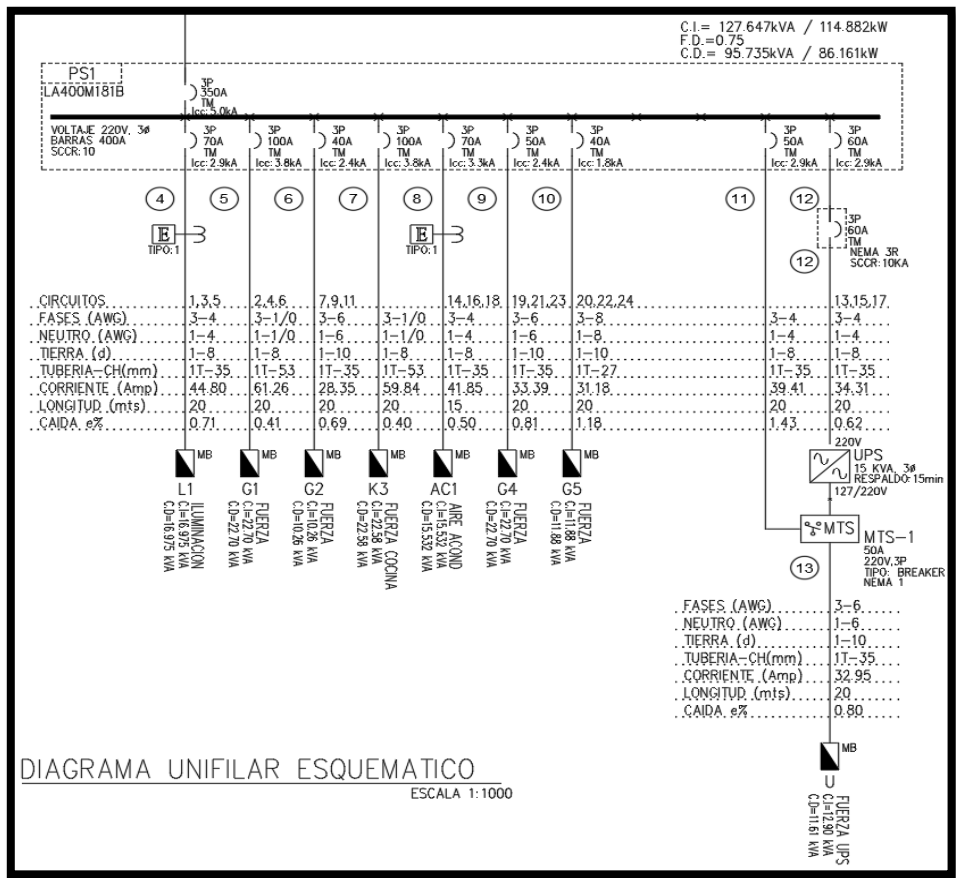


Figura 15 Diagrama unifilar eléctrico
Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la figura 16 se muestra un mapeo realizado con las mediciones obtenidas, las cuales se realizaron cada 15 minutos, el equipo de medición de energía FLUKE quedó conectado a la fase de mayor carga de la acometida eléctrica de la edificación durante los 31 días del mes de enero del 2018; esta medición se hizo basada en el artículo 220.87(1) del Código Eléctrico Nacional el cual, da los parámetros para la realización de este tipo de pruebas; este mapeo contiene los datos de consumo promedio en Kw por hora y día, lo cual va a permitir realizar la gráfica 1, la cual permite ver el comportamiento de cada día basados en las mediciones anteriormente mencionadas.

Figura 16 Mapeo de Consumo, medición cada 15 minutos tablero "L1"

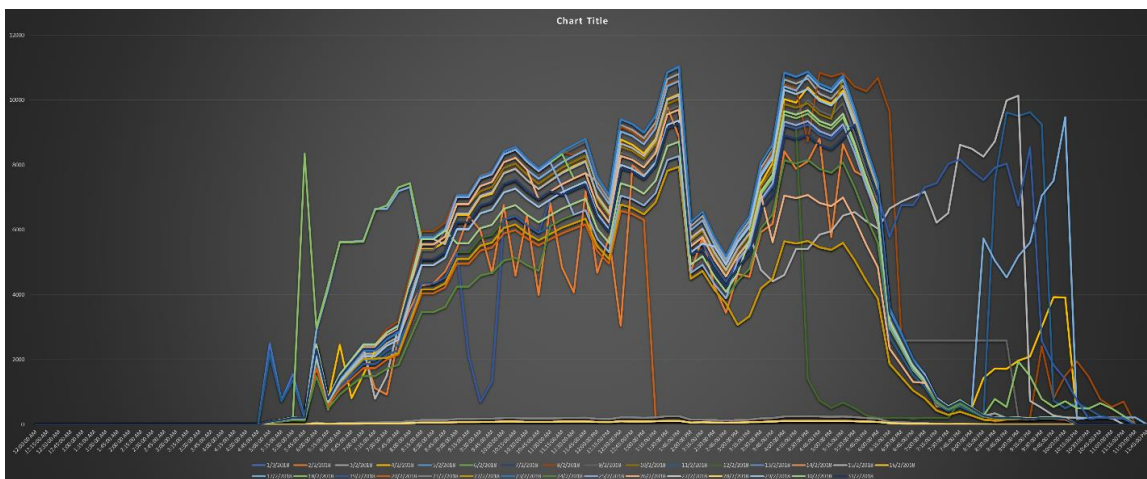
Fuente: Elaboración propia.

Se debe recordar que los valores expresados son un promedio de los Kw/h consumidos y medidos cada 15 minutos durante todo el mes de enero, el color verde representa los valores de consumo menores y va aumentando gradualmente hacia un color amarillo, de tal forma que cuando la edificación alcance los máximos valores de consumo las casillas se tornan de color rojo.

En este mapeo se puede observar cómo es el comportamiento de la edificación, dando un parámetro real de las horas en donde se tiene un mayor consumo. Según los datos brindados por el cliente, el horario que tendría la empresa es de lunes a viernes de 7:00am a 6:00pm. Sin embargo, analizando los datos reales se observa que desde las 5:30am comienza a darse un consumo de energía, creciendo conforme pasan las horas del día hasta alcanzar el valor al máximo que se da entre las 12:00md y 1:45pm, en estas horas la edificación se encuentra a plena carga, ya que son las horas donde se encuentran todos los empleados laborando y se programan reuniones y capacitaciones, dicho fenómeno se repite después de las 3:45pm hasta las 5:45pm donde comienza a decaer gradualmente el consumo de energía, ya que según la jornada establecida de trabajo la hora de salida es a las 6:00pm. Asimismo, observando la corriente de datos después de las 6:00pm, se dio una lectura de consumo que ronda entre los 2.7Kw/h a los 0.171Kw/h hasta llegar a los valores mínimos.

Este fenómeno también se da los fines de semana, ya que se observa que el sábado 13 y el fin de semana del 20 y 21 del mes de enero se registró un consumo de energía. Es importante entender el comportamiento de consumo de energía, que se da entre las 2:00pm y 3:15pm se debe a que la hora de almuerzo para dicha empresa es de 2:00pm

a 3:00pm según políticas internas, y se debe respetar ya que brindan el servicio de comedor.



Grafica 1 Mapeo de Consumo, medición cada 15 minutos tablero "L1"

Fuente: Elaboración propia.

La gráfica 1 es otra manera de representar las lecturas del mes de enero, con estos datos se podría calcular un factor de uso para cada uno de los tableros, el cual permita dar un parámetro real del uso de la edificación basados en mediciones reales contra la carga instalada; permitiendo usar estos factores de uso para los cálculos de carga y consumo que facilite la comparación entre tecnologías. Tomando como referencia los datos de la tabla 220.42 de Factores de demanda de cargas de iluminación del Código Eléctrico Nacional.

Type of Occupancy	Portion of Lighting Load to Which Demand Factor Applies (Volt-Amperes)	Demand Factor (%)
Dwelling units	First 3000 or less at	100
	From 3001 to 120,000 at	35
	Remainder over 120,000 at	25
Hospitals*	First 50,000 or less at	40
	Remainder over 50,000 at	20
Hotels and motels, including apartment houses without provision for cooking by tenants*	First 20,000 or less at	50
	From 20,001 to 100,000 at	40
	Remainder over 100,000 at	30
Warehouses (storage)	First 12,500 or less at	100
	Remainder over 12,500 at	50
All others	Total volt-amperes	100

Figura 17 Calculo de factor de demanda para iluminación

Fuente: NFPA 70 2008

Como se muestra en la figura 16 el factor a aplicar dependerá de la ocupación del recinto por lo cual al ser tipo comercial el Código Eléctrico Nacional menciona que el factor de demanda de este tipo de edificaciones debería ser al 100%.

Una vez realizado el mapeo, se puede observar que los máximos valores de consumo promedio por hora rondan los 5.98 Kw/h, y el tablero "L1" tiene una carga instalada de 15.27Kw (16.975 KVA) como se puede observar en la tabla 6, lo cual permite decir que el factor de uso de este tablero de iluminación sería 39% aproximadamente.

Tabla 6 Resumen de carga Voltiamperios (Iluminación LED)

CARGA FASE - A	5689
CARGA FASE - B	5649
CARGA FASE - C	5637
CARGA INSTALADA	16975
FACTOR DE USO	0.39
CARGA DEMANDADA	6620

Fuente: Elaboración propia

Esto para el sistema en el cual se está implementando la tecnología led y control de iluminación. Ahora bien, volviendo a la tecnología que se tenía implementada la cual era fluorescente T8, T5, y una variedad de luminarias tipo downlight se tenía una carga instalada de 19 749 VA, tal como muestra la tabla 7, y según la tabla 220.42 del Código Eléctrico Nacional se deberá manejar un factor de uso al 100%.

Tabla 7 Resumen de carga Voltiamperios ((Iluminación Convencional)

CARGA FASE - A	6934
CARGA FASE - B	6594
CARGA FASE - C	6221
CARGA INSTALADA	19749
FACTOR DE USO	0.81
CARGA DEMANDADA	15910

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, para este caso se utilizará 81%, ya que se tiene acceso a las mediciones de tableros de iluminación de diferentes tipos de oficinas pero con la distribución arquitectónica similar a la estudiada, esto debido a una base de datos con la que cuenta la empresa de consultores electromecánicos Circuito S.A. México y las consultas realizadas al experto en la materia el Ingeniero Luis Diego Vásquez Ulate, director de Circuito S.A. México, sobre las mediciones realizadas para estudios energéticos, y se observa que en sistemas on/off el factor de uso va de un 79% al 88%.

Seguidamente se realizó una filtración de datos, el cual permite ver el comportamiento diario del edificio, como se muestra en la tabla 8 y en la gráfica 2. Dicha filtración de datos se realizó con el objetivo de reconocer cuál fue la hora del día con el mayor consumo energético, y en dado caso realizar una revisión del porqué del elevado consumo que se puede dar en un día específico.

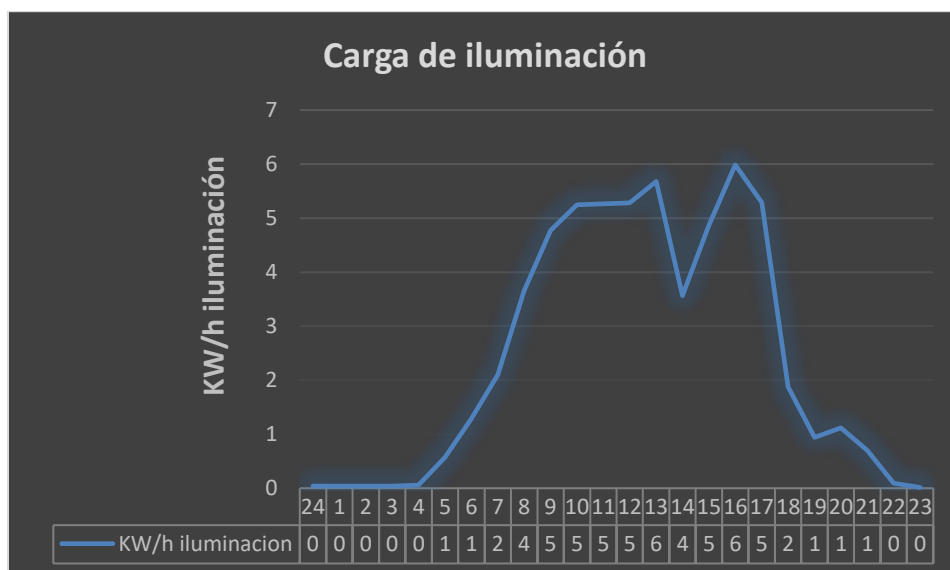
Tabla 8 Mapeo de Consumo, medición diaria tablero "L1"

HORAS	Suma de CONSUMO Kw	Kw/h MES	Kw/h DIAS	Kw/h iluminación
24	4.667210786	4.66721079	0.15055519	0.037638797
1	4.667210786	4.66721079	0.15055519	0.037638797
2	4.667210786	4.66721079	0.15055519	0.037638797
3	4.667210786	4.66721079	0.15055519	0.037638797
4	7.051003215	7.05100321	0.22745172	0.056862929
5	71.02480999	71.02481	2.2911229	0.572780726
6	159.0897855	159.089786	5.13192857	1.282982141
7	260.8282044	260.828204	8.41381305	2.103453261
8	452.8527651	452.852765	14.6081537	3.652038428
9	591.731489	591.731489	19.0881125	4.772028137
10	650.4688484	650.468848	20.9828661	5.245716519
11	652.9284624	652.928462	21.0622085	5.265552116
12	655.0103606	655.010361	21.1293665	5.282341618
13	704.0744744	704.074474	22.7120798	5.678019955
14	442.1632915	442.163292	14.263332	3.565832996
15	604.1066299	604.10663	19.4873106	4.87182766
16	742.1776751	742.177675	23.9412153	5.985303831
17	656.0255705	656.025571	21.1621152	5.290528795
18	233.0028502	233.00285	7.51622097	1.879055244
19	116.7098717	116.709872	3.76483457	0.941208643
20	138.9431183	138.943118	4.48203607	1.120509019
21	86.79702573	86.7970257	2.79990406	0.699976014
22	11.72014847	11.7201485	0.37806931	0.094517326
23	1.844518496	1.8445185	0.0595006	0.014875149

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8 se puede observar los Kw/h por día y por mes, de igual manera, se utilizaron colores que varían gradualmente para ejemplificar las horas con mayor consumo eléctrico y poder definir un promedio de consumo diario, el cual defina el consumo mensual del edificio. De esta manera, el color verde representa las horas de

menor consumo, y aumenta gradualmente hasta el color rojo mostrando las horas de mayor consumo.



Grafica 2 Mapeo de Consumo, medición diaria tablero "L1"

Fuente: Elaboración propia.

Una vez interpretado los valores de la tabla y de la gráfica, es importante recalcar que dan el valor de consumo energético en Kw/h, esto debido a que las mediciones se realizaron cada 15 minutos diariamente, y que al realizar la sumatoria de los 31 días del mes enero que se tomaron como parámetro de mediciones como referencia, se tiene como resultado un consumo total en iluminación de 1814Kw/mes, esto debido a que el consumo promedio por día es de 58.52Kw/hr. Dicho dato es importante, ya que permitirá definir cuanto será el ahorro entre la tecnología convencional y la tecnología LED propuesta.

Cabe recalcar que el factor de utilización con la tecnología LED ronda el 39%, esto tomado mediante mediciones en el edificio luego de la implementación del cambio de iluminación y un sistema de control. Ahora bien, como referencia para los cálculos del

factor de utilización de un sistema convencional se tomaron los valores de edificios con una distribución similar, pero con sistema de control on/off y se tomó la decisión de utilizar un factor de utilización que ronda el 80.56%, como se mostró en la tabla 7, esto debido a que las cargas de iluminación pasan encendidas un mayor tiempo. De igual manera, por medio de la Tabla G-G de la ASHRAE 90.1 para edificios con ocupación de oficinas y reuniones con el cliente se definió que el horario laboral sería de 7:00am a 6:00pm, por lo cual se establece que las horas de uso según el horario que tiene la edificación sería de alrededor de 11 horas diarias, lo cual permite definir el consumo Kw/hr promedio por día que tiene el tablero de iluminación, el cual tiene implementado una tecnología convencional dando un consumo de 6027.95 Kw/mes.

Los valores de costo de energía que se utilizaron para realizar el cálculo del ahorro anual se basan en las tarifas vigentes de CNFL, ya que la edificación se situará en la provincia de San José, es importante recalcar que el tipo de tarifa es TMT, esto debido a la ocupación del local y el consumo que se tiene.

Tabla 9 Tarifa eléctrica vigente

Periodo	Consumo de energía por cada KWh
Energía Punta	₡61.49
Energía Valle	₡30.76
Energía Noche	₡22.14

Fuente: Tarifas vigentes según CNFL

4.1.6 Presupuesto de la propuesta con luminarias con tecnología LED

A continuación, se presenta la tabla 10 la cual contiene la cantidad de luminarias y el precio unitario, el cual permita brindar un presupuesto para la implementación de luminarias con tecnología LED. En el apéndice 10 se encuentra el correo con la cotización brindada por el asesor de ventas de EATON.

Tabla 10 Presupuesto de luminarias con tecnología LED

TIPO	W	MARCA	UBICACIÓN	CLAVE	TOTAL UTS	TOTAL W	PRECIO UNITARIO	TOTAL
F-01	51 W	PHILIPS	OPEN OFFICE	5F-4-40L-840-PP2-UNV-DIM	164	8364 W	\$408.00	\$66,912.00
F-02	39 W	EATON	CONFERENCE	BRG-WS-2L35-LD2-UNV-24-T1-STD	53	2067 W	\$192.94	\$10,225.82
F-03	15 W	ACUITY BRANDS	PASILLOS Y CIRCULACIÓN	SMCO-L-CH-15LM-35KM-VOLT-80CRI-G10-FGC-XX-XXX-STEM	55	825 W	\$75.00	\$4,125.00
F-03B	21 W	EATON	DIY	LSR4B-20D010P+EC4B20408035+4LBM0WH	8	170 W	\$198.76	\$1,590.08
F-04	23 W	EATON	BODEGAS	4SLSTP204ODD-UNV	24	552 W	\$69.41	\$1,665.84
F-05	28 W	EATON	CAFETERÍA, PANTRY	S123-DR-20-35-GYP-00XX-1-U-DD-1-W - LONGITUD FINAL EN EL PLANO	36	1008 W	\$232.90	\$8,384.40
F-06	28 W	EATON	MUROS GRÁFICOS	PDR-23XR-1-L35-ETG-4-UNV-STD-1-C-W	17	476 W	\$620.00	\$10,540.00
F-07	28 W	EATON	MULTIPURPOSE	S122-DS-LO-35-JB-0048-1-D-U-DD-1-W	14	392 W	\$444.71	\$6,225.94
F-09	11 W	EATON	BAÑOS	LDRT4B-10-D010-EU4B-1020-80-35-+4LB-M0H	27	297 W	\$108.94	\$2,941.38
F-10	47 W	EATON	COCINA	ENW-24-4-LD2-45-35-CA08-UNV-EDD1-GSK/GRD	16	752 W	\$373.53	\$5,976.48
D-01	36 W	HAND AND EYE STUDIO	PANTRY	TYPE 2	2	72 W		
						TOTAL		\$15,143.80
						MANO DE OBRA	50%	\$7,571.90
						PREVISTOS	2%	\$302.88
						TOTAL		\$23,018.58
Tipo de cambio según BAC San José, consultado el 10 de junio de 2018					₡571			₡3,367,530.26

Fuente: Elaboración propia.

Los precios han sido consultados con el fabricante directamente, ya que se tiene la posibilidad de solicitar estos datos por medio de la empresa Circuito, ya que estos precios podrían variar con respecto a su valor en el mercado, esto debido a que son precios de lista el cual brindan a consultores electromecánicos. Asimismo, el porcentaje de mano de obra es un porcentaje estimado y contempla la instalación de luminarias y su cableado, el mismo fue facilitado por diferentes constructoras electromecánicas y se escogió el valor más conveniente para dicha propuesta.

4.1.7 Presupuesto de la propuesta con control de iluminación

En la tabla 11 se muestra el presupuesto de la implementación de un sistema de control de iluminación, en el cual se detalla cantidad y precio unitario de cada uno de los equipos y accesorios utilizados en la propuesta de cada nivel.

Tabla 11 Presupuesto de sistema de control

LISTA DE EQUIPOS						
	Image	MODELO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Quantum Front End		QS-A-CMP-SBO-0	Servidor estándar para Quantum	1	\$2,500.00	\$2,500.00
		QS-LO	Red Ethernet exclusiva dedicada a Lutron	1	\$95	\$95
Paneles de procesador		QP3-1PL-100-240	Hub de gestión de iluminación con procesador One Quantum	1	\$1,000.00	\$1,000.00
Licencias		QSW-BAC-PP-A	Licencia de software Q-Admin BACnet	1	\$500.00	\$500.00
		QSW-QVS-L	La licencia del software Quantum Lights permite el control, monitoreo y programación de luces en un sistema Quantum.	1	\$1,000.00	\$1,000.00

		QSW-RPT-PP-A	Licencia del software Quantum Reporting	1	\$1,000.00	\$1,000.00
Paneles ESN		QSN-4T16-S	Nodo Energi Savr 0-10 V y Softswitch	9	\$600.00	\$5,400.00
QSMs		QSM2-4W-C	Entradas cableadas e inalámbricas del Módulo de sensor QSS	7	\$129.00	\$903.00
Controles		MS-Z101-WH	120- 277 V, 8 A Maestro 0-10 V Atenuador con XCT, ocupación PIR y sensor de desocupación, se requiere cable neutro, unipolar / multi-ubicación	13	\$118.68	\$1542.84
		PJ2-3BRL-GWH-L01	Botón 3 con subir / bajar e ícono de luz - Teclado Pico	12	\$50.00	\$600.00
		PJ2-4B-GWH-L41	Botón 4 4 Alternar grupo - Teclado Pico	7	\$65.00	\$455.00
		QSWS2-5BRLI-WH	seeTouch QS Insertar el botón 5 con Subir / Bajar	1	\$139.99	\$139.99
Sensores		LRF2-DCRB-WH	Sensor de luz solar con montaje en el techo inalámbrico Radio Powr Savr	7	\$185.00	\$1295.00
		LRF2-OCR2B-P-WH	Sensor inalámbrico de ocupación de techo Radio Powr Savr	45	\$85.00	\$3,825.00
		LRF2-OWLB-P-WH	Sensor inalámbrico de ocupación de pared Radio Powr Savr	4	\$122.00	\$488.00
EnergiTriPak		RMJ-5T-DV-B	Módulo de atenuación PowPak con control de 0-10 V.	10	\$80.00	\$800.00
Accesorios		CW-1-WH	Placa de pared Claro	30	\$46.00	\$1,380.00
		CW-2-WH	Placa de pared Claro -2 Gang	1	\$50.00	\$50.00
		PICO-WBX-ADAPT	Kit de adaptador de Wallbox de control inalámbrico Pico	19	\$15.00	\$285.00
Garantía y servicios		LSC-OS-PST-QTM	Lutron proporcionará una inspección previa al cableado, un técnico en el sitio durante el inicio y una visita para proporcionar	1	\$600.00	\$600.00

			capacitación del sistema al personal del sitio.			
		LSC-B2	Garantía limitada de 2 años de Commercial Systems: una garantía de 2 años que brinda 100% de piezas de repuesto y cobertura de trabajo de diagnóstico 100% Lutron con un tiempo de respuesta disponible por primera vez.	1	\$1000.00	\$1000.00
			TOTAL			\$24,858.83
			MANO DE OBRA		20%	\$4,917.166
			PREVISTOS		2%	\$491.71
			TOTAL			\$29,994.706
			Tipo de cambio según BAC San José, consultado el 10 de junio de 2018		₡571	₡17,126,977.13

Fuente: Elaboración propia

Los precios han sido consultados directamente con personal encargado de distribución de productos Lutron, ya que se tiene la posibilidad de solicitar estos datos por medio de la empresa Circuito S.A. México. Es importante recalcar que estos precios podrían variar con respecto a su valor en el mercado, esto debido a que son precios de lista el cual brindan a consultores electromecánicos. Asimismo, el porcentaje de mano de obra es un porcentaje estimado y contempla la instalación de equipos del sistema de control de iluminación y su respectivo cableado, el mismo fue facilitado por diferentes constructoras electromecánicas y se escogió el valor más conveniente para dicha propuesta.

4.1.8 Cálculo de retorno de inversión

Para el cálculo de retorno de la inversión, se deberá contemplar el costo de la iluminación con tecnología led y se deberá agregar el costo del sistema de control de iluminación el cual sería implementado en la edificación como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12 Presupuesto final de iluminación

Costo sistema Iluminación LED=	₡	13,367,530.26
Costo sistema CONTROL=	₡	17,126,977.13
TOTAL	₡	30,494,507.39

Fuente: Elaboración propia

El costo de esta implementación contempla costo de luminarias, sistema de control, accesorios, licencias y mano de obra. Es de suma importancia definir el ahorro anual que se podría obtener para poder realizar el análisis de retorno de inversión.

En la tabla 13 se puede observar el ahorro anual en consumo energético que se podría tener con la implementación de la propuesta de iluminación con tecnología LED y sistema de control de iluminación contra un sistema convencional con luminarias fluorescentes y sistema de control on/off. Para el cálculo del ahorro mensual y el acumulado anual se deberá tomar en cuenta un porcentaje del 2% de aumento de la facturación eléctrica, este porcentaje es un promedio de los aumentos anuales de los Kw/h facturados por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) de los últimos 2 años, dichos datos fueron tomados del sitio web oficial de la ARESEP.

Tabla 13 Ahorro anual

Año	Iluminación Actual	Iluminación LED	Ahorro anual (₡)
0			-₡30,494,507.39
1	₡12,937,188.04	₡3,560,775.41	₡9,376,412.63
2	₡13,195,931.80	₡3,631,990.92	₡9,563,940.88
3	₡13,459,850.44	₡3,704,630.74	₡9,755,219.70
4	₡13,729,047.44	₡3,778,723.35	₡9,950,324.09
5	₡14,003,628.39	₡3,854,297.82	₡10,149,330.57
6	₡14,283,700.96	₡3,931,383.78	₡10,352,317.18
7	₡14,569,374.98	₡4,010,011.45	₡10,559,363.53
8	₡14,860,762.48	₡4,090,211.68	₡10,770,550.80
9	₡15,157,977.73	₡4,172,015.92	₡10,985,961.81
10	₡15,461,137.28	₡4,255,456.23	₡11,205,681.05
11	₡15,770,360.03	₡4,340,565.36	₡11,429,794.67
12	₡16,085,767.23	₡4,427,376.67	₡11,658,390.56

13	₡16,407,482.57	₡4,515,924.20	₡11,891,558.38
14	₡16,735,632.23	₡4,606,242.68	₡12,129,389.54
15	₡17,070,344.87	₡4,698,367.54	₡12,371,977.33
16	₡17,411,751.77	₡4,792,334.89	₡12,619,416.88

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se realiza el análisis del retorno de inversión, para lo cual se toma como referencia, para el cálculo del factor de descuento, el interés de los préstamos para inversiones LEED, el cual según el BAC San José (consultado 06-10-2018) es de un 5.9%.

Tabla 14 Retorno de inversión de la propuesta de iluminación LED y control de iluminación

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Inversión	- ₡30,494,507.39								
Ahorro		₡9,376,412.63	₡9,563,940.88	₡9,755,219.70	₡9,950,324.09	₡10,149,330.57	₡10,352,317.18	₡10,559,363.53	₡10,770,550.80
Gastos		₡0.00	₡0.00	₡0.00	₡0.00	₡0.00	₡0.00	₡0.00	₡0.00
Flujos	- ₡30,494,507.39	₡9,376,412.63	₡9,563,940.88	₡9,755,219.70	₡9,950,324.09	₡10,149,330.57	₡10,352,317.18	₡10,559,363.53	₡10,770,550.80
Tasa de descuento	5.9%								
Aumento anual eléctrico	2.0%								
Factor de Descuento (%)	100.00%	94.43%	89.17%	84.20%	79.51%	75.08%	70.90%	66.95%	63.22%
Valor Presente	- ₡30,494,507.39	₡8,854,025.14	₡8,527,956.23	₡8,213,895.52	₡7,911,400.78	₡7,620,046.08	₡7,339,421.15	₡7,069,130.85	₡6,808,794.59
Ahorro Acumulado	- ₡30,494,507.39	- ₡21,640,482.24	- ₡13,112,526.02	- ₡4,898,630.50	₡3,012,770.28	₡10,632,816.36	₡17,972,237.51	₡25,041,368.37	₡31,850,162.96

Año	9	10	11	12	13	14	15	16
Inversión								
Ahorro	₡10,985,961.81	₡11,205,681.05	₡11,429,794.67	₡11,658,390.56	₡11,891,558.38	₡12,129,389.54	₡12,371,977.33	₡12,619,416.88
Gastos	₡0.00	₡0.00	₡0.00	₡0.00	₡0.00	₡0.00	₡0.00	₡0.00
Flujos	₡10,985,961.81	₡11,205,681.05	₡11,429,794.67	₡11,658,390.56	₡11,891,558.38	₡12,129,389.54	₡12,371,977.33	₡12,619,416.88
Factor de Descuento (%)	59.69%	56.37%	53.23%	50.26%	47.46%	44.82%	42.32%	39.96%
Valor Presente	₡6,558,045.78	₡6,316,531.35	₡6,083,911.21	₡5,859,857.83	₡5,644,055.70	₡5,436,200.95	₡5,236,000.92	₡5,043,173.69
Ahorro Acumulado	₡38,408,208.74	₡44,724,740.09	₡50,808,651.30	₡56,668,509.13	₡62,312,564.82	₡67,748,765.78	₡72,984,766.69	₡78,027,940.38

Fuente: Elaboración propia.

Fundamentado en el cálculo anteriormente mostrado, se puede determinar que la inversión realizada en el sistema de iluminación propuesto se recupera entre el año 3 y 4, a continuación, se presenta la ecuación con la cual se puede obtener el número de meses en los que se recupera la inversión:

$$\text{Fraccion Retorno Año 3 (meses)} = \frac{4,898,630.50 \times 12}{7,620,046.78} \sim 8 \text{ meses}$$

De esta manera, se explica que la recuperación de la inversión se daría aproximadamente en 3 años y 8 meses. Finalmente, se realiza el cálculo del VAN y el TIR para el proyecto, el cual da como resultado los siguientes datos:

VAN=	€78,027,940.38	TIR=	32%
------	----------------	------	-----

4.2 Sistema inteligente de control de receptáculos

Uno de los grandes problemas que se encuentran a nivel de oficina es el alto consumo que se tiene por cargas en standby, es decir, dispositivos que al estar conectados a receptáculos de forma constante se mantienen en constante consumo, por lo cual, actualmente en el mercado existe gran cantidad de equipos que permite apagar de manera temporal la alimentación de circuitos que no se están utilizando. Para este proyecto, se propone utilizar los mismos sensores de presencia del sistema de control de iluminación y de esta manera, implementar un control de cargas.

Según la tabla 220.44 del Código Eléctrico Nacional, la cual es aplicada para el factor de demanda para cargas de receptáculos, menciona que se deben usar los primeros 10 KVA al 100% y a partir de este valor al 50%.

Tabla 15 Factores de demanda para receptáculos (Tabla 220.44)

Portion of Receptacle Load to Which Demand Factor Applies (Volt-Amperes)	Demand Factor (%)
First 10 kVA or less at	100
Remainder over 10 kVA at	50

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, según el criterio de la tabla 15, se calcula que para el tablero G3, el cual solamente contempla las cargas de receptáculos y tiene una carga instalada de 42.48Kw (47.2 KVA), el factor de uso sería de 0.60 como se muestra en la tabla 16 donde se expone un resumen de cargas del tablero G3.

Tabla 16 Resumen de carga Voltiamperios (Tablero con control de cargas)

CARGA FASE - A	15880
CARGA FASE - B	15946
CARGA FASE - C	15380
CARGA INSTALADA	47206
FACTOR DE USO	0.60
CARGA DEMANDADA	28324

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, al tener las mediciones reales de un tablero con este tipo de sistema se puede observar que el comportamiento de consumo energético se reduce considerablemente, ya que se habla de factores de uso que ronda en el 43%, y esto a su vez, se refleja en la disminución de la carga demandada del tablero de receptáculos, la cual sería 18.18Kw (20.2 KVA).

Para este tipo de aplicación existen dos opciones, la primera propuesta incluye el sistema de Powerlink de Schneider Electric, el cual cuenta con breakers motorizados que

son programables; y la segunda opción, la cual se desea implementar, es por medio el sistema de control de iluminación de Lutron, el cual permitirá, de igual manera, controlar los circuitos de receptáculos por medio de los sensores de presencia ubicados en los diferentes recintos del proyecto. Ahora bien, cabe recalcar que no todos los circuitos pueden conectarse a este sistema, por lo cual en el plano adjunto en el Apéndice 14 referente a la disciplina de contactos, se marcan las zonas que se podrían controlar por medio de este sistema.

Finalmente, con respecto al tema de presupuesto, en la sección 4.1 se encuentran los precios de estos paneles de control, así como también de los sensores del sistema.

4.3 Sistema de aire acondicionado

Durante los últimos años, los fabricantes de sistemas de aire acondicionado se han enfocado en el desarrollo de equipos que permitan realizar la función de acondicionamiento de espacios, tomando como finalidad cumplir con el confort deseado de las personas, de esta manera, tener las condiciones óptimas en los lugares de trabajo. Para el presente escrito, se establece que la ocupación del edificio es de oficinas.

Ahora bien, es importante destacar el compromiso que tienen estos fabricantes con el medio ambiente, y de esto, que se desarrollen equipos con una eficiencia cada vez mayor y consumos energéticos menores.

Para realizar la escogencia de una nueva tecnología en sistemas de aire acondicionado es importante conocer la ocupación de la obra, este factor influirá en la determinación de horarios de ocupación establecidos con el cliente; de lo contrario, de no tener un horario establecido por medio del cliente se puede tomar en consideración la Tabla G-G de la norma ASHRAE 90.1, la cual se encuentra en el Apéndice 8.

4.3.1 Cálculo de carga térmica

Para una adecuada selección de equipos de enfriamiento es importante calcular cuidadosamente la carga térmica de los recintos, esto para mantener las condiciones de temperatura y humedad óptimas de un recinto para que permanezca confortable para las personas en el mismo. Es importante recordar que la carga térmica se basa en principios de transferencia de calor, así como también, como primer paso se deberá definir todas las condiciones iniciales de diseño como condiciones de temperatura y humedad en interiores y exteriores.

Como primer paso para la obtención de la carga térmica del recinto es importante establecer las siguientes condiciones de diseño para el cálculo el cual será realizado por medio de método CLTD (Cooling load temperature difference):

- Temperatura de diseño exterior: 95°F.
- Humedad relativa exterior: 80%.
- Temperatura de diseño interior: 75°F, según recomendaciones de la ASHRAE.
- Humedad relativa interior: 50%.
- Variación diaria de temperatura: 40°F (valor asumido).
- Mes de diseño: Enero.
- Ocupación: Oficinas.

Una vez establecidos los parámetros de diseño, se realizó el ejercicio para el área “A1 Sala Conferencia”. Es importante, antes de comenzar el desarrollo de los cálculos, tener claro la distribución de cada recinto, la cual se puede observar en la figura 18.

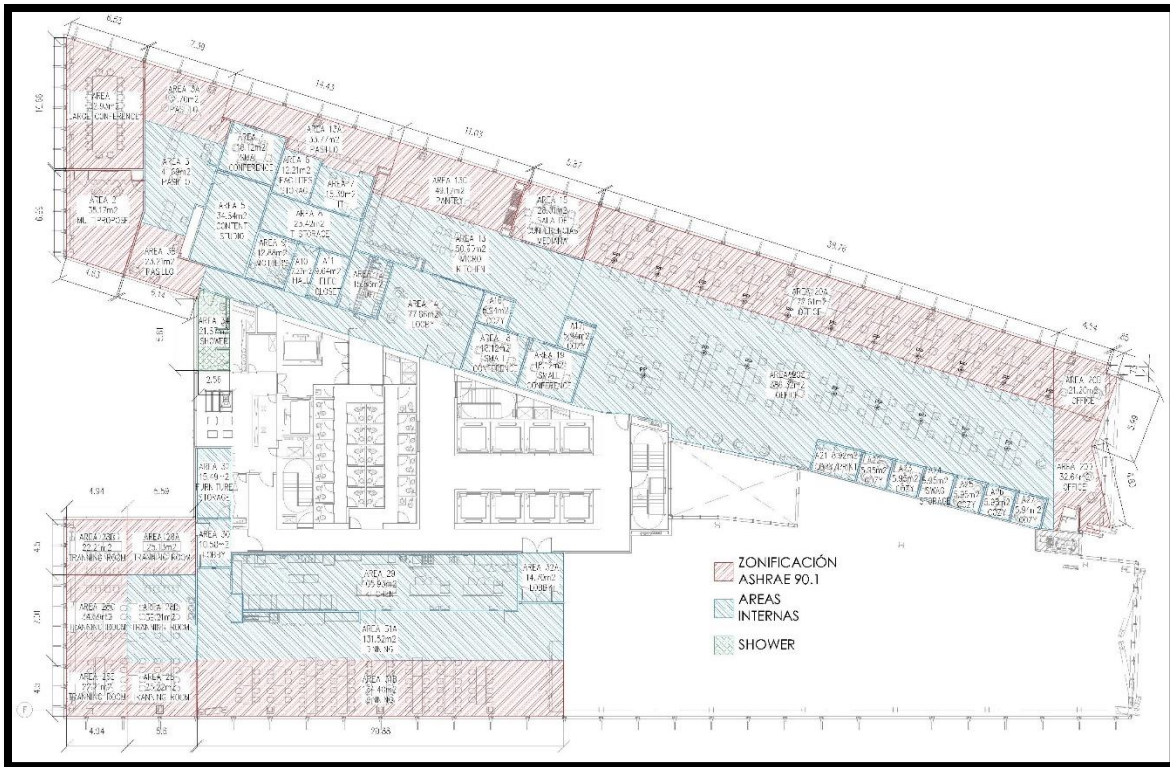


Figura 18 Sectorización para carga térmica

Fuente: Elaboración propia.

Como primer paso se calculó la ganancia de calor solar, donde:

Área de cristal: 45 m² (484.2 pie²)

Factor Solar a través del vidrio: 93 Btu/hr*pie² (Valor para el mes de enero a las 10:00am dirección este. Ver tabla 4)

Coefficiente de sombra: 0.64 (Datos tomados de la tabla 6 y 7)

$$\text{Ganancia de calor solar} = 484.2 * 93 * 0.64$$

Por lo tanto, según el resultado obtenido de la sustitución de los valores en la ecuación se obtiene que la ganancia de calor solar para este recinto es de 28819.584 Btu/hr.

Del mismo modo, para la ganancia por transmisión de cristales se tiene que:

Área de cristal: 45 m² (484.2 pie²)

Factor de sombreado U: 0.64 (Datos tomados de las tablas 12, 13 y 14)

CLDT: 14 (Datos tomados de la tabla 15)

$$\text{Ganancia por transmisión de cristales} = 484.2 * 0.64 * 14$$

Por lo tanto, según el resultado obtenido de la sustitución de los valores en la ecuación se obtiene que la ganancia transmisión de cristales para este recinto es de 4338.432 Btu/hr

Seguidamente, se realiza el cálculo de ganancia de paredes, puertas exteriores y techos, donde:

Área de paredes: 17.01 m² (183.03 pie²) y 23.62 m² (254.15 pie²)

Coefficiente de pared: 0.49 (Datos tomados de las tablas 16 y 17)

CLDT: 15 (Datos tomados de la tabla 22)

$$\text{Ganancia por transmisión de pared A} = 183.03 * 0.49 * 15$$

$$\text{Ganancia por transmisión de pared B} = 254.15 * 0.49 * 15$$

Área de puerta: 1.68 m² (18.08 pie²)

Coefficiente de puerta: 0.51 (Datos tomados de la tabla 16)

CLDT: 18 (Datos tomados de la tabla 23)

$$\text{Ganancia por transmisión de pared A} = 18.08 * 0.51 * 18$$

Área de techo: 60.60m² (652.056 pie²)

Coefficiente de puerta: 0.36 (Datos tomados de la tabla 16)

CLDT: 49 (Datos tomados de la tabla 23)

$$\text{Ganancia por transmisión de pared A} = 652.056 * 0.36 * 49$$

Entonces, a partir del resultado de estas ecuaciones, se tiene que para la pared A hay una ganancia por transmisión de 1345 Btu/hr, y para la pared B hay una ganancia por

transmisión de 1868 Btu/hr. Así como, para la puerta se tiene esta ganancia de 138 Btu/hr, y a su vez, para el techo se tiene 11502 Btu/hr.

Posteriormente, se calcula la ganancia interna del local, donde dependerá del número de personas dentro del recinto. Así:

Calor sensible QS: 230 Btu/hr (Datos tomados de la tabla 28)

Calor latente QL: 190 Btu/hr (Datos tomados de la tabla 28)

Cantidad de personas: 10 personas

$$\text{Calor de los ocupantes QS} = 230 * 10$$

$$\text{Calor de los ocupantes QL} = 190 * 10$$

De esta manera, se tiene el calor sensible del total de ocupantes es de 2300 Btu/hr y el calor latente del total de ocupantes es de 1900 Btu/hr.

El siguiente paso por seguir es el cálculo de la carga térmica por ventilación, para lo cual se utilizan los siguientes valores:

Cantidad de personas: 10 personas

Área de piso: 60.60m² (652.056 pie²)

Cantidad de CFM por persona: 15 CFM por persona (Datos tomados de la tabla 31)

$$\text{Carga térmica por ventilación (ocupantes)} = \frac{15}{10}$$

$$\text{Carga térmica por ventilación (área)} = \frac{15}{652.06}$$

Realizando la sumatoria de las cargas vistas en los diferentes puntos, se logra definir la cantidad de toneladas de refrigeración que se debe contemplar para el recinto "A1 Sala Conferencia". A continuación, se muestran las tablas con el resumen de datos obtenidos a partir de las ecuaciones anteriormente descritas para cada uno de los

diferentes recintos del proyecto, en el apéndice 15 se puede encontrar la memoria de cálculo, la cual contiene el procedimiento realizado para la obtención de la carga térmica:

Tabla 17 Carga térmica por recinto

Dimensiones del Local (m)		A1 SALA CONFERENCIA	A2 SALA MULTIUSOS	ÁREA PASILLOS	A3 SALA CONFCHICA	CUARTO ESTUDIO	A6 ALMACENAJE
Área m ²	Área m ² =	60.602	45.371	109.02	18.565	33.972	10.95
Altura SNPT	H' =	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Volumen recinto	m ³	163.6254	122.5017	294.354	50.1255	91.7244	29.565
Carga TR		1.8	1.2	2.6	0.7	0.8	0.2

Dimensiones del Local (m)		A7 IT	A8 ALMACENAJE IT	A9 MADRES	A11 TRANQUI	A8 ALMACENAJE IT	ÁREA PASILLOS
Área m ²	Área m ² =	16.425	23.07	12.8	9.3772	15.6445	59.25
Altura SNPT	H' =	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Volumen recinto	m ³	44.3475	62.289	34.56	25.31844	42.24015	159.975
Carga TR		0.4	0.3	0.3	0.2	1.9	0.8

Dimensiones del Local (m)		PANTRY	PANTRY	ÁREA VESTIBULOS	ÁREA PASILLOS	A15 CONF MEDIANA	A16 COZY
Área m ²	Área m ² =	53.95	53.95	62.568	62.568	27.8616	5.7838
Altura SNPT	H' =	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Volumen recinto	m ³	145.665	145.665	168.9336	168.9336	75.22632	15.61626
Carga TR		2.3	0.9	0.5	0.6	1.1	0.1

Dimensiones del Local (m)		A18 CONFECIA	A19 CONFECIA	ÁREA 20A OFICINA	ÁREA 20B OFICINA	ÁREA 20C OFICINA	ÁREA 20D OFICINA
Área m ²	Área m ² =	17.0169	17.0169	196.2	42	403	403
Altura SNPT	H' =	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Volumen recinto	m ³	45.94563	45.94563	529.74	113.4	1088.1	1088.1
Carga TR		0.1	0.5	6.8	1.6	8.5	1.9

Dimensiones del Local (m)		A22 COZY	A23 COZY	A24 ALMACENAJE	A25 COZY	A26 COZY	A27 COZY
Área m ²	Área m ² =	5.7838	5.7838	5.9048	5.7838	5.7838	5.7838
Altura SNPT	H' =	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Volumen recinto	m ³	15.61626	15.61626	15.94296	15.61626	15.61626	15.61626
Carga TR		0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.3














Dimensiones del Local (m)		A28 ENTRENAMIENTO A	A28 ENTRENAMIENTO B	A28 ENTRENAMIENTO C	A29 COCINA	A30 COCINA	A31 COCINA
Área m ²	Área m ² =	82.5	74.25	115.5	146.9	167.1	167.1
Altura SNPT	H' =	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Volumen recinto	m ³	222.75	200.475	311.85	396.63	451.17	451.17
Carga TR		1.3	1.9	4.5	3.5	5.3	7.2

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Catálogo de selección de equipos sistema VRF

A continuación, se muestran los modelos de equipos utilizados en sistemas VRF, en esta tabla se puede encontrar características eléctricas, así como también la capacidad de enfriamiento de cada una de estas unidades utilizados en el proyecto, las fichas técnicas con las especificaciones respectivas de estos equipos se pueden descargar en el sitio web oficial de LG, igualmente en el apéndice 16 se encuentra la cotización brindada el 28 de mayo del 2018 por el agente de ventas de la marca.

Tabla 18 Catálogo de selección de equipos VRF

NOMBRE PLANO	CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO T.R.	CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO Btu/h	ALIMENTACION ELECTRICA V/F/HERTZ	POTENCIA WATTS	MARCA MODELO	CANTIDAD	Imagen
UE-07	0.625	7500	220 / 1 / 60	154	ARNU073BHA 4	1	
UE-09B/UE-11/UE-12/UE-15/UE-30	0.800	9600	220 / 1 / 60	154	ARNU093BHA 4	2	
UE-17/UE-30	1.025	12300	220 / 1 / 60	154	ARNU123BHA 4	5	
UE-09	1.425	17100	220 / 1 / 60	154	ARNU183BHA 4	1	
UE-08/UE-09-A/UE-18/UE-19	1.792	21500	220 / 1 / 60	154	ARNU153BHA 4	4	
UE-13/UE-24/UE-20/UE-27	2.017	24200	220 / 1 / 60	154	ARNU243BHA 4	4	
UE-28	3.183	38200	220 / 1 / 60	154	ARNU363BGA 4	1	
UE-16/UE-22/UE-24/UE-26/UE-04/UE-21/UE-23/UE-25	4.042	48500	220 / 1 / 60	350	ARNU483BRA 4	10	
UE-02/UE-03/UE-06	4.550	54600	220 / 1 / 60	370	ARNU543BRA 4	3	
UE-01/UE-05	6.375	76500	220 / 1 / 60	750	ARNU76GB8A 4	2	
UC-01-IDF/UC-02-IDF	3.083	37000	220 / 1 / 60	2137	YORK JDOH040HSE B0AQ-AC	2	
ZONA 1, ZONA 2, ZONA 3	25.163	301960	220 / 1 / 60	2138	YORK JTWH300NPE R0AB	6	
TERMOSTATOS			120/1/60		YORK JCRA10NEWQ	31	





Fuente: Elaboración propia.









Para la elección de los equipos de aire acondicionado es importante realizar, como primer paso, el cálculo de carga térmica para escoger la capacidad idónea del equipo, de manera que el sistema no quede sobredimensionado. Asimismo, se debe tomar en consideración características eléctricas como el voltaje, número de fases y frecuencia del equipo, y uno de los temas más importantes sería la potencia, la cual va a definir la carga eléctrica que va a tener el sistema.

4.3.3 Catálogo de selección de equipos de agua helada

Actualmente, los fabricantes de sistema de aire acondicionado se han dado la tarea de innovar en este campo, fabricando equipos que vayan de la mano con la eficiencia y el ahorro energético, comprometiéndose con el medio ambiente y los usuarios finales de los sistemas, permitiendo, a su vez, tener las mismas condiciones de confort necesarias para el desempeño de las labores. A continuación, se muestran los modelos de equipos del sistema de agua helada utilizados en el proyecto, cada uno con su respectiva especificación, las fichas técnicas de estos equipos se encuentran en el sitio web oficial de Johnson Controls.

Tabla 19 Catálogo de selección de equipos de sistema de agua helada

NOMBRE PLANO	CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO T.R.	CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO Btu/h	ALIMENTACION ELECTRICA V/F/HERTZ	POTENCIA WATTS	MARCA MODELO	UND	Imagen
UE-07	0.625	7500	220 / 1 / 60	154	YORK JTDL022HONB0 AQ	1	
UE-09B/UE-11/UE-12/UE-15/UE-30	0.800	9600	220 / 1 / 60	154	YORK JTDL028HONB0 AQ	2	
UE-17/UE-30	1.025	12300	220 / 1 / 60	154	YORK JTDL036HONB0 AQ	5	
UE-09	1.425	17100	220 / 1 / 60	154	YORK JTDL050HONB0 AQ	1	

UE-08/UE-09-A/UE-18/UE-19	1.792	21500	220 / 1 / 60	154	YORK JTDL063HONB0 AQ	4	
UE-13/UE-24/UE-20/UE-27	2.017	24200	220 / 1 / 60	154	YORK JTDL071HONB0 AQ	4	
UE-28	3.183	38200	220 / 1 / 60	154	YORK JTDL112HONB0 AQ	1	
UE-16/UE-22/UE-24/UE-26/UE-04/UE-21/UE-23/UE-25	4.042	48500	220 / 1 / 60	350	YORK JTDL142HONB0 AQ	10	
UE-02/UE-03UE-06	4.550	54600	220 / 1 / 60	370	YORK JTDL160HONB0 AQ	3	
UE-01/UE-05	6.375	76500	220 / 1 / 60	750	YORK JTDL224HONB0 AQ	2	
CHILLER	157.147	1885760	480/3/60		YORK YZ – MA033 AN030 042 A	1	
TERMOSTATOS			120/1/60		YORK JCRA10NEWQ	31	

Fuente: Elaboración propia.

Para este proyecto, como se observa en la tabla 19, se proponen equipos de la marca YORK, los cuales cuentan con los requerimientos del proyecto, pero entre los datos más sobresalientes esta la eficiencia de estos equipos, estos datos se pueden descargar en el sitio web oficial de Johnson Controls.

De igual manera es importante destacar el principal cambio que se tiene entre el sistema actual y el propuesto, en donde para el primer caso se tiene 6 unidades condensadores para cada una de las diferentes zonas, mientras que en el sistema de agua helada, se tiene una sola unidad condensadora, el cual es llamado “chiller” y permite tener una gran capacidad de enfriamiento con potencias muy bajas, esto debido a que el modelo propuesto es un sistema que cuenta con rodamientos magnéticos, dicho sistema permite que a la hora de arrancar el sistema no sufra picos de corriente, generando un arranque suave por medio de los variadores de frecuencia y velocidad que trae integrados.

4.3.4 Control de aire acondicionado

En un sistema de aire acondicionado, el factor más importante a considerar es el de un sistema de control, que permita tener los parámetros internos y externos de los recintos, de manera que se pueda obtener las condiciones óptimas, siempre y cuando cuidando la eficiencia.

Existen varias formas de controlar un sistema de aire acondicionado, y en el caso específico estudiado, se proyecta como primera opción, la integración al sistema de iluminación, el cual es un sistema Lutron que permite la integración de varios sistemas para lograr el punto óptimo de eficiencia energética, esto en el caso de que no se pueda implementar un sistema BMS. De la misma manera, si se tiene un sistema de BMS en la edificación se podrá controlar todo de manera remota por medio de un controlador, el cual reciba las señales de cada uno de los termostatos del recinto. Es importante recordar que, a la hora de especificar el equipo, ya sea unidad evaporadora, condensadora o termostato, deberá especificarse una tarjeta de comunicación dependiendo del lenguaje que tenga el sistema de control. Por su parte, los termostatos que se están especificando cuentan con sensores de presencia, lo cual permite que el sistema no permanezca encendido si en el recinto no quedan personas.

4.3.5 Cálculo de factor de utilización

Como se mencionó anteriormente en la sección 4.1, para definir el consumo mensual en tableros de aire acondicionado se realizó un mapeo con los valores promedio de consumo medidos cada 15 minutos durante los 31 días del mes de enero.

En la gráfica 3 se observa la lectura generada para el mes de enero, estos datos permiten calcular un factor de uso para todos los tableros de aire acondicionado que se van a tener. Esto es importante, debido a que, puede dar un parámetro real del uso de la edición, basado en mediciones reales. En este caso se tomaron las mediciones a un edificio que cuenta actualmente, con un sistema de agua helada, el cual tiene un chiler con rodamientos magnéticos.

Tomando como referencia los datos de Factores de demanda de cargas de aire acondicionado del Código Eléctrico Nacional, especifica que estos equipos se deberían calcular al 100%, por el tipo de ocupación que tiene la edificación.

Una vez realizado el mapeo, se puede observar que los máximos valores de consumo promedio por hora rondan los 8.07 Kw/h (8.96 KVA), y el tablero "AC1" tiene una carga instalada de 15.21Kw (16.90 KVA) como se puede observar en la tabla 20, lo cual permite decir que el factor de uso de este tablero de aire acondicionado sería 53% aproximadamente.

Tabla 20 Resumen de carga en Voltamperios (Sistema de Agua Helada)

CARGA FASE - A	6532
CARGA FASE - B	5941
CARGA FASE - C	4428
CARGA INSTALADA	16900
FACTOR DE USO	0.53
CARGA DEMANDADA	8957

Fuente: Elaboración propia

Esto para el sistema en el cual se está implementando la tecnología de agua helada y control de aire acondicionado. Ahora bien, volviendo a la tecnología que se tenía

implementada la cual era sistema VRF, se tenía una carga instalada de 23.50Kw (26.10 KVA) y según el Código Eléctrico Nacional se deberá manejar un factor de uso al 100%.

Tabla 21 Resumen de carga en Voltiamperios (Sistema VRF)

CARGA FASE - A	11132
CARGA FASE - B	5941
CARGA FASE - C	9028
CARGA INSTALADA	26100
FACTOR DE USO	0.89
CARGA DEMANDADA	23307

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, se tiene acceso a las mediciones de tableros de aire acondicionado de diferentes tipos de oficinas, esto debido a una base de datos con la que cuenta la empresa de consultores electromecánicos Circuito S.A México. de las mediciones realizadas para estudios energéticos, y se observa que en sistemas VRF el factor de uso que va de 85% al 94%.

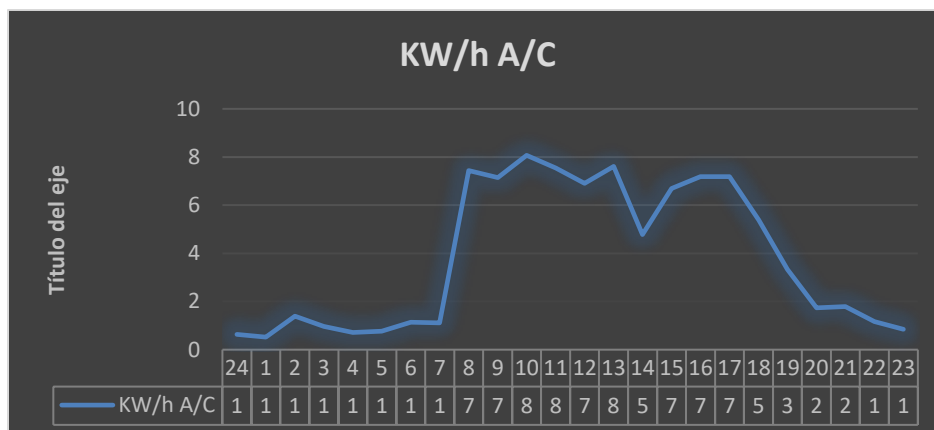
Seguidamente se realizó una filtración de datos el cual permite ver el comportamiento diario del edificio, como se muestra en la tabla 22 y en la gráfica 4. Dicha filtración de datos se realizó con el objetivo de reconocer cuál fue la hora del día con el mayor consumo energético, y en dado caso realizar una revisión del porqué del elevado consumo que se puede dar en un día específico.

Tabla 22 Mapeo de Consumo, medición diaria tablero "AC1"

HORAS	MES	DIAS	KW/h A/C
24	78.65171523	2.537152104	0.634288026
1	64.67512909	2.086294487	0.521573622
2	172.2635533	5.556888816	1.389222204
3	119.147832	3.84347845	0.960869613
4	89.02709624	2.871841814	0.717960454
5	95.70043828	3.087110912	0.771777728
6	141.025973	4.549224936	1.137306234
7	137.9319307	4.44941712	1.11235428
8	921.7292781	29.73320252	7.43330063
9	886.1695233	28.58611365	7.146528414
10	1000.701793	32.280703	8.07017575
11	935.8914588	30.19004706	7.547511764
12	856.5171236	27.62958463	6.907396158
13	944.5583511	30.46962423	7.617406057
14	592.324519	19.10724255	4.776810637
15	829.8380332	26.76896881	6.692242203
16	891.1773508	28.74765648	7.186914119
17	890.2203057	28.71678405	7.179196013
18	668.0535589	21.5501148	5.387528701
19	412.5790726	13.30900234	3.327250586
20	215.3391859	6.946425352	1.736606338
21	222.3657597	7.173089023	1.793272256
22	144.4978241	4.661220133	1.165305033
23	104.505147	3.371133775	0.842783444

Fuente: Elaboración propia.

Grafica 4 Mapeo de Consumo, medición diaria tablero "AC1"



Fuente: Elaboración propia.

Al realizar la sumatoria de las horas diarias de los 31 días del mes enero que se tomaron como parámetro de mediciones como referencia, se tiene como resultado un consumo diario promedio en aire acondicionado es de 92.05 Kw/hr. Dicho dato es importante, ya que permitirá definir el consumo mensual, que para dicho mes sería de 2853.55 Kw/mes y así determinar cuánto será el ahorro entre la tecnología convencional y la tecnología con sistema de agua helada.

Cabe recalcar que el factor de utilización con la tecnología de agua helada ronda el 53%, esto tomado mediante mediciones en el edificio luego de la implementación del cambio de sistema de aire acondicionado y un sistema de control. Ahora bien, como referencia para los cálculos del factor de utilización se tomaron los valores de edificios con una distribución similar, pero con sistema de control sencillo y se tomó la decisión de utilizar un factor de utilización que ronda el 89.3%, como se muestra en la tabla 21, esto debido a que las cargas de aire acondicionado pasan encendidas un mayor tiempo.

De igual manera como se explicó en la sección 4.1 se definió la cantidad de horas que se iba a utilizar la edificación, esto permitiendo calcular el consumo mensual por concepto de aire acondicionado, el cual sería 8830.76 Kw/mes.

Cabe recordar que las condensadoras, al tener un voltaje 480V, están alimentados desde el tablero TP, estos equipos con el sistema VRF tienen una carga de 57.63 Kw (64.04 KVA), lo cual multiplicado por las horas de trabajo definidas por la ASHRAE 90.1 para este tipo de edificación sería de 13.14 horas al día, por lo cual, al realizar la multiplicación correspondiente se tiene un consumo de 3029.53Kw/hr. Esta carga contempla todas las unidades condensadoras externas; ahora bien, si se utiliza un

sistema de agua helada, todos estos equipos serán sustituidos por un solo chiller, el cual cuenta con una carga de 76.92 Kw (88.800 KVA) y al multiplicarlo por las horas de trabajo anteriormente descritas, se tendría un consumo de 1050.14Kw/hr.

4.3.6 Presupuesto de la propuesta con sistema VRF

A continuación, se presenta la tabla 23 la cual contiene la cantidad de equipos y el precio unitario, el cual permita brindar una idea del costo de un sistema VRF como el instalado en el edificio.

Tabla 23 Presupuesto de la propuesta con sistema VRF

CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO T.R.	CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO Btu/h	MARCA MODELO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
0.625	7500	ARNU073BHA4	1	\$394	\$394
0.800	9600	ARNU093BHA4	2	\$413	\$826
1.025	12300	ARNU123BHA4	5	\$433	\$2,164
1.425	17100	ARNU183BHA4	1	\$467	\$467
1.792	21500	ARNU153BHA4	4	\$473	\$1,890
2.017	24200	ARNU243BHA4	4	\$482	\$1,926
3.183	38200	ARNU363BGA4	1	\$600	\$600
4.042	48500	ARNU483BRA4	10	\$747	\$7,472
4.550	54600	ARNU543BRA4	3	\$874	\$2,622
6.375	76500	ARNU76GB8A4	2	\$1,563	\$3,126
3.083	37000	YORK JDOH040HSEB0AQ-AC	2	\$2,372	\$4,744
25.163	301960	YORK JTW300NPER0AB	6	\$2,078	\$12,470
		YORK JCRA10NEWQ	31	\$150	\$4,650
		TOTAL			\$43,352
		ACCESORIOS		5%	\$ 2,167.58
		MANO DE OBRA		30%	\$ 13,005.48
		IMPREVISTOS		2%	\$ 867.03
		TOTAL			\$ 59,391.69
Tipo de cambio según BAC San José, consultado el 10 de junio de 2018			₡571		₡ 33,912,656.13

Fuente: Elaboración propia.

4.3.7 Presupuesto de la propuesta con agua helada

A continuación, se presenta la tabla 24 la cual contiene la cantidad de equipos y el precio unitario, el cual permita brindar una idea del costo de un sistema agua helada como el que se desea instalar en el edificio.

Tabla 24 Presupuesto de sistema con agua helada

CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO T.R.	CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO Btu/h	MARCA MODELO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
0.625	7500	YORK JTDL022H0NB0AQ	1	\$355	\$355
0.800	9600	YORK JTDL028H0NB0AQ	2	\$357	\$714
1.025	12300	YORK JTDL036H0NB0AQ	5	\$363	\$1,815
1.425	17100	YORK JTDL050H0NB0AQ	1	\$394	\$394
1.792	21500	YORK JTDL063H0NB0AQ	4	\$413	\$1,652
2.017	24200	YORK JTDL071H0NB0AQ	4	\$419	\$1,676
3.183	38200	YORK JTDL112H0NB0AQ	1	\$544	\$544
4.042	48500	YORK JTDL142H0NB0AQ	10	\$563	\$5,630
4.550	54600	YORK JTDL160H0NB0AQ	3	\$592	\$1,776
6.375	76500	YORK JTDL224H0NB0AQ	2	\$1,108	\$2,216
157.147	1885760	YORK YZ – MA033 AN030 042 A	1	\$160,000	\$160,000
		YORK JCRA10NEWQ	31	\$150	\$4,650
		TOTAL			\$181,422
		ACCESORIOS		5%	\$ 9,071.10
		MANO DE OBRA		30%	\$ 54,426.60
		IMPREVISTOS		2%	\$ 3,628.44
		TOTAL			\$ 248,548.14
Tipo de cambio según BAC San José, consultado el 10 de junio de 2018			₡571		₡ 141,920,987.94

Fuente: Elaboración propia.

Los precios han sido consultados con el fabricante directamente, ya que se tiene la posibilidad de solicitar estos datos por medio de la empresa Circuito, ya que estos precios podrían variar con respecto a su valor en el mercado, esto debido a que son precios de

lista el cual brindan a consultores electromecánicos. Asimismo, el porcentaje de mano de obra es un porcentaje estimado y contempla la instalación de equipos y su cableado, el mismo fue facilitado por diferentes constructoras electromecánicas y se escogió el valor más conveniente para dicha propuesta. El precio del sistema de agua helada es 2.38 veces más caro que el sistema de VRF.

4.3.8 Cálculo de retorno de inversión

Para el cálculo de retorno de la inversión, se deberá contemplar el costo de sistema de agua helada el cual sería implementado en la edificación, que permita obtener el ahorro anual de consumo energético tal como se muestra en la tabla 25.

Tabla 25 Ahorro anual con sistema de agua helada

Año	VRF Actual	Agua Helada	Ahorro anual (C)
0			-C191,184,574.08
1	C75,336,770.29	C44,305,608.38	C31,031,161.91
2	C76,843,505.69	C45,191,720.54	C31,651,785.15
3	C78,380,375.81	C46,095,554.95	C32,284,820.85
4	C79,947,983.32	C47,017,466.05	C32,930,517.27
5	C81,546,942.99	C47,957,815.37	C33,589,127.62
6	C83,177,881.85	C48,916,971.68	C34,260,910.17
7	C84,841,439.49	C49,895,311.12	C34,946,128.37
8	C86,538,268.28	C50,893,217.34	C35,645,050.94
9	C88,269,033.64	C51,911,081.68	C36,357,951.96
10	C90,034,414.32	C52,949,303.32	C37,085,111.00
11	C91,835,102.60	C54,008,289.38	C37,826,813.22
12	C93,671,804.65	C55,088,455.17	C38,583,349.48
13	C95,545,240.75	C56,190,224.28	C39,355,016.47
14	C97,456,145.56	C57,314,028.76	C40,142,116.80
15	C99,405,268.47	C58,460,309.34	C40,944,959.14
16	C101,393,373.84	C59,629,515.52	C41,763,858.32

Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, se realiza el análisis del retorno de inversión, para lo cual se toma como referencia, para el cálculo del factor de descuento, el interés de los préstamos para inversiones LEED, el cual según el BAC San José (consultado 06-10-2018) es de un 5.9%.

Tabla 26 Retorno de inversión de la propuesta de sistema agua helada

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Inversión	191,184,574.08								
Ahorro		31,031,161.91	31,651,785.15	32,284,820.85	32,930,517.27	33,589,127.62	34,260,910.17	34,946,128.37	35,645,050.94
Gastos		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Flujos	191,184,574.08	31,031,161.91	31,651,785.15	32,284,820.85	32,930,517.27	33,589,127.62	34,260,910.17	34,946,128.37	35,645,050.94
Tasa de descuento	5.9%								
Aumento anual eléctrico	2.0%								
Factor de Descuento (%)	100.00%	94.43%	89.17%	84.20%	79.51%	75.08%	70.90%	66.95%	63.22%
Valor Presente	191,184,574.08	29,302,324.75	28,223,202.31	27,183,820.92	26,182,717.04	25,218,481.00	24,289,755.07	23,395,231.51	22,533,650.75
Ahorro Acumulado	191,184,574.08	161,882,249.33	133,659,047.02	106,475,226.09	80,292,509.06	55,074,028.06	30,784,272.99	7,389,041.48	15,144,609.27

Año	9	10	11	12	13	14	15	16
Inversión								
Ahorro	36,357,951.96	37,085,111.00	37,826,813.22	38,583,349.48	39,355,016.47	40,142,116.80	40,944,959.14	41,763,858.32
Gastos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Flujos	36,357,951.96	37,085,111.00	37,826,813.22	38,583,349.48	39,355,016.47	40,142,116.80	40,944,959.14	41,763,858.32
Factor de Descuento (%)	59.69%	56.37%	53.23%	50.26%	47.46%	44.82%	42.32%	39.96%
Valor Presente	21,703,799.59	20,904,509.52	20,134,655.06	19,393,152.18	18,678,956.77	17,991,063.18	17,328,502.78	16,690,342.62
Ahorro Acumulado	36,848,408.85	57,752,918.37	77,887,573.43	97,280,725.61	115,959,682.38	133,950,745.56	151,279,248.35	167,969,590.97

Fuente: Elaboración propia

Fundamentado en el cálculo anteriormente mostrado, se puede determinar que la inversión realizada en el sistema de iluminación propuesto se recupera entre el año 7 y 8, a continuación, se presenta la siguiente ecuación, con la cual se puede obtener el número de meses en los que se recupera la inversión:

$$\text{Fraccion Retorno Año 7 (meses)} = \frac{7,389,041.48 * 12}{22,533,650.75} \sim 4 \text{ meses}$$

De esta manera, se explica que la recuperación de la inversión se daría aproximadamente en 7 años y 4 meses. Finalmente, se realiza el cálculo del VAN y el TIR para el proyecto, el cual da como resultado los siguientes datos:

VAN=	¢167,969,590.97	TIR=	16%
------	-----------------	------	-----

4.4 Generación fotovoltaica

Una de las tendencias hoy en días es el uso de fuentes renovables para la generación de energía, en este proyecto sería una buena opción definir cuanto es la capacidad de generación fotovoltaica de esta edificación lo cual permita definir que sistemas electromecánicos se podrían alimentar de esta fuente de energía y así poder generar un ahorro en la facturación eléctrica mensual.

Dentro de las condiciones del ambiente que se deben tomar en cuenta se encuentra la radiación solar en la zona en donde se situó la edificación; asimismo, se debe considerar las estadísticas que permitan identificar si el lugar es apto y reúne las características necesarias para la producción de energía fotovoltaica.

4.4.1 Propuesta de paneles solares para la alimentación del sistema de iluminación.

Como primer paso se deben definir los parámetros de radiación solar los cuales son datos brindados por el Instituto Meteorológico Nacional, el cual recopila datos estadísticos de las condiciones del clima para el dimensionamiento de los sistemas.

Tabla 27 Radiación Solar, Barrio Aranjuez

Radiación solar en barrion Aranjuez		
Mes	Radiacion (MJ/m2)	Horas solar pico (HSP)
Enero	13.2	3.67
Febrero	15.6	4.33
Mazo	17.6	4.89
Abril	17.1	4.75
Mayo	13.5	3.75
Junio	11.6	3.22
Julio	11.5	3.19
Agosto	12.5	3.47
Septiembre	12.3	3.42
Octubre	11.2	3.11
Noviembre	9.6	2.67
Diciembre	10.8	3
Promedio	13	3.63

Fuente: Software Sunshine.

En esta tabla se puede observar las horas solares pico de cada mes, esto debido a un factor de conversión, en el caso de este proyecto se toma el valor para el mes de enero, por medio de la siguiente ecuación, se muestra la conversión realizada.

$$13.2 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} * \frac{1 \text{ HSP}}{3.6 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}} = 3.67 \text{ hps}$$

Este dato obtenido de 3.67 hps define las horas solares pico del mes de enero. Ahora bien, este dato va a ser utilizado para el cálculo de numero de paneles solares, es de suma importancia que en el momento de realizar el cálculo se tomó como referencia el

promedio anual de horas pico el cual es de 3.63 horas, esto con el objetivo de cubrir los meses con menor horas picos. En este proyecto se va a definir la cantidad de módulos fotovoltaicos, con respecto al área disponible, dentro de los datos importante a considerar es definir la marca a utilizar, así como también tener las fichas técnicas de estos equipos, esto debido a que son datos que se deben considerar para la estimación del número de paneles solares, la ficha técnica de estos paneles se encuentra en el sitio web oficial de la empresa Sunshine, la cual fue la encargada de facilitar los modelos y precios.

Para definir la cantidad de paneles solares se deberán realizar el cálculo por medio de la ecuación descrita a continuación, donde:

NP: número de paneles solares necesarios

E: consumo energético real

WP: es la potencia pico del panel

HPS: son las horas pico solar

$$NP = \frac{E}{0.9 * Wp * HSP}$$

Para este caso se considera un rendimiento energético del 90% esto según datos de fabricante, al final estos va definir la eficiencia de los paneles fotovoltaicos. Donde se toma como consumo energético 104.784KWh/día, dato el cual se obtiene con la carga de los tableros de iluminación de parqueos y áreas comunes, sectores los cuales son los que se desean alimentar de este sistema, al no tener una medición real de los tableros se estimó la cantidad de horas por medio de la tabla G-H de la ASHRAE 90.1, la cual se encuentra en el apéndice 15.

$$NP = \frac{104.784KWh/día}{0.9 * 320W * 3.63hsp}$$

Una vez definida la cantidad de paneles solares por medio de la sustitución de los datos en la ecuación anterior la cual da un aproximado de 101 paneles con lo cual se puede definir la potencia esperada por el arreglo de los paneles solares, para la obtención de la generación eléctrica se va a multiplicar la cantidad de módulos por la potencia nominal de un panel, para este caso es de 320W por lo que en total son 32320 W.

Seguidamente se deberá calcular la cantidad de energía eléctrica generada, la cual es obtenida luego de multiplicar la potencia total del arreglo de paneles por la irradiación solar del mes que se requiera y esto por la cantidad de días del mes; en el caso de este proyecto todo el estudio se realizó para el mes de enero por lo que al sustituir los valores en la ecuación:

$$32320W * 3.67hps * 31 = 3677.04 \text{ KWh/mes}$$

Una vez sustituidos los valores se obtiene el valor de energía generada para el mes de enero y se repite este procedimiento para los meses restantes, esto para definir cuanto sería la capacidad de generación del todo el año.

Tabla 28 Potencia generada por sistema fotovoltaico de 101 paneles

Potencia generada por sistema fotovoltaico de 101 paneles			
Mes	Días	Horas solar pico (HSP)	KWh/mes
Enero	31	3.67	3677.046
Febrero	28	4.33	3918.598
Mazo	31	4.89	4899.692
Abril	30	4.75	4606.028
Mayo	31	3.75	3757.665
Junio	30	3.22	3122.595
Julio	31	3.19	3196.718
Agosto	31	3.47	3477.415
Septiembre	30	3.42	3316.853
Octubre	31	3.11	3116.839
Noviembre	30	2.67	2589.633
Diciembre	31	3	3006.783
		Generación anual KWh/año	42685.865
		Consumo anual KWh/año	38246.161
		Sobre generación %	10.4

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 28 se puede observar el comportamiento mensual de generación, y se puede decir que la variación del clima hace que varíe de esta manera la generación, también se obtiene la generación anual de este sistema y según las estimaciones se podría decir que con este arreglo de 101 módulos de generación fotovoltaica se generaría un 10.4% de energía por encima del consumo anual que podría tener el edificio en sistemas de iluminación de parqueos y áreas comunes.

Para el tema de montaje de los paneles los cuales serán instalados en la azotea del edificio, se toman las medidas de cada uno de estos paneles de la ficha técnica la cual es brindada por el fabricante, es importante recordar que entre cada fila de paneles se deberá respetar 42cm como mínimo según el fabricante, esto para temas de mantenimiento.

Estos paneles cuentan con un área de 1.94 m² cada uno, para poder instalar los 101 paneles es necesario contar con un área efectiva de aproximadamente 195.9 m², del total de la azotea al cual cuenta con 2521 m². La ubicación en planta de estos paneles solares se puede encontrar en el apéndice 16.

Luego de estos cálculos es importante realizar el cálculo de los microinversores, este término se da porque este tipo permite tanto suplir a un panel o varios paneles, esto va a depender de la potencia de ambos. Una vez definido el modelo y marca del mismo, con los datos de la ficha técnica se puede descargar del sitio web oficial de Sunshine. Los parámetros con los cuales debería cumplir este equipo son con la tensión en corto circuito, la tensión a la máxima potencia, el coeficiente de temperatura, la corriente de corto circuito, el número de células y también la potencia nominal del panel.

Una vez que se está seguro de que el microinversor cumple con los requerimientos, como siguiente paso se debe calcular el número de paneles que se podrían conectar para obtener la generación requerida.

$$\#Paneles_{microinverso} = \frac{Potencia\ del\ inversor}{Potencia\ nominal\ del\ panel\ solar}$$

$$\#Paneles_{microinverso} = \frac{350W}{320W} = 1.09\text{paneles/Inversor}$$

Luego de sustituir los datos se puede determinar que para el arreglo de 101 paneles solares que se tiene para este proyecto se van a necesitar 101 microinversores. Con este valor se podría obtener el dato de la cantidad de circuitos eléctricos que se requieren; ya que según el manual de instalación y funcionamiento se podrían conectar 16 microinversores en un circuito de 20A, por lo que se necesitarían 6 circuitos.

Es importante enfatizar que se debe definir el equipo de monitoreo, el cual para este caso sería Envoy-S, tal como se muestra en la tabla 29, de igual manera, en el sitio web oficial de Sunshine se puede descargar la ficha técnica del equipo.

Estos microinversores cuentan con protección contra fallas a tierra ya integrado, la protección del circuito va a ser de 20A, esto según la ficha técnica dada por el fabricante, esto para voltajes de 240V. Para el tema de conductores se utiliza la tabla 310.16 del NEC, y se establece un cable calibre N° 12 AWG THHN, que puede llegar a conducir hasta 25 A (60°C).

4.4.1.1 Presupuesto de la propuesta con paneles solares

A continuación, se presenta la tabla 29 la cual contiene la cantidad de paneles solares, microinversores y accesorios necesarios para el montaje del sistema.

Tabla 29 Presupuesto de propuesta paneles solares

Producto	Marca	Modelo	Cantidad	Precio unitario (USD)	Total (USD)
Panel solar	Jinko	JKM325PP-72	101	145.58	\$ 14,703.58
Microinversor	ENPHASE	IQ6+	101	111.66	\$ 11,277.66
Cable	ENPHASE	Engage Cable	101	15	\$ 1,515.00
Equipo de monitoreo	ENPHASE	Envoy-S	1	403	\$ 403.00
Estructura de soporte para techo	Estructura de soporte para techo	Pack L-Foot	30	86.59	\$ 2,597.70
Tipo de cambio según BAC San José, consultado el 10 de junio de 2018			₡571.00	Subtotal	₡ 17,413,752.74
				Gastos administrativos (2%)	₡ 348,275.05
				Mano de obra 10%	₡ 1,741,375.27
				Medidor trifásicofásico	₡ 78,000.00
				Total	₡ 19,581,403.07

Fuente: Elaboración propia.

Los precios han sido consultados con el fabricante directamente, ya que se tiene la posibilidad de solicitar estos datos por medio de la empresa Circuito, estos precios podrían variar con respecto a su valor en el mercado, esto debido a que son precios de lista el cual brindan a consultores electromecánicos. Asimismo, el porcentaje de mano de obra es un porcentaje estimado y contempla la instalación de paneles y su cableado. La proforma de los equipos se encuentra en el apéndice 16, la misma fue facilitada vía correo electrónico por el ingeniero Harold Steinvorth, representante de Sunshine, y por Luis Mora, representante comercial de dicha empresa.

4.4.1.2 Cálculo de retorno de inversión

Para el cálculo de retorno de la inversión, se deberá contemplar el costo de los paneles solares, microinversores y diferentes accesorios necesarios para su montaje y funcionamiento de igual manera contempla el costo de mano de obra, el cual sería implementado en la edificación como se muestra en la tabla 30.

Tabla 30 Presupuesto de sistema fotovoltaico

Costo Sistema Fovoltaiico=	₡19,581,403.07
----------------------------	----------------

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la tabla 31, se muestra el ahorro anual que se puede obtener con la implementación de la propuesta del sistema fotovoltaico.

Tabla 31 Ahorro anual con sistema fotovoltaico

Año	Ahorro anual (₡)	Sobregeneración
0	-₡19,581,403.07	
1	₡2,263,790.27	-₡275,217.26
2	₡2,311,207.86	-₡280,721.60
3	₡2,359,573.80	-₡286,336.04
4	₡2,408,907.06	-₡292,062.76
5	₡2,459,226.99	-₡297,904.01
6	₡2,510,553.31	-₡303,862.09
7	₡2,562,906.17	-₡309,939.33
8	₡2,616,306.07	-₡316,138.12
9	₡2,670,773.98	-₡322,460.88
10	₡2,726,331.25	-₡328,910.10
11	₡2,782,999.66	-₡335,488.30
12	₡2,840,801.43	-₡342,198.07

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, en la tabla 32 se realiza el análisis del retorno de inversión, para lo cual se toma como referencia, para el cálculo del factor de descuento, el interés de los préstamos para inversiones LEED, el cual según el BAC San José (consultado 06-10-2018) es de un 5.9%, esto para la propuesta con la implementación de un sistema fotovoltaico para auto abastecer el consumo eléctrico de ciertos sistemas del edificio:

Tabla 32 Retorno de inversión de la propuesta de sistema fotovoltaico

Año	0	1	2	3	4	5	6
Inversión	- C\$19,581,40 3.07						
Ahorro		C\$2,302,342. 40	C\$2,349,759. 99	C\$2,398,125. 93	C\$2,447,459. 19	C\$2,497,779. .12	C\$2,549,105. .44
Sobre generación		- C\$275,217.2 6	- C\$280,721.6 0	- C\$286,336.0 4	- C\$292,062.7 6	- C\$297,904.0 1	- C\$303,862.0 9
Flujos	- C\$19,581,40 3.07	C\$2,577,559. 66	C\$2,630,481. 60	C\$2,684,461. 97	C\$2,739,521. 95	C\$2,795,683. .13	C\$2,852,967. .54
Tasa de descuento	5.9%						
Aumento anual eléctrico	2.0%						
Factor de Descuento (%)	100.00%	94.43%	89.17%	84.20%	79.51%	75.08%	70.90%
Valor Presente	- C\$19,581,40 3.07	C\$2,433,956. 24	C\$2,345,542. 72	C\$2,260,317. 12	C\$2,178,165. 85	C\$2,098,979. .25	C\$2,022,651. .54
Ahorro Acumulado	- C\$19,581,40 3.07	- C\$17,147,44 6.83	- C\$14,801,90 4.11	- C\$12,541,58 6.98	- C\$10,363,42 1.14	- C\$8,264,441 .88	- C\$6,241,790 .34

Año	7	8	9	10	11	12
Inversión						
Ahorro	C\$2,601,458.3 0	C\$2,654,858.2 0	C\$2,709,326.1 1	C\$2,764,883.3 8	C\$2,821,551.7 9	C\$2,879,353.5 6
Sobre generación	-C\$309,939.33	-C\$316,138.12	-C\$322,460.88	-C\$328,910.10	-C\$335,488.30	-C\$342,198.07
Flujos	C\$2,911,397.6 3	C\$2,970,996.3 3	C\$3,031,786.9 9	C\$3,093,793.4 8	C\$3,157,040.0 9	C\$3,221,551.6 3
Tasa de descuento			7.0%			
Aumento anual eléctrico			2.5%			
Factor de Descuento (%)	66.95%	63.22%	59.69%	56.37%	53.23%	50.26%
Valor Presente	C\$1,949,080.6 2	C\$1,878,167.9 9	C\$1,809,818.5 9	C\$1,743,940.7 2	C\$1,680,445.9 0	C\$1,619,248.7 7
Ahorro Acumulado	- C\$4,292,709.7 2	- C\$2,414,541.7 3	- C\$604,723.15	C\$1,139,217.5 7	C\$2,819,663.4 8	C\$4,438,912.2 4

Fuente: Elaboración propia.

Basados en el cálculo anteriormente mostrado, se puede determinar que la inversión realizada en el sistema fotovoltaico propuesto se recupera entre el año 9 y 10, a

continuación, se presenta la siguiente ecuación con la cual se puede obtener el número de meses en los que se recupera la inversión:

$$\text{Fraccion Retorno Año 9 (meses)} = \frac{604.723.15 * 12}{1,1743940.5} \sim 5 \text{ mes}$$

De esta manera, se explica que la recuperación de la inversión se daría aproximadamente en 9 años y 5 meses. Finalmente, se realiza el cálculo del VAN y el TIR para el proyecto, el cual da como resultado los siguientes datos

VAN=	€10,347,067.71	TIR=	12%
------	----------------	------	-----

4.4.2 Propuesta fotovoltaica utilizando 100% de área disponible en metros cuadrados.

Una segunda propuesta sería aprovechar el área de la azotea por completo la cual como se muestra en la figura 20.

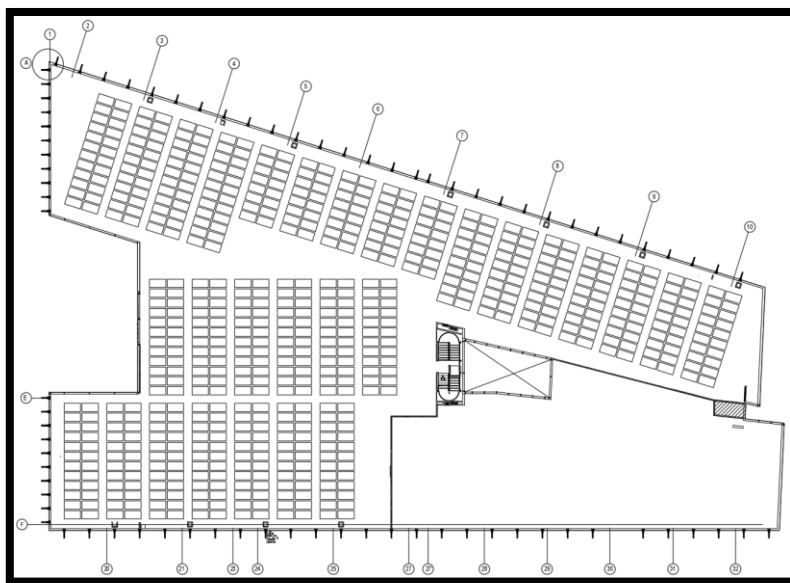


Figura 20 Instalación de paneles fotovoltaicos en azotea

Fuente: Elaboración propia.

Esta área se puede aprovechar ya que está completamente libre y los pretilos son de 80cm por lo que no sería un problema ya que no generaría sombra que afecte a los paneles. En esta área caben aproximadamente 628 paneles contemplando los pasillos para servicio.

Para la obtención de la generación eléctrica se va a multiplicar la cantidad de módulos por la potencia nominal de un panel, para este caso es de 320W por lo que en total son 200960 W.

Seguidamente se deberá calcular la cantidad de energía eléctrica generada, la cual es obtenida luego de multiplicar la potencia total del arreglo de paneles por la irradiación solar del mes que se requiera y esto por la cantidad de días del mes; en el caso de este proyecto todo el estudio se realizó para el mes de enero por lo que al sustituir los valores en la ecuación:

$$200960W * 3.67hps * 31 = 22863.22 \text{ KWh/mes}$$

Una vez sustituidos los valores se obtiene el valor de energía generada para el mes de enero y se repite este procedimiento para los meses restantes, esto para definir cuanto sería la capacidad de generación del todo el año.

Tabla 33 Potencia generada por sistema fotovoltaico de 628 paneles

Potencia generada por sistema fotovoltaico de 628 paneles				
Mes	Dias	Horas solar pico (HSP)	KWh/dia	KWh/mes
Enero	31	3.67	200960	22863.219
Febrero	28	4.33	200960	24364.390
Mazo	31	4.89	200960	30463.526
Abril	30	4.75	200960	28636.800
Mayo	31	3.75	200960	23361.600
Junio	30	3.22	200960	19412.736
Julio	31	3.19	200960	19872.934

Agosto	31	3.47	200960	21617.267
Septiembre	30	3.42	200960	20618.496
Octubre	31	3.11	200960	19374.554
Noviembre	30	2.67	200960	16096.896
Diciembre	31	3	200960	18689.280
Generación anual KWh/año				265371.699

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 33 se puede observar el comportamiento mensual de generación. Al igual que en la propuesta anterior, desarrollada en la sección 4.4.1, se puede determinar el arreglo de microinversores y si se tienen 628 paneles solares para esta propuesta se van a necesitar 628 microinversores. Con este dato se podría obtener el dato de cuantos circuitos eléctricos se van a necesitar ya que según el manual de instalación y funcionamiento se podrían conectar 16 microinversores en un circuito de 20A, por lo que se necesitarían 40 circuitos, es de suma importancia definir con que equipo se va a monitorear.

Estos microinversores cuentan con protección contra fallas a tierra ya integrado, la protección del circuito va a ser de 20A, esto según la ficha técnica dada por el fabricante, esto para voltajes de 240V. Para el tema de conductores se utiliza la tabla 310.16 del NEC, y se estable un cable calibre N.º 12 AWG THHN, que puede llegar a trasegar hasta 25 A (60°C).

Es importante saber cuánto es el consumo de la edificación y de esta manera conocer cuánta carga se podría conectar a este sistema y para este caso se tienen las mediciones del tablero principal de la edificación.

El mapeo realizado en la figura 21 muestra el comportamiento que se tiene en el tablero principal, se debe recordar que cada nivel cuenta con un tablero principal y al

final todos van conectados hacia un transformador como muestra en el diagrama unifilar en el cual se representa una de las acometidas.

Table with 32 columns labeled 'PROBLE' and 32 rows of numerical data. The table contains a dense grid of numbers, likely representing consumption or measurement data for various systems.

Figura 21 Mapeo de Consumo, medición cada 15 minutos tablero "TP"

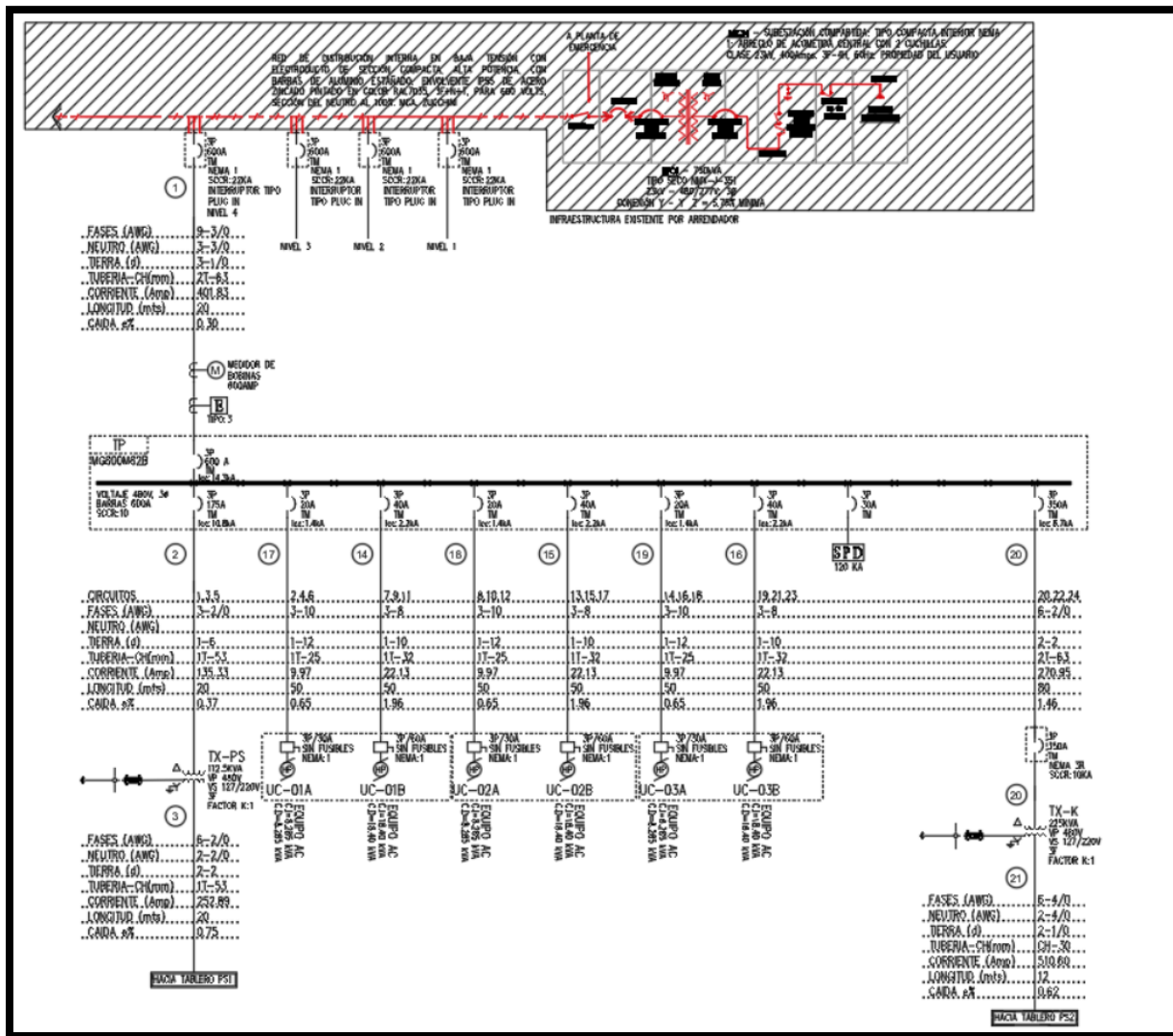
Fuente: Elaboración propia.

Es importante definir que esta medición se realizó a una edificación con una carga con sistemas de control para los sistemas de aire acondicionado, iluminación, de esta manera se tiene que la operación y funcionamiento del edificio en temas de consumo energético es superior a un sistema convencional.

Cabe recordar que el mapeo está en función de mediciones promedio de cada 15 minutos y que la gradiente de los colores va a comenzar con el color verde como dato

de menor consumo y los colores naranja y rojo representan los altos consumos de la edificación.

Asimismo, en este diagrama unifilar se muestra la conexión del transformador principal del cual se derivan los tableros principales de cada nivel. Cabe recordar que el transformador secundario TX-K solo se encuentra en el nivel 4, donde se sitúa el comedor; para los niveles restantes solo se cuenta con el transformador TX-PS y el tablero PS1.



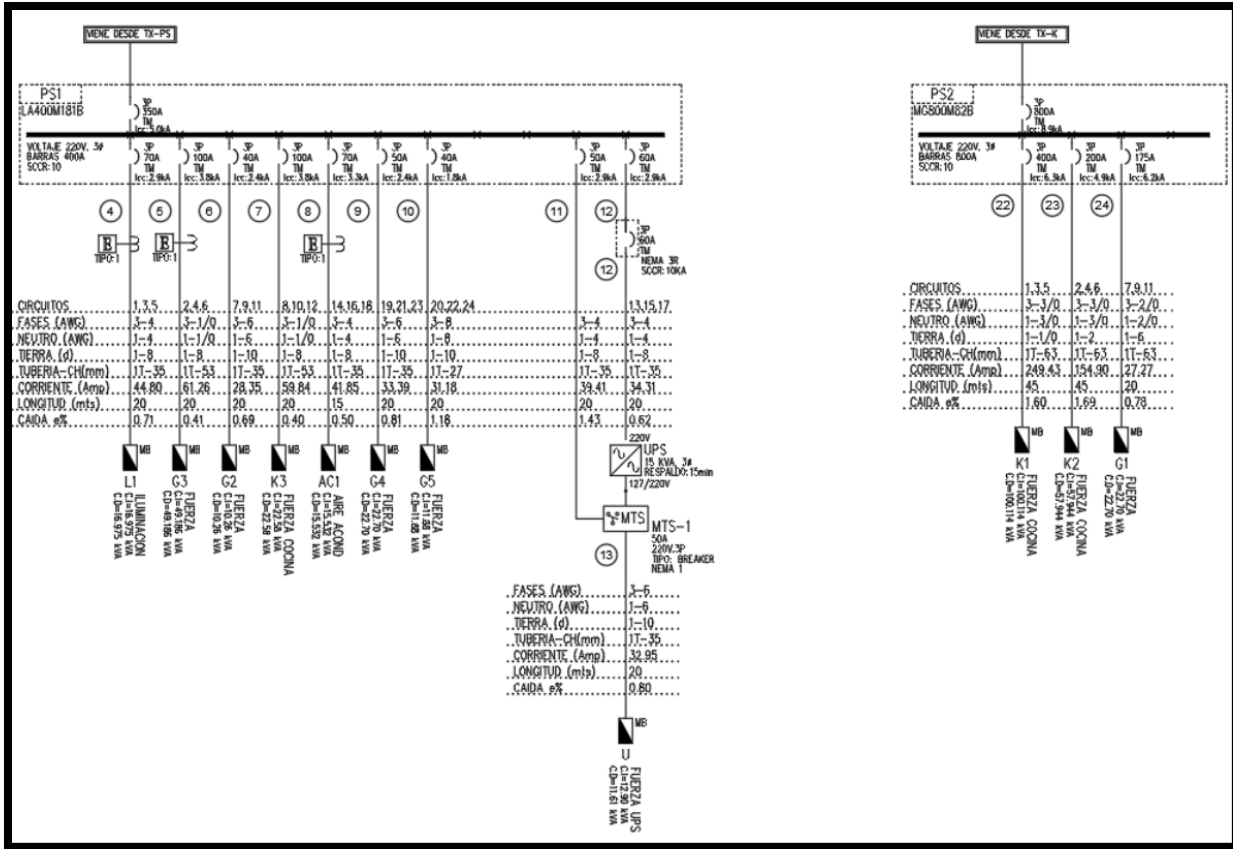


Figura 22 Diagrama unifilar

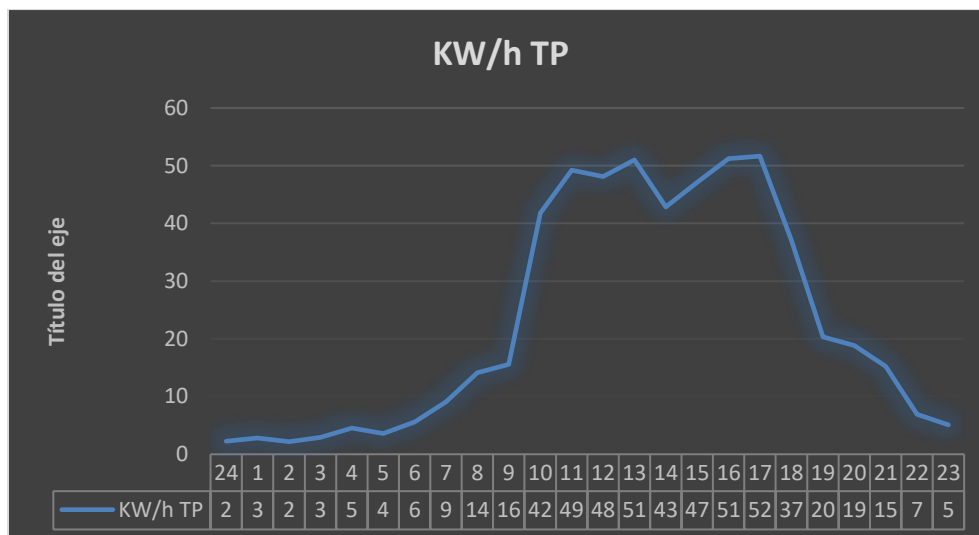
Fuente: Elaboración propia

Este tipo de mapeo y lecturas como las que se muestran a continuación en la tabla 34, permiten definir factores de utilización para este tipo de edificación, cabe recordar que el NEC tiene los parámetros para definir los factores de utilización para centros de carga de iluminación, aire acondicionado y tableros generales de receptáculos como se vio en los capítulos anteriores donde se nombraron las tablas y artículo que rige para cada uno de estos, pero para tableros principales es un tema que queda muy a la libre por lo cual en diseño se calcula por medio de la expertice y criterio de cada ingeniero y va a depender del uso que se le dé al edificio.

Tabla 34 Consumo diario en KW/h para el tablero TP

HORAS	MES	DIAS	KW/h TP
24	283.348578	9.1402767	2.28506918
1	346.725861	11.1847052	2.7961763
2	270.514919	8.72628771	2.18157193
3	364.275147	11.7508112	2.9377028
4	561.35705	18.1082919	4.52707298
5	442.703302	14.2807517	3.57018792
6	694.463408	22.4020454	5.60051135
7	1125.70348	36.3130154	9.07825384
8	1752.47791	56.5315454	14.1328863
9	1928.56691	62.2118357	15.5529589
10	5182.16989	167.166771	41.7916927
11	6105.57491	196.954029	49.2385073
12	5967.52115	192.500682	48.1251706
13	6321.90091	203.932287	50.9830718
14	5310.72525	171.313718	42.8284294
15	5844.45657	188.530857	47.1327143
16	6350.27686	204.847641	51.2119102
17	6404.53637	206.597948	51.6494869
18	4602.57717	148.470231	37.1175578
19	2524.87395	81.4475467	20.3618867
20	2339.18408	75.4575509	18.8643877
21	1888.92333	60.9330105	15.2332526
22	859.953135	27.7404237	6.93510593
23	632.141971	20.3916765	5.09791912

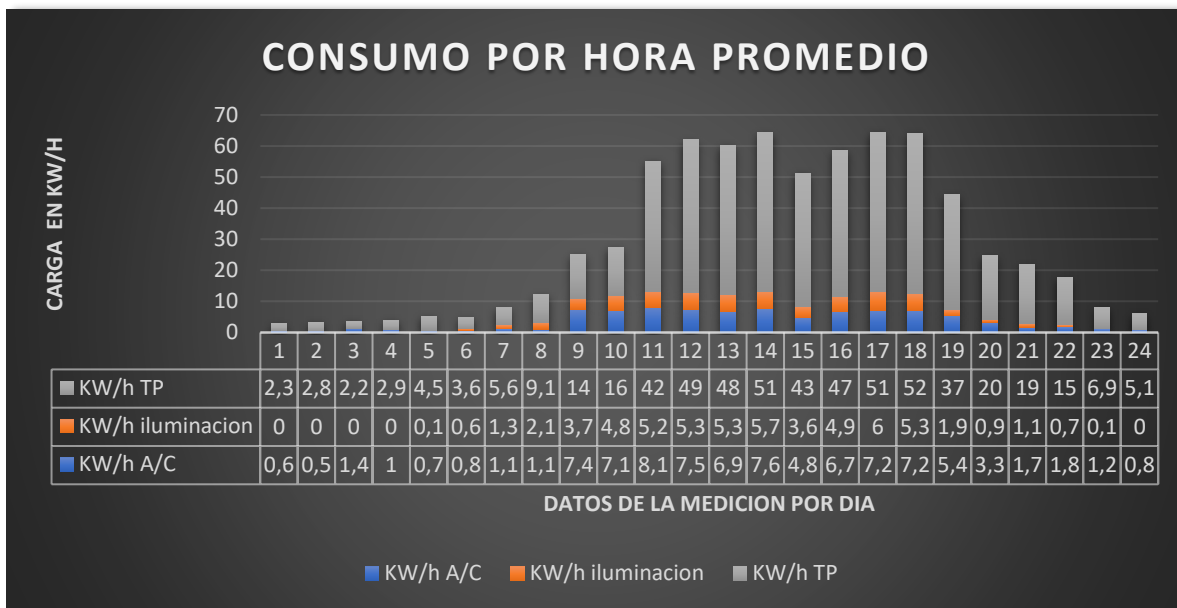
Fuente: Elaboración propia



Grafica 5 Consumo diario en KW/h para el tablero TP

Fuente: Elaboración propia

Para poder definir el factor de uso de este tablero se tomó como base las mediciones realizadas en sitio, las cuales como se muestra en la tabla 34 el mayor consumo se da entre la 1:00PM a las 5:00PM, y se registran consumos máximos de 51.65 KW/h (57388 KVA/hr), a este dato se le deberá sumar el consumo de los equipos condensadores , lo cual da un parámetro real de este consumo. Ahora bien, se tiene que la carga instalada de este tablero ronda los 750000 VA por lo cual se podría decir que el factor de utilización para esta edificación es de 46.66% aproximadamente. Ahora bien, si la carga demandada de este tablero ronda los 549.23 kW/h diarios y las mediciones reales permiten sacar un promedio de las horas de uso anual las cuales darían un consumo anual de 204313.56 KW/h.



Grafica 6 Consumo por hora promedio en KW/h para el tablero TP

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.1 Presupuesto de propuesta fotovoltaica utilizando 100% de área disponible en metros cuadrados.

Una vez definida la cantidad total de paneles a utilizar para la implementación de esta propuesta, realizo el presupuesto para calcular el costo total, el cual se puede observar en la tabla 35.

Tabla 35 Presupuesto de sistema fotovoltaico con 628 paneles

Producto	Marca	Modelo	Cantidad	Precio unitario (USD)	Total (USD)
Panel solar	Jinko	JKM325PP-72	628	145.58	\$ 91,424.24
Microinversor	ENPHASE	IQ6+	628	111.66	\$ 70,122.48
Cable	ENPHASE	Engage Cable	628	15	\$ 9,420.00
Equipo de monitoreo	ENPHASE	Envoy-S	1	403	\$ 403.00
Estructura de soporte para techo	Estructura de soporte para techo	Pack L-Foot	186.53	86.59	\$ 16,151.63
Tipo de cambio según BAC San José, consultado el 10 de junio de 2018			₡571.00	Subtotal	₡ 107,074,692.39
				Gastos administrativos (2%)	₡ 2,141,493.85
				Mano de obra 10%	₡ 214,149.38
				Medidor trifásico	₡ 78,000.00
				Total	₡ 109,508,335.62

Fuente: Elaboración propia

Según lo definido en la sección anterior, con este arreglo de 628 paneles solares, la generación eléctrica sobrepasa el consumo total del edificio, por lo cual, se cubriría toda la demanda anual.

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al realizar un diseño electromecánico se debe tener en cuenta que existe una dependencia a ciertos factores externos para llegar al resultado deseado y debido a esto, algunas veces un proyecto se ve limitado a la utilización de una tecnología u otra.

Para el caso de este proyecto en particular se cuenta con los requerimientos del dueño de la edificación, el cual es el encargado de dar los requerimientos básicos que debería tener la edificación de oficinas la cual se diseña. En este edificio, el dueño solicitó cuatro requisitos indispensables para su desarrollo, los cuales se comentan a continuación, a nivel de iluminación se tomó un sistema de iluminación el cual contempló un control inteligente y la utilización de la tecnología led, asimismo, para el sistema de aire acondicionado solicitó un sistema de agua helada, específicamente de la marca YORK, otro de los puntos solicitados fue que la iluminación de áreas comunes y la de los dos sótanos fueran alimentadas por un sistema fotovoltaico el cual permitiera disminuir el consumo del edificio.

Por último, pero no menos importante hizo énfasis en que todo el diseño se basara en normas que le permitieran tener un consumo energético reducido en comparación con otras edificaciones que cuentan con tecnologías menos eficientes, esto permitiendo tener un edificio que podría obtener puntos LEED, pero sin estar certificado.

De esta solicitud nace la idea de tomar mediciones en sitio para realizar el diseño lo más óptimo posible, obteniendo valores de rendimiento y comportamiento de estructuras que tenga un uso, consumo y área similar al edificio a diseñar, de esta manera conseguir consumos apegados a la realidad.

5.1 Propuesta iluminación LED y control de iluminación

Como primer punto para desarrollar la propuesta en el diseño de iluminación, se debía realizar el cálculo de horas de uso, en este punto se tenían tres opciones para la obtención de estas horas las cuales dependieron del caso en estudio, la primera era definir estas horas tomando como base la ASRHAE 90.1 específicamente la tabla G-G del apéndice G ya que esta permite obtener un aproximado de horas de uso de una edificación según su ocupación; la segunda opción era definir las horas por medio del cliente y un horario establecido, en el caso de esta edificación se habló de un horario de 7:00am a 6:00pm; y como tercera opción se tenía realizar mediciones reales de una edificación, las cuales permitieran definir los valores de consumo y horas de uso, así como observar y definir cuál de los sistemas electromecánicos era el que generaría mayor consumo y en cuáles horas.

Para realizar los cálculos de este proyecto se definió utilizar dos de estas opciones; en el caso del cálculo de las nuevas tecnologías y la definición de consumos y ahorros alcanzables se utilizaron las mediciones reales obtenidas en sitio, y en el caso donde no se contaba con medición directa se utilizó el Código Eléctrico Nacional y la ASHRAE 90.1.

Por otro lado, para la definición de la cantidad de luminarias de un recinto existían varios métodos, en este caso se utilizó el cálculo por medio del método de lúmenes el cual depende de varios factores importantes que se deben considerar, de esto a que en la sección 4.1.2 se realizara un catálogo de selección de luminarias en el cual se brindaron las descripciones de cada luminaria, se escogieron luminarias de la marca Phillips y Eaton esto debido a que son luminarias que cuentan con un alto índice de

reproducción cromática, permiten ser atenuadas, tienen la posibilidad de ser controladas con voltajes muy bajos como lo es de 0 a 10V, y uno de los puntos a resaltar son el color y temperatura a utilizar; todos estos son factores importantes para cumplir con el tema de calidad de espacios de trabajo lo que se vería reflejado en un buen confort lumínico.

Ahora bien, una vez cumplidos estos requisitos no se puede olvidar el tema de consumo, por lo cual se buscaron luminarias que tuvieran una carga menor a las fluorescentes, sin dejar de lado los lúmenes necesarios para cada recinto, por lo tanto, se escogieron luminarias que contaran con una alta eficiencia, las utilizadas en el proyecto tienen eficiencias de más de 100 lúmenes por watt.

Para el tema de control de iluminación se tomaron en cuenta cuatro tipos de control, los cuales se encuentran en la sección 2.2.3. Luego de realizar una comparación entre estos tipos se escogieron dos sistemas para llevar a discusión con el cliente; como primera opción se deseaba implementar un sistema de bajo voltaje con alimentación PoE, pero debido al elevado costo el cliente declinó hacia esta propuesta, por lo cual se determinó que la opción recomendable sería un control de iluminación de la marca Lutron, el cual cuenta con una amplia gama de productos con sus propias tecnologías patentadas como lo son los sensores duales que permiten un censado por medio de señales infrarrojas y ultrasónicas que permiten, a su vez, la detección de cualquier movimiento; de igual manera, se implementaron sensores de luz día con el objetivo de aprovechar la incidencia solar en el edificio, debido a los grandes ventanales con los que cuenta la edificación.

Para el control se decidió utilizar el sistema Quantum de Lutron, el cual por medio de un software permite combinar balastos digitales, drivers led y sensores; de esta manera,

permite el control inteligente de zonas y, a su vez, permite la interacción con botoneras de control, así como también realizar la atención por zonas y a un porcentaje determinado; de manera que, todo como un conjunto proporcione un ahorro energético mayor y brinde un sistema más eficiente. Los modelos de estos equipos se pueden encontrar en la sección 4.1.4.

Ahora bien, una vez realizada la propuesta al cliente sobre el tipo de luminarias a utilizar y el sistema de control de iluminación; se cuestionaba como sería el comportamiento de estos sistemas y si, efectivamente, se generaría un ahorro al momento de realizar el cambio de tecnología, dicho cuestionamiento motivó a realizar un análisis con mediciones reales para poder definir factores de utilización.

Hoy en día muchas edificaciones cuentan con sistemas de medición directa que permiten llevar un control exhaustivo de consumo y esto da los parámetros para realizar las comparaciones requeridas, pero en un diseño para una edificación nueva, como es el caso de este proyecto, se tuvo la necesidad de basarse en mediciones realizadas a edificaciones que tuvieran cargas y distribuciones arquitectónicas similares. Para el presente caso, se realizaron las mediciones en un edificio en México, el cual es propiedad del actual cliente, y cuenta con la misma distribución arquitectónica, de ahí a que las mediciones sean un parámetro certero para el cálculo de estos factores. En la sección 4.1.5 se puede encontrar de manera detallada el proceso de dichas mediciones.

Como primer punto obtenido por medio de las mediciones se pudo determinar cuántas eran las horas de consumo y cuál era su máximo consumo diario. Para este cálculo se realizó un promedio de consumo por horas de cada día obteniendo que el pico de consumo por concepto de iluminación rondaba los 5.98 Kw/h. Este parámetro permitió

realizar el cálculo del factor de utilización, el cual según la Tabla 220.42 del Código Eléctrico Nacional debía ser un 100% de la carga instalada por el tipo de uso de la edificación; no obstante, al obtener el dato del consumo máximo real de la edificación, así como tener la carga instalada del tablero de iluminación, se pudo determinar que el factor de utilización para un edificio que contara con tecnología LED y un control de iluminación inteligente rondaba el 39%; de igual manera, por medio de una base de datos, así como la entrevista realizada al experto en la materia el Ingeniero Luis Diego Vásquez Ulate, director de Circuito S.A. México, se pudo definir que para una edificación que contara con tecnología fluorescente y con un control de iluminación on/off el factor de utilización se encontraba alrededor del 81%.

Estos factores permitieron, a su vez, realizar un cálculo de la carga de alumbrado general por metro cuadrado, el cual, siguiendo los parámetros de la Tabla 220-12 del Código Eléctrico Nacional, el cual especifica que la carga unitaria (VA/m^2) para una edificación de oficinas ronda los $39 VA/m^2$, lo cual con la medición realizada se obtiene que la carga por metro cuadrado real de estas oficinas ronda los $8 VA/m^2$; de igual manera, con lo consultado al Ingeniero Vásquez, se define que para el diseño de un sistema de iluminación el factor de carga unitaria que se debería utilizar es de $15 VA/m^2$.

A la hora de realizar una auditoria energética para definir si un proyecto es rentable o no, se debe definir el consumo total de Kw/h mensuales, esto para poder definir el ahorro que se puede obtener por la implementación de una nueva tecnología. Para este proyecto, al tener el consumo de la edificación por hora se pudo calcular el costo diario de la edificación según los costos de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, la cual brindaría el servicio al proyecto por ubicarse en el área de San José, esto dependiendo

de si se encuentra en tarifa punta, valle o nocturna. De esta manera, se utilizó la tarifa TMT debido a la ocupación del local y el consumo que se tiene.

Para esta edificación, una vez definidos los factores de utilización y el tipo de facturación que se realiza se definió la carga total mensual para cada tecnología dando así, que para la nueva implementación se tendría un consumo mensual 1814 Kw/h y para un sistema convencional sería de 6025.95 Kw/h al mes.

Una vez establecidas las mediciones y modelos de luminarias, así como el control de iluminación, se realizó el análisis financiero para dicha propuesta.

En este análisis se realizó el presupuesto de esta implementación y se determinó que este sería definido por piso, ya que cada inquilino podría escoger, en dado caso, si implementaría o no la nueva tecnología, o si implementaría otro tipo de control de iluminación; asimismo, se pudo definir que el costo total por concepto de luminarias es aproximadamente de ₡13,367,530.26 y por concepto del sistema de control de Lutron se tiene un valor de ₡17,126,977.13, contemplando en ambos montos lo relacionado a costos de mano de obra, el cual, para la instalación de las luminarias ronda un 50% del costo de las luminarias y para la instalación del sistema de control un 20% del costo de los equipos del control de iluminación, igualmente se toma en cuenta un 2% por temas de previstos. Los precios consultados fueron brindados en dólares, por lo cual, se tomó como referencia el tipo de cambio del BAC San José (consultado 06-10-2018).

Según el presupuesto solicitado de luminarias tipo led, la implementación de estas rondaría un precio 2.9 veces más caro, este dato solo refiriéndose a luminarias. Si se

realizara la comparación del sistema de iluminación convencional contra la propuesta de luminarias led y control de iluminación sería 4.6 veces más cara la implementación.

De este análisis se rescata la comparación entre consumo energético para poder definir el ahorro anual, el cual da paso para realizar el cálculo de retorno de inversión, donde se tomó en consideración la sumatoria de los costos totales de las dos implementaciones las cuales van de la mano, por este motivo todos los cálculos de anteriores se realizaron con la implementación en conjunto de los sistemas, el costo total de la implementación dio un resultado de $\text{C}\$30,494,507.39$. Es importante, a la hora de realizar el cálculo de ahorro anual y el cálculo retorno de inversión, definir valores como la tasa de descuento a utilizar en el proyecto, así como también otros factores que influyan dentro de este cálculo final.

En el caso de este proyecto se tomó en consideración el aumento anual en el costo de la facturación eléctrica, dicho porcentaje fue definido con la base de datos de la ARESEP, la cual al ser la entidad reguladora de servicios cuenta con los datos del aumento de los últimos dos años, con lo cual se obtuvo un promedio aproximado de un 2% anual para el cálculo del factor de descuento, para este análisis se utilizó como referencia el interés de los préstamos para inversiones LEED, el cual según el BAC San José (consultado 06-10-2018) es de un 5.9%.

Una vez realizado el cálculo financiero correspondiente para el cálculo del VAN y el TIR se logró determinar que la inversión de la propuesta de iluminación y control de iluminación se podría recuperar en 3 años y 8 meses, obteniendo un VAN de $\text{C}\$78,027,940.38$ y un TIR de 32%, traduciéndose esto en que la implementación de esta propuesta al tener un VAN superior a 0 refleja que el proyecto podría conseguir

ganancias y beneficios, a su vez si se observa el TIR el cual ronda 32% se debe decir que la rentabilidad de este permite tomar la decisión de aceptar la implementación de tecnología.

5.2 Propuesta de sistema inteligente de receptáculos

Esta propuesta nace luego de analizar las mediciones realizadas en tableros de tomacorrientes, esto como parte de la base de datos de mediciones de Circuito S.A México, la cual reflejaba que, en horas de la noche, aunque en la edificación no había ninguna persona laborando, se tenía un consumo. Esto motivó a investigar el tema y definir que estos consumos se dan por equipos que quedan en modo de standby, esto debido a actualizaciones con la red o simplemente por ser equipos electrónicos y resistivos se mantienen con un consumo constante.

Ahora bien, según el NEC para definir el factor de utilización de un tablero de contacto, se deberán tomar en consideración los primeros 10KVA al 100% y el resto al 50%, pero para este proyecto se tomó como referencia las mediciones reales tomadas a un tablero de contactos el cual estuvo monitoreado con el equipo anteriormente descrito.

Para este tablero se implementó un sistema de control de cargas conectadas, esto mediante sensores de presencia, los cuales una vez el recinto no estuviera ocupado por personas permitía la desconexión del circuito que alimentaba los tomacorrientes de esa zona específica, permitiendo eliminar ese consumo en standby de los equipos. En la sección 4.2 se habla de dos opciones para realizar este control; para el caso de la propuesta realizada se decidió utilizar el sistema de Lutron, el cual no solo permite un control de iluminación sino permite controlar otras cargas como lo son receptáculos.

De esta manera a nivel económico se estaría hablando meramente de conectar este tablero de tomacorrientes al panel de control por medio de un módulo, el cual, controlaría los breakers los cuales serían motorizados y utilizarían los mismos sensores ya instalados para el sistema de control de iluminación por lo cual sería una inversión aproximada de unos \$342,600, recordando que esto en el caso de que se tenga el control de iluminación.

A su vez una vez realizado el cálculo del factor de utilización según I NEC se obtuvo un factor de 60% el cual al tener una carga instalada de 47.2KVA da una carga demandada de 28.3 KVA, y con los datos obtenidos por medio de las mediciones reales se tiene que el factor de utilización ronda el 43% de la carga instalado lo cual sería de 18 KVA. Esto reflejado en carga por metro cuadrado se podría decir que con un sistema sin control se podría hablar de 22VA/m² y con la implementación de este sistema de control se podría tener uno 13.98 VA/m² lo cual a la hora de realizar un estudio de cargas para realizar un diseño permite no sobredimensionar los sistemas de alimentación.

5.3 Propuesta de sistema agua helada

Para analizar la propuesta del sistema de agua helada, se realizó el cálculo de horas de uso, las cuales se pueden definir tomando como base la ASRHAE 90.1, específicamente la tabla G-G del apéndice G, como se definió en la sección 4.5.1.

Para definir la cantidad de equipos necesarios y la capacidad de los mismos para cada recinto se realizó el cálculo por medio de dos métodos, el primero de ellos fue de manera teórica y se explica paso a paso en la sección 4.3.1, el cual es el método CLTD (Cooling Load Temperature Difference), se basa en los requerimientos básicos de la ASHRAE 90.1. El segundo método se refirió al cálculo por medio del software de Carrier el HAP.

Es importante, como primer paso para ambos métodos, definir temperaturas interiores y exteriores, así como parámetros de humedad relativa.

Una vez definidos los parámetros iniciales se realizó un mapeo de las zonas de manera que se pudiera determinar la carga térmica específica para cada uno de los recintos. Para la escogencia de equipos fue importante conocer los requerimientos del cliente, el cual desde un principio decidió que deseaba que se implementará un sistema de agua helada, aun así, se decidió realizar la escogencia de equipos y el presupuesto para ambas tecnologías.

En cuanto al sistema de agua halada la escogencia de equipos se vio un poco limitada ya que el cliente decidió que la marca que deseaba instalar en el proyecto era YORK, de igual manera se tomaron en cuenta parámetros como eficiencia, tecnología de los motores de estos equipos, así como la cantidad de CFM que brinda el equipo, voltaje, frecuencias, tipo de refrigerante a utilizar, y como punto a rescatar se propuso la implementación de un chiller con rodamientos magnéticos, con el cual cuenta la marca. Dicho equipo cuenta con características de eficiencia muy superiores a los demás chiller que se encuentra hoy en día en el mercado, permitiendo una disminución considerable en el consumo mensual, ya que permite tener una alta capacidad de enfriamiento con bajas potencias de operación, así como también una disminución en los picos que tienen este tipo de equipos, producto del arranque, esto debido a la tecnología de rodamientos magnéticos.

Este equipo alcanza un rendimiento muy superior a todos los demás sistemas de refrigeración, ya que se habla de 0.531 KW/Ton.R. Por todas estas características se escogió el modelo YMC2-S0935A, el cual cuenta con cojinetes magnéticos, y aborda las

preocupaciones más angustiantes de los propietarios de las instalaciones como energía, sostenibilidad, sonido y tiempo de actividad. Este sistema tiene una reducción de ruido alrededor de un 50% en comparación con otros chillers.

Para el tema de control se tomó la decisión de implementar un termostato de la marca Johnson Controls, el cual permite la integración con otros sistemas de control para el caso de este proyecto permitir la integración con el sistema de control de iluminación. Al igual que al ser de dueños de la marca YORK permite una interacción con los equipos de aire acondicionado sin ningún problema de lenguaje, estos equipos cuentan con sensores de presencia, así como también se decidió complementar al sistema de control, por medio de sensores de temperatura remotos tanto a lo externo para tener una lectura de las condiciones del ambiente, así como también internamente en los sectores donde se cree que se podría dar un mayor enfriamiento. También se propone la colocación de contactos magnéticos en las puertas, de manera que, si las puertas quedan abiertas el control desconecte los equipos y no siga tratando de alcanzar temperatura de confort.

Para el cálculo de factores de utilización se basó en mediciones realizadas a edificaciones que tuvieran cargas similares y distribución arquitectónicas similares, como se explicó detalladamente en la sección 4.5.1.

Como primer punto obtenido por medio de las mediciones, se pudo determinar cuántas eran las horas de consumo y cuál era su máximo consumo diario. Para este cálculo se realizó un promedio de consumo por horas de cada día dando que el pico de consumo por concepto de aire acondicionado que ronda los 8.07 Kw/h. Este parámetro permitió realizar el cálculo del factor de utilización, el cual según el Código Eléctrico Nacional debía ser un 100% de la carga instalada por el tipo de uso de la edificación; no

obstante, al obtener el dato del consumo máximo real de la edificación, así como tener la carga instalada del tablero de aire acondicionado, se pudo determinar que el factor de utilización para un edificio, el cual contara con tecnología de agua helada y un control inteligente rondaba el 53%, de igual manera, por medio de una base de datos y por medio de la entrevista realizada al experto en la materia el Ingeniero Luis Diego Vásquez Ulate, director de Circuito S.A. México, se pudo definir que para una edificación que contara con sistema de refrigerante variable VRF, el factor de utilización rondaba el 83.9%, esto con un sistema de control básico, permitiendo a su vez realizar un cálculo de la carga por metro cuadrado por concepto de aire acondicionado.

Con la medición realizada se obtuvo que la carga por metro cuadrado real de estas oficinas rondaba los 13 VA/m², de igual manera, con lo consultado al Ingeniero Vásquez, se define que para el diseño de un sistema de aire acondicionado el factor de carga unitaria que se debería utilizar es de 15 VA/m² y para el sistema de VRF se estima una carga de 20.7 VA/m²

Para esta edificación una vez definido los factores de utilización y el tipo de facturación que se realiza se definió la carga total mensual para cada tecnología, dando así que para la nueva implementación se tendría un consumo mensual 2853.55 Kw/h y para un sistema convencional sería de 8830.76 Kw/h al mes.

Cabe recordar que las condensadoras, al tener un voltaje 480V, estarían alimentadas desde el tablero TP, estos equipos con el sistema VRF tienen una carga de 57.63 Kw (64.04 KVA) por piso, lo cual multiplicado por las horas de trabajo definidas por la ASHRAE 90.1 para este tipo de edificación sería de 13.14 horas al día. Por lo cual, al realizar la multiplicación correspondiente se tiene un consumo de 3029.53Kw/hr esto por

concepto de carga de los cuatro niveles. Esta carga contempla todas las unidades condensadoras externas; ahora bien, si se utiliza un sistema de agua helada, todos estos equipos serán sustituidos por un solo chiller, el cual cuenta con una carga de 141 Kw (156.66 KVA) y al multiplicarlo por las horas de trabajo anteriormente descritas, se tendría un consumo de 1855.3Kw/hr.

Seguidamente se realizó el presupuesto de esta implementación y se determinó que este sería definido por piso, ya que cada inquilino podría definir la distribución interna y la tecnología a utilizar, de esta manera se pudo definir que el costo total por concepto de equipos de aire de un sistema con tecnología VRF rondaba ₡123,285,752 y para un sistema con tecnología de agua helada rondaba los ₡191,184,574.08. Contemplando en ambos montos lo relacionado a costos de mano de obra, el cual para la instalación de equipos ronda un 30% del costo de los equipos, igualmente se toma en cuenta un 2% por temas de previstos, y un 5% por tema de accesorios. Todos los precios consultados fueron brindados en dólares por lo cual se tomó como referencia el tipo de cambio del BAC San José (consultado 06-10-2018).

Para el cálculo de retorno de inversión se tomó en consideración la sumatoria de los costos totales de los equipos las cuales van de la mano, por este motivo todos los cálculos de anteriores se realizaron con la implementación en conjunto de los sistemas. El costo total de la implementación sería de ₡191,184,574.08, es importante a la hora de realizar el cálculo de ahorro anual y el cálculo retorno de inversión definir valores como la tasa de descuento a utilizar en el proyecto, así como también que otros factores van a influir dentro de este cálculo final.

En el caso de este proyecto se tomó en consideración el aumento anual en el costo de la facturación eléctrica, dicho porcentaje fue definido con la base de datos de la ARESEP, la cual al ser la entidad reguladora de servicios cuenta con los datos del aumento de los últimos dos años, con lo cual se obtuvo un promedio aproximado de un 2% anual para el cálculo del factor de descuento, para este análisis se utilizó como referencia el interés de los préstamos para inversiones LEED, el cual según el BAC San José (consultado 06-10-2018) es de un 5.9%.

Una vez realizado el cálculo financiero correspondiente para el cálculo del VAN y el TIR se logró determinar que la inversión de la propuesta con el sistema de agua helada se podría recuperar en 7 años y 4 meses, obteniendo un VAN de ₡167,169,590.97 y un TIR de 16%, traduciéndose esto en que la implementación de esta propuesta al tener un VAN superior a 0 refleja que el proyecto podría conseguir ganancias y beneficios, a su vez, al observar el TIR el cual ronda 16% se debe decir que la rentabilidad de este permite tomar la decisión de aceptar esta implementación de tecnología.

Ahora bien, realizado ese análisis se determinó que un sistema de agua helada es 1.6 veces más caro que el sistema de VRF, por lo cual si el cliente en su momento no tiene los recursos podría implementar este sistema como segunda opción.

5.4 Propuesta de sistema fotovoltaico

La opción de tener una fuente de energía limpia en la edificación siempre es importante, ya que permite subvencionar parte del consumo eléctrico que se tiene. Para el caso de este proyecto el cliente desea que se alimenten solamente cargas de

iluminación de área comunes y los dos niveles de estacionamiento, por lo cual restringe el diseño.

Como primer paso es importante definir la ubicación de la edificación, de esta manera conseguir los valores de radiación solar en la zona y así definir si es una zona donde se pueda implementar el sistema fotovoltaico. Estos valores fueron brindados por la empresa Sunshine, la cual tiene una base de datos y por medio de la utilización de su software se puede determinar. Una vez definidos estos parámetros para el mes de enero, mes elegido para el estudio, se realizó el cálculo para definir el número de paneles que se necesitarían para poder suplir la carga deseada por el cliente la cual ronda los 104.74 Kw/h al día, esto correspondiente a la carga de iluminación de parqueos y áreas comunes, y la definición de horas de uso de estos recintos según la ASHRAE 90.1 tabla G-H ya que para estos tableros no se cuanta con una medición directa.

Luego de realizar el cálculo se definió que se deberían instalar 101 paneles solares los cuales cuentan con una potencia por módulo de 320W, por lo tanto se puede decir que se contaría con 32320W en total; con este dato el siguiente paso fue definir la energía generada por este arreglo de paneles el cual va a multiplicar esa potencia total por radiación solar y por la cantidad de días del mes, así para el mes de enero se pudo determinar que la generación anda alrededor de 3677 Kw/h, y así una vez realizado el cálculo para cada uno de los meses del año se pudo definir que la capacidad anual total generada por ese arreglo de paneles fue de 42685.66 Kw/h y el consumo anual que tenía era de 38246 Kw/h anuales por lo cual se tiene una sobre generación de un 10.4% aproximadamente.

Como punto importante a definir en estos sistemas es el área necesaria para colocar el arreglo que se escogió, de manera que para esta propuesta es necesario contar con un área de 196 m², tomando en cuenta el área del panel y a su vez espacios de mantenimiento. Se tomó la decisión de utilizar microinversores por las características que tienen y se definió que se ocupaban 101 esto por la potencia que tiene cada uno de estos paneles, esto debido a que el microinversor seleccionado tiene una capacidad de 350W y el módulo solar escogido tienen 320W.

Al llegar a este punto ya solo queda definir cuantos circuitos se van a necesitar para la instalación y definir los calibres para este caso se utilizará calibre 12AWGTHHN esto según la tabla 310.16 del NEC y circuitos de 20A.

El costo de la implementación de un sistema fotovoltaico como el mencionado ronda \$19,581,403.07; es importante a la hora de realizar el cálculo de ahorro anual y el cálculo retorno de inversión definir valores como la tasa de descuento a utilizar en el proyecto, así como también que otros factores van a influir dentro de este cálculo final.

En el caso de este proyecto se tomó en consideración el aumento anual en el costo de la facturación eléctrica, dicho porcentaje fue definido con la base de datos de la ARESEP, la cual al ser la entidad reguladora de servicios cuenta con los datos del aumento de los últimos dos años, con lo cual se obtuvo un promedio aproximado de un 2% anual para el cálculo del factor de descuento, para este análisis se utilizó como referencia el interés de los préstamos para inversiones LEED, el cual según el BAC San José (consultado 06-10-2018) es de un 5.9%.

Para este cálculo también se tomó en cuenta el costo que conlleva bajar la energía de la red de distribución, este monto se calculó por medio de las tarifas vigente y reguladas por la ARESEP que brinda cada empresa de servicios eléctricos.

Las tarifas de acceso a la red, para este caso se usarían las de CNFL, por la ubicación del proyecto, el monto de esta tarifa es de 17.92 col/kWh, dato el cual fue facilitado por el Master Alvaro Rojas Camacho el cual labora para el Instituto Costarricense de Electricidad y cuenta con experiencia en la generación con fuentes renovables.

Este dato se deberá tomar en cuenta en proyectos en donde se genera más energía de la que se está consumiendo esto debido a que este excedente se debe subir a la red y genera un costo para la empresa de servicios eléctricos, por lo cual a la hora de utilizar esta energía de nuevo se deberá pagar por este rubro.

Una vez realizado el cálculo financiero correspondiente para el cálculo del VAN y el TIR se logró determinar que la inversión de la propuesta con el sistema fotovoltaico se podría recuperar en 9 años y 5 mes, obteniendo un VAN de ₡ 10,347,067.71 y un TIR de 12%, traduciéndose esto en que la implementación de esta propuesta al tener un VAN superior a 0 refleja que el proyecto podría conseguir ganancias y beneficios, a su vez si se observa el TIR el cual ronda 13% se debe decir que la rentabilidad de este permite tomar la decisión de aceptar esta implementación de tecnología.

Ahora bien, realizado ese análisis se determinó que se podría plantear una segunda opción, la cual sería aprovechar toda el área efectiva de la azotea, la cual al seguir el procedimiento calculado en los pasos anteriores permite determinar que en esa azotea

se podrían instalar unos 628 paneles solares, obteniendo una potencia total de 20096W, a su vez una generación anual de 265371.7 Kw/h al año.

Para esta comparación de consumo se debe recordar que se tenía la medición del tablero principal, el cual alimenta a los otros tableros, los cuales se derivan a cada uno de los niveles, así mismo se pudo determinar cuánto era el consumo anual el cual ronda los 204313.56Kw/h, por lo cual se podría decir que cubriría la demanda total del edificio y aun así quedaría un excedente, el cual si la ley y las normas nacionales lo permitieran se podría subir a la red y poder recibir un incentivo por este rubro.

El costo de esta implementación ronda los \$109.508.335.62, tal como se muestra en la tabla 35 en la sección 4.4.2.1. Al tener una sobre generación de un 23% hace que para el primer año se pueda recuperar la inversión de los 628 paneles solares.

CONCLUSIONES

- Para la realización de diseños electromecánicos se debe seguir paso a paso las regulaciones y criterios de diseño que brindan el Código Eléctrico Nacional vigente y normas que rigen en el país; de esta manera, obtener un diseño seguro evitando poner en peligro la vida de las personas.

Por medio de las mediciones realizadas en el sitio se pudieron definir dos puntos importantes a nivel de diseño como lo son la obtención de factores de utilización y las horas de uso de la edificación. Este procedimiento de mediciones se detalló en la sección 4.1.5, específicamente en la página 83 del presente documento, en la cual se encuentra la figura 16, correspondiente al mapeo realizado de los consumos promedios diarios para el sistema de iluminación; y en la sección 4.3.5, en la página 109, donde se encuentra la figura 19 que corresponde al mapeo realizado de los consumos promedios diarios para el sistema de aire acondicionado.

En el primer punto, sobre la obtención de factores de utilización, se concluye que un diseño basado en el Código Eléctrico Nacional y la ASHRAE 90.1 podría quedar sobredimensionado, ya que tanto este código como la norma no brindan factores de utilización, ni una estimación de carga por metros cuadrados tan cercanos a la realidad. En este proyecto, dicho dato se logró mediante las mediciones anteriormente mencionadas, tal como se detalló en la sección 5.1, página 140, y en la sección 5.3, página 147, donde se definió el factor de utilización y la carga por metro cuadrado, esto en temas referentes al aire acondicionado, iluminación y consumo general del edificio.

Asimismo, con respecto a las horas de uso, aunque la norma ASHRAE 90.1 brinda un aproximado de horas de uso según el tipo de aplicación de la edificación, la medición demostró que esto va ligado directamente al diario vivir de la edificación, es decir, para el cálculo de consumo energético y ahorro se debe usar los parámetros conseguidos por medio de medición directa en campo y así obtener un número más apegado a la realidad.

- En cuanto a las nuevas tecnologías de iluminación, la tecnología led ha venido a sustituir a la fluorescente e incandescente. En conclusión, esta tecnología led permite tener una eficiencia superior a las otras tecnologías con valores por luminaria de más de 100 lúmenes por Watt, como se muestra en la sección 4.1.2, en la página 73, en la cual se especifican las descripciones de cada luminaria utilizada en el proyecto, lo cual permite una disminución en la cantidad de luminarias por recinto, siempre y cuando, se mantengan los lúmenes necesarios cumpliendo con las especificaciones de las diferentes normas con las cuales se trabaja cada diseño.

La cantidad de luminarias fue definida por medio del cálculo teórico, el cual se encuentra en la sección 4.1.1, así como con la simulación en el software ElumTools; cabe resaltar que el informe y los render del área de las estaciones de trabajo y oficinas de conferencia de dicha simulación se adjuntan en el apéndice 19. Este resultado permitió concluir que con el software se tiene una mayor exactitud en cuanto a cantidad de luminarias e iluminación final del diseño, ya que al ser modelos en 3D, y al permitir cargar las fotometrías

brindadas por el fabricante permite la interacción de todos los elementos que contiene el recinto a estudiar.

De igual manera, se demostró que, con estas luminarias en conjunto con un sistema de control inteligente, se puede alcanzar un confort lumínico, el cual brinde calidad de espacio de trabajo. Asimismo, se pudo demostrar la disminución considerable de consumo mensual de Kw/h, por medio de la sección 4.1.5, y, por ende, la disminución de la facturación mensual eléctrica.

En la implementación de estos sistemas de iluminación led y control de iluminación se toma como parámetro el tema de precios, lo cual va a depender de lo que realmente desee el cliente. Para la implementación de estos sistemas se demostró, por medio del presupuesto brindado por el fabricante en la sección 4.1.6 para el tema de luminarias, que la tecnología led sería 2.9 veces más cara que las luminarias de las tecnologías anteriores y se mencionaba en la sección 4.1.7 del control de iluminación que esta implementación hace que el proyecto tenga un costo aproximado de 4.6 veces mayor del costo de un sistema convencional, esto utilizando marcas de prestigio que brindan excelentes condiciones de garantía de los productos; de igual manera en el mercado existen opciones a un precio menor pero de calidades inferiores.

- Un tema para tomar en consideración en un diseño de edificaciones de oficinas es el tema de las cargas en standby. A pesar, de que en algunas ocasiones es un tema que pasa desapercibido, está presente, generando gastos y consumos que se podrían disminuir. Se concluye que por medio de las mediciones realizadas en campo a tableros de receptáculos, los cuales cuentan con un

sistemas de control para este tipo de cargas por medio de sensores y un panel de control, tal como se muestra en la sección 4.2, se logró determinar que el factor de utilización disminuyó de 60%, el cual se calculó por medio de la tabla 220.44 del NEC, la cual se encuentra en la página 98 del documento, a un 43% determinado por las mediciones reales; por ende, la estimación de carga por metro cuadrado también disminuyó considerablemente de 22 VA/m² a 13.98 VA/m², generando un menor consumo energético y permitiendo un diseño óptimo.

- En cuanto al sistema de aire acondicionado, ha crecido a nivel de tecnología y se implementan sistemas cada vez más eficientes, los cuales permiten tener consumos menores comparado a los sistemas convencionales que se conocen y que están implementados en las edificaciones actuales, de ahí a que se implementara un sistema con tecnología de agua helada, el cual luego de obtener los factores de utilización, los cuales se definieron en la sección 4.3.5, página 109, y por medio de la figura 19, la cual refleja los consumos promedios del sistema de aire acondicionado, se concluye que si se diseña con base al Código Eléctrico Nacional, el sistema a nivel de acometidas eléctricas quedará sobredimensionado, ya que el código especifica que se debe utilizar un factor de uso del 100% por el tipo de carga; pero una vez realizado los cálculos por medio de los datos obtenidos en la mediciones reales se pudo definir que el factor de utilización para este tipo de tecnología con un sistema de control inteligente era de un factor del 53% como se muestra en la página 110, donde

se realiza dicho cálculo. Lo cual, se verá reflejado en la facturación mensual y en el cálculo de los conductores eléctricos.

Con respecto a la recuperación y el costo de este tipo de implementación de tecnología, es un sistema con un costo muy elevado como se muestra en la sección 4.3.7, donde se detalla el precio total de la implementación del sistema de agua helada. En la sección 4.3.6 se detalla el costo del sistema VRF, con lo cual se concluye que esta última tecnología mencionada es 1.6 veces más barata que el sistema con tecnología de agua helada, por lo cual, en el caso de no tener un presupuesto que permita la implementación de un sistema de agua helada en el proyecto, el sistema VRF sería una opción por tomar en consideración, por temas de eficiencia y menores costos.

- La utilización de fuentes renovables para la generación de energía eléctrica ha venido en crecimiento día a día, de manera que cada vez se tiene más tecnología y más eficiencia en estos sistemas. Para el caso de este proyecto, se implementó la generación fotovoltaica para cubrir la demanda de tableros de iluminación de parqueos y áreas comunes, como lo solicitó el cliente, en este punto se demostró por medio del cálculo realizado, tal como se muestra en la sección 4.4.1, que con un arreglo de 101 paneles solares se podía cubrir la demanda de las cargas que se deseaban alimentar; no obstante, al realizar el cálculo se evidenció que se podría tener una segunda opción, la cual era ocupar toda el área efectiva del nivel de azotea, lo cual se concluyó que se puede cubrir toda la demanda del edificio.

Incluso, se generaría un excedente que se podría subir a la red, pero no se podría obtener ganancia alguna. En conclusión, aunque se tenga una gran capacidad de generación fotovoltaica, las normas y leyes del país no permiten vender este excedente, lo cual dificulta en algunos casos pagar esa inversión solamente con el ahorro generado.

- El Código Eléctrico Nacional brinda la metodología y tablas necesarias para el cálculo de factores de utilización de tableros de iluminación y de aire acondicionado, pero no contempla el cálculo de dicho factor para un tablero principal. En el proyecto se contaba con la medición del tablero principal de cada nivel, el cual, por medio del mapeo de la figura 21, en la página 130, realizado con los datos obtenidos de estas mediciones reales dio como resultado un factor de utilización de un 46.66% aproximadamente, lo cual, permite disminuir el calibre de la acometida eléctrica, así como dimensionar la capacidad que debe tener el transformador del proyecto.

En conclusión, el cálculo del factor de utilización para este tipo de tableros principales queda a criterio y experiencia del ingeniero encargado del diseño, el cual estudie la simultaneidad de los sistemas y, de esta manera, definir un factor de utilización correcto, siempre y cuando vele por la seguridad y funcionalidad del sistema.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para edificios donde el cliente desee tener una corriente de datos en tiempo real del comportamiento del edificio y de cada uno de los sistemas y equipos implementados en la edificación, se busque la opción de implementar un sistema Building Manage System (BMS), el cual permite tener el monitoreo y control de equipos mecánicos y eléctricos, dando la posibilidad de utilizar varios lenguajes de comunicación, como lo es el lenguaje mod bus y BACnet IP, entre otros. Es importante, realizar el estudio de retorno de inversión para la implementación de este tipo de sistema para poder definir la rentabilidad del sistema.
- Para el tema de iluminación y aire acondicionado, existe la opción de implementar un sistema de persianas automáticas, que permita tener una interacción con el sistema de control de iluminación, permitiendo, a su vez, aprovechar en ciertas horas del día la incidencia solar. Para este proyecto, se descartó esta opción por el alto costo, por lo cual se recomienda realizar el análisis de consumo energético para poder definir el ahorro, y así definir la rentabilidad de la implementación de estos accesorios.
- En el proyecto se mencionó en referencia a los sistemas de iluminación, la existencia de un sistema de iluminación el cual se alimenta a 24V por medio de cable UTP, permitiendo, por medio de un software y datos en la nube, tener el control de cada luminaria, lo cual permite tener un control más preciso de cada zona, de igual manera, en este sistema cada luminaria cuenta con su sensor de ocupación y luz día. Se recomienda realizar un estudio completo del retorno

de inversión para este tipo de implementación, ya que durante el desarrollo de este documento se descartó por el alto costo; sin embargo, se podría estudiar para edificaciones con otro tipo de uso.

- Se recomienda que para edificaciones de oficinas se contemple la opción de utilizar mingitorios secos, los cuales permitan disminuir el consumo de agua de cada unidad accesorio, en las baterías sanitarias, tal como lo especifica el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias, logrando que el caudal necesario de funcionamiento del edificio sea menor; por ende, el tamaño de la bomba de agua potable sea de menor tamaño, lo cual se vea reflejado en una disminución en el consumo eléctrico.

BIBLIOGRAFIA

¿Qué es el Valor Actual Neto o VAN? | Cómo calcular el VAN. (2016). *Economía Simple*. Recuperado 24 May 2018, a partir de <https://www.economiasimple.net/glosario/valor-actual-neto>

(2018). *Lutron.com*. Recuperado 24 May 2018, a partir de <http://www.lutron.com/es-LA/Paginas/default.aspx>

ASÍ FUNCIONAN LAS LÁMPARAS FLUORESCENTES. (2015). *Asifunciona.com*. Recuperado 1 June 2018, a partir de http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_fluorescentes/af_fluorescentes_1.htm

Bankable solar data for better decisions. (2018). *Solargis.com*. Recuperado 1 June 2018, a partir de <https://solargis.com/>

Diferencias entre luminarias LED SMD, LED COB y MICROLED ¿Con cuál me quedo? ¿Cuál es mejor? - Smart LED. (2015). *Smart LED*. Recuperado 24 May 2018, a partir de <http://www.soluciones-led.com/diferencias-entre-luminarias-led-smd-led-cob-y-microled-con-cual-me-quedo-cual-es-mejor/>

Fluorescent Highbay Lights | Lowbay | Industrial | Eaton. *Cooperindustries.com*. Recuperado 24 May 2018, a partir de http://www.cooperindustries.com/content/public/en/lighting/products/highbay_lowbay_industrials/fluorescent.html

García, J. *Cálculos en iluminación de interiores.* *Recursos.citcea.upc.edu*. Recuperado 24 May 2018, a partir de <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>

INTE-31-08-06-00. INTECO. Recuperado 20 May 2018, a partir de <http://higieneindustrialyambiente.com/userfiles/INTE2031-08-06-00iluminacion.pdf>

LED Lighting, Controls and Daylighting Leader | Acuity Brands. (2018). *Converter and Starter Cables*. Recuperado 24 May 2018, a partir de <https://www.acuitybrands.com/>

Ley de Regulación del Uso Racional de la Energía. (2012). *Pgrweb.go.cr*. Recuperado 29 April 2018, a partir de

http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=24436&nValor3=94042¶m2=1&strTipM=TC&lResultado=9&strSim=simp

NFPA 70 Código Eléctrico Nacional. (2008) (1st ed.). Costa Rica.

Philips Lighting - Soluciones de iluminación convencional y LED. (2018). *Lighting.philips.es*. Recuperado 24 May 2018, a partir de <http://www.lighting.philips.es/inicio>

Planeación, Operación y Acceso, al Sistema Eléctrico Nacional (AR-NT-POASEN). *Aresep.go.cr*. Recuperado 24 May 2018, a partir de <https://aresep.go.cr/images/documentos/ENERGIA/AR-NT-POASEN-2015.pdf>

PROTOCOLO DE KYOTO DE LA CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. *Unfccc.int*. Recuperado 24 May 2018, a partir de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

Standard 90.1. (2018). *Ashrae.org*. Recuperado 24 May 2018, a partir de <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1>

Sunshine Energía Solar - Paneles Solares para ahorrar en energía. (2018). *Sunshine - Costa Rica*. Recuperado 24 May 2018, a partir de <https://www.sunshine.tech/>

Tipo de cambio de venta del dólar de los Estados Unidos de América. (2018). *Indicadoreseconomicos.bccr.fi.cr*. Recuperado 10 June 2018, a partir de <http://indicadoreseconomicos.bccr.fi.cr/IndicadoresEconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%20370>

Tipos de tarifa comerciales, con su respectivo desglose tarifario. (2018). *Cnfl.go.cr*. Recuperado 8 June 2018, a partir de <https://www.cnfl.go.cr/servicios-comerciales-sc/tarifas-vigentes-sc>

Wattstopper Commercial Lighting Control Systems | Legrand. (2018). *Legrand.us*. Recuperado 24 May 2018, a partir de <https://www.legrand.us/wattstopper.aspx>

APENDICE 1. Tabla 4

TABLA 4 - FACTOR SOLAR (S.F.) A TRAVES DEL VIDRIO
Btu/(hr)(pie² de área)

Costa Rica

*- Latitud (10° varía)
- Hora pico
- Hora
- Dirección del viento*

109 LAT. NORTE		HORA SOLAR					
EPOCA	ORIENT.	8	10	12	14	16	18
J U N I O	N	50	44	41	44	50	2
	NE	153	107	28	14	11	2
	E	155	98	14	14	11	2
	SE	55	25	14	14	11	2
	S	11	14	14	14	11	2
	SO	8	14	14	25	55	18
	O	8	14	14	98	155	54
	NO	8	14	28	106	153	55
	Horiz.	107	205	243	205	107	4
J U L I O	N	39	33	30	33	39	5
	NE	148	109	22	14	11	1
	E	158	97	14	14	11	1
	SE	66	32	14	14	11	1
	S	11	14	14	14	11	1
	SO	11	14	14	32	66	26
	O	11	14	14	98	158	50
	NO	11	14	22	109	148	42
	Horiz.	107	210	247	210	107	3
A G O S T O	N	16	15	14	15	16	1
	NE	130	80	14	14	11	1
	E	163	104	14	14	11	1
	SE	94	60	14	14	11	1
	S	11	14	14	14	11	1
	SO	11	14	14	60	94	18
	O	11	14	14	104	163	25
	NO	11	14	14	80	130	17
	Horiz.	105	213	250	213	105	2
N O V I E R E	N	11	14	14	14	11	1
	NE	103	45	14	14	11	1
	E	164	106	14	14	11	1
	SE	127	94	21	14	11	1
	S	13	24	28	24	13	1
	SO	11	14	21	94	127	1
	O	11	14	14	106	162	1
	NO	11	14	14	45	103	1
	Horiz.	97	207	247	207	97	1

109 LAT. NORTE		HORA SOLAR					
EPOCA	ORIENT.	8	10	12	14	16	18
D I C I E N B R O	N	10	14	14	14	10	0
	NE	66	28	14	14	10	0
	E	155	100	14	14	10	0
	SE	147	123	46	14	10	0
	S	40	65	73	65	40	0
	SO	10	14	46	123	147	0
	O	10	14	14	100	155	0
	NO	10	14	14	28	66	0
	Horiz.	85	193	230	193	85	0
E N E R O	N	9	13	14	13	9	0
	NE	37	13	14	13	9	0
	E	143	93	14	13	9	0
	SE	153	146	70	17	9	0
	S	65	96	106	96	65	0
	SO	9	17	70	146	153	0
	O	9	13	14	93	143	0
	NO	9	13	14	13	37	0
	Horiz.	62	175	210	175	62	0
F E B R E	N	9	13	14	13	9	0
	NE	28	13	14	13	9	0
	E	137	91	14	13	9	0
	SE	154	149	79	23	9	0
	S	74	109	120	109	74	0
	SO	9	23	79	149	154	0
	O	9	13	14	91	137	0
	NO	9	13	14	13	28	0
	Horiz.	66	167	202	167	66	0

CORRECCIONES			
Marco metálico o ningún marco x 1/0.85 c 1.17	Altitud +0.7% por 1000 pies	Punto de rocío	
		inf. a 67°F +7% por 109°F	sup. a 67°F -7% por 109°F

Figura A- 1 Tabla 4 de factor solar

Fuente: Guía de aplicación de The Trane Company.

APENDICE 2. Tabla 6 y 7

TABLE 6 — SHADING COEFFICIENTS FOR SINGLE GLASS AND INSULATING GLASS (WITHOUT INSIDE SHADING)

CRISTALES SIN ELEMENTOS INTERIORES

Tabla 4
Tabla 6
 $BTC/HD = Area\ Cristal * FS * Coef$
Somb

A. SINGLE GLASS		
TYPE OF GLASS	NOMINAL THICKNESS	SHADING COEFFICIENT
CLEAR	1/8 in. ^b	1.00
	1/4 in. ^b	0.94
	3/8 in. ^b	0.90
	1/2 in. ^b	0.87
HEAT ABSORBING ^a	1/8 in.	0.83
	1/4 in.	0.69
	3/8 in.	0.60
	1/2 in.	0.53
B. INSULATING GLASS ^c		
CLEAR OUT, CLEAR IN	1/8 in. ^c	0.88
CLEAR OUT, CLEAR IN	1/4 in. ^c	0.81
HEAT ABSORBING ^d OUT, CLEAR IN	1/4 in. ^c	0.55

^aRefers to factory-fabricated units with 3/16, 1/4 or 1/2 in. air space or to prime windows plus storm sash.
^bRefer to manufacturer's literature for values.
^cThickness of each pane of glass, not thickness of assembled unit.
^dRefers to grey, bronze and green tinted heat-absorbing float glass.

STEP 2

TABLE 7 — SHADING COEFFICIENTS FOR SINGLE GLASS WITH INSIDE SHADING VENETIAN BLINDS, DRAPERIES, OR ROLLER SHADES

CRISTALES CON ELEMENTOS INTERIORES

	ESPESES NOMINAL THICKNESS ^a	TYPE OF SHADING				
		DRAPERIES & VENETIAN BLINDS	VENETIAN BLINDS	ROLLER SHADE		
				MEDIUM	LIGHT	OPAQUE
				DARK	WHITE	LIGHT
CLEAR	3/32 to 1/2	0.64	0.55	0.59	0.25	0.39
CLEAR PATTERN	1/8 to 1/2					
HEAT-ABSORBING PATTERN	1/8					
TINTED	3/16, 7/32					
HEAT ABSORBING ^b	3/16, 1/4	0.57	0.53	0.45	0.30	0.36
HEAT-ABSORBING PATTERN TINTED	3/16, 1/4 1/8, 7/32					
HEAT-ABSORBING OR PATTERN	—	0.54	0.52	0.40	0.28	0.32
HEAT-ABSORBING ^b	3/8					
HEAT ABSORBING OR PATTERN	—	0.42	0.40	0.36	0.28	0.31
REFLECTIVE COATED GLASS						
SHADING COEFFICIENT = 0.30		0.25	0.23			
MANUFACTURER'S		0.33	0.29			
RATING WITHOUT		0.42	0.38			
INDOOR SHADING		0.50	0.44			

^aRefer to manufacturer's literature for values.
^bRefers to grey, bronze and green tinted heat-absorbing glass.

Figura A- 2 Tabla 6 y 7 de coeficiente de sombra

Fuente: Guía de aplicación de The Trane Company.

APENDICE 3. Tablas 12, 13, 14, 15

TABLE 12 — U-COEFFICIENT, EXTERIOR VERTICAL PANEL
(WITHOUT INSIDE SHADING)

SIN SOMBR INTERIOR

DESCRIPTION	SUMMER *	WINTER	INTERIOR
FLAT GLASS			
Single Glass	1.04	1.10	0.73
Insulating Glass; Double			
3/16 in. Air Space (with 1/8 in. glass)	0.65	0.62	0.51
1/4 in. Air Space (with 1/8 in. glass)	0.61	0.58	0.49
1/2 in. Air Space (with 1/4 in. glass)	0.56	0.49	0.46
1/2 in. Air Space, Low Emittance Coating:			
e=0.20	0.38	0.32	0.32
e=0.40	0.45	0.38	0.36
e=0.60	0.51	0.43	0.42
Insulating Glass; Triple			
1/4 in. Air Space (1/8 in. glass)	0.44	0.39	0.38
1/2 in. Air Space (1/4 in. glass, 1/8 in. glass, 1/4 in. glass)	0.39	0.31	0.30
Storm Windows			
1 in. to 4 in. Air Space (1/8 in. glass)	0.50	0.50	0.44
PLASTIC SHEET			
Single Glazed			
1/8 in. Thick	0.98	1.06	---
1/4 in. Thick	0.89	0.96	---
1/2 in. Thick	0.76	0.81	---
Insulating Unit — Double			
1/4 in. Air Space	0.56	0.55	---
1/2 in. Air Space	0.45	0.43	---

TABLE 13 — U-COEFFICIENT, EXTERIOR VERTICAL PANEL
(WITH INSIDE SHADING — VENETIAN BLINDS, DRAPERIES & ROLLER SHADES)

CON SOMBR INTERIOR

DESCRIPTION	SUMMER *	WINTER
FLAT GLASS		
Single Glass	0.81	0.83
Insulating Glass; Double		
3/16 in. Air Space (with 1/8 in. glass)	0.58	0.52
1/4 in. Air Space (with 1/8 in. glass)	0.55	0.48
1/2 in. Air Space (with 1/4 in. glass)	---	---
1/2 in. Air Space, Low Emittance:		
e=0.20	0.52	0.42
e=0.40	0.37	0.30
e=0.60	0.44	0.36
Insulating Glass; Triple		
1/4 in. Air Space (1/8 in. Glass)	0.40	0.31
1/2 in. Air Space (1/4 in. Glass, 1/8 in. Glass, 1/4 in. Glass)	0.36	0.26
Storm Windows		
1 in. to 4 in. Air Space (with 1/8 in. glass)	0.48	0.42

TABLE 14 — U-COEFFICIENT, HORIZONTAL PANELS (SKYLIGHTS),
FLAT GLASS, AND PLASTIC DOMES

SUPERFICIES HORIZONTALES (COMOS)

DESCRIPTION	SUMMER	WINTER	INTERIOR
FLAT GLASS			
Single Glass	0.83	1.23	0.96
Insulating Glass; Double			
3/16 in. Air Space (with 1/8 in. glass)	0.57	0.70	0.62
1/4 in. Air Space (with 1/8 in. glass)	0.54	0.65	0.59
1/2 in. Air Space (with 1/4 in. glass)	0.49	0.59	0.56
1/2 in. Air Space, Low Emittance Coating:			
e=0.20	0.36	0.48	0.39
e=0.40	0.42	0.52	0.45
e=0.60	0.46	0.56	0.50
PLASTIC DOMES			
Single — Walled	0.80	1.15	---
Double — Walled	0.46	0.70	---

TABLE 15 — COOLING LOAD TEMPERATURE DIFFERENCE — (C.L.T.D.)

PEAK LOAD	CLTD (*F.)
8 AM	0
10 AM	4
12 NOON	9
2 PM	13
4 PM	14
6 PM	12
8 PM	8

Values for Table 15 are based on design conditions of 95°F. Outdoor temperature; 76°F indoor temperature; 21°F. Daily Range and 85°F. Outdoor Daily Average.

EXAMPLE

Referring to the example on Page 18, it is found that the C.L.T.D. Correction for the Lexington Area is -2°F. Assume a Peak Load time to be 4:00 PM.

From Table 15, the C.L.T.D. value is found to be 14°F. Applying the C.L.T.D. Correction, this new C.L.T.D. value for the Lexington Area becomes 14°F. minus 2°F. or 12°F.

Figura A- 3 Tablas 12, 13, 14, 15

Fuente: Guía de aplicación de The Trane Company.

APENDICE 4. Tablas 16 y 17

TABLE 16 U-COEFFICIENTS FOR WALLS


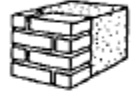



CONS. NO.	DESCRIPTION OF CONSTRUCTIONS	WEIGHT LB./FT ²	U-COEFFICIENT BTUH/FT ² /°F	WALL # GROUP		
1	4-IN FACE BRICK + (BRICK)					 <p>Brick</p>
	a.	Air Space + 4-in. Face Brick	83.2	0.37	C	
	b.	4-in Common Brick no interior finish	81.6	0.46	D	
	c.	Same as (1b) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	87.85	0.43	D	
	d.	Air Space + 4-in. Common Brick no interior finish	81.6	0.32	C	
	e.	Same as (1d) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	87.85	0.31	C	
	f.	8-in. common Brick no interior finish	121.8	0.34	B	
	g.	Same as (1f) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	127.85	0.32	B	
	h.	Air Space + 8-in. Common Brick no interior finish	121.6	0.26	A	
i.	Same as (1h) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	127.85	0.25	A		
2	4-IN FACE BRICK + (H.W. CONCRETE)					 <p>Brick, Stone or Precast Concrete Backed by Poured Concrete</p>
	a.	Air Space + 2-in. Concrete, no interior finish	65.0	0.41	C	
	b.	Same as (2a) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	71.25	0.38	C	
	c.	Air Space + 4-in. Concrete, no interior finish	88.2	0.37	B	
	d.	Same as (2c) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	94.45	0.35	B	
	e.	Air Space + 8-in. or more of Concrete, no interior finish	135.0	0.32	A	
f.	Same as (2e) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	141.25	0.30	A		
3	4-IN FACE BRICK + (L.W. CONCRETE BLOCK)					 <p>Brick & L.W. Block</p>
	a.	4-in. block, no interior finish	54.3	0.35	E	
	b.	Same as (3a) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	60.55	0.33	E	
	c.	Air Space + 4-in. Block, no interior	54.3	0.26	D	
	d.	Same as (3c) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	60.55	0.25	D	
	e.	8-in. block, no interior finish	87.0	0.30	D	
	f.	Same as (3e) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	73.25	0.28	D	
	g.	Air Space + 6-in. or 8-in. Block, no interior finish	67.0	0.23	C	
h.	Same as (3g) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	73.25	0.23	C		
4	4-IN FACE BRICK + (H.W. CONCRETE BLOCK)					 <p>Brick & H.W. Block</p>
	a.	4-in. Block, no interior finish	61.9	0.48	E	
	b.	Same as (4a) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	68.15	0.45	E	
	c.	Air Space + 4-in. Block, no interior finish	61.9	0.33	D	
	d.	Same as (4c) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	68.15	0.32	D	
	e.	8-in. Block, no interior finish	82.3	0.40	D	
	f.	Same as (4e) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	88.55	0.38	D	
	g.	Air Space + 6-in. Block, no interior finish	98.5	0.29	C	
h.	Same as (4g) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	104.8	0.28	C		
5	4-IN FACE BRICK + (CLAY TILE)					 <p>Brick & Tile</p>
	a.	4-in. tile, no interior finish	64.9	0.42	D	
	b.	Same as (5a) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	71.15	0.39	D	
	c.	Air Space + 4-in. tile, no interior finish	64.9	0.30	D	

Table 16 continued on next page

* To be used with Table 22 (CLTD for Dark Sunlit Walls)

TABLE 16 U-COEFFICIENTS FOR WALLS






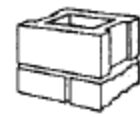
CONS. NO.	DESCRIPTION OF CONSTRUCTIONS	WEIGHT LB./FT ²	U-COEFFICIENT BTUH/FT ² /°F	WALL # GROUP	
5 4-IN FACE BRICK + (CLAY TILE)					 <p>Brick & Tile</p>
	d. Same as (5c) but with 0.75-in. plaster, 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	71.15	0.29	D	
	e. 8-in. tile, no interior finish	88.3	0.29	C	
	f. Same as (5e) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	94.55	0.26	C	
	g. Air Space + 8-in. tile, no interior finish	88.3	0.23	B	
	h. Same as (5g) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	94.55	0.22	B	
6 4-IN FACE BRICK + (FINISH)					 <p>Brick</p>
	a. Airspace + 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	47.85	0.41	D	
	b. Same as (6a) but with 1/2-in. exterior sheathing	53.9	0.20	D	
7 H.W. CONCRETE WALL + (FINISH)					 <p>H.W. Concrete</p>
	a. 4-in. Concrete, no interior finish	46.6	0.80	E	
	b. Same as (7a) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	53.9	0.71	E	
	c. 8-in. concrete, no interior finish	93.4	0.63	C	
	d. Same as (7c) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	99.65	0.58	C	
	e. 12-in. Concrete, no interior finish	140.0	0.53	B	
	f. Same as (7e) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing area	146.25	0.49	B	
8 L.W. CONCRETE BLOCK + (FINISH)					 <p>L.W. Blocks Cavity with Pore Linings</p>
	a. 4-in. Block, no interior finish	12.7	0.41	F	
	b. Same as (8a) but with 0.75-in. plaster; 0.75 in. gypsum or other similar finishing layer	18.96	0.39	F	
	c. 8-in. Block, no interior finish	25.4	0.34	E	
	d. 8-in. Block, Core Filled, No Interior Finish	25.4	0.16	E	
	e. Same as (8c) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	31.65	0.32	E	
	f. 1-in. Stucco + 4-in. Block, no interior finish	22.36	0.38	F	
	g. Same as (8f) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	28.61	0.36	F	
	h. 1-in. Stucco + 8-in. Block, no interior finish	35.06	0.32	E	
	i. Same as (8h) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	41.31	0.30	E	
9 H.W. CONCRETE BLOCK + (FINISH)					 <p>H.W. Blocks Poor Pore Lining</p>
CR	a. 4-in. Block, no interior finish <i>5 in. x 8 in. x 16 in.</i>	20.3	0.61	F	
	b. Same as (9a) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer <i>con. regular</i>	26.55	0.56	F	
	c. 8-in. Block, no interior finish	40.7	0.49	E	
	d. 8-in. Block, Core Filled, no interior finish	40.7	0.33	E	
	e. Same as (9c) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	46.95	0.46	E	
	f. 1-in. Stucco + 4-in. Block, no interior finish	29.96	0.54	F	
	g. Same as (9f) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	36.21	0.50	F	
	h. 1-in. Stucco + 8-in. Block, no interior finish	50.36	0.45	E	
	i. Same as (9h) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	56.61	0.42	E	
	j. 12-in. Block, no interior finish	140.00	0.47	E	
	k. 12-in. Block, Core filled, no interior finish	140	0.32	E	

Table 16 continued on next page

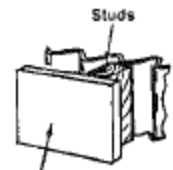
* To be used with Table 22 (CLTD for Dark Sunlit Walls)

TABLE 16 U-COEFFICIENTS FOR WALLS

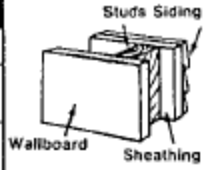
CONS. NO.	DESCRIPTION OF CONSTRUCTIONS	WEIGHT LB./FT ²	U-COEFFICIENT BTUH/FT ² ·°F	WALL * GROUP
10 CLAY TILE + (FINISH)				
	a. 4-in. Tile, no interior finish	23.3	0.51	F
	b. Same as (10a) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	29.55	0.48	F
	c. 4-in. Tile + Air Space + 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	29.55	0.33	F
	d. 8-in. Tile, no interior finish	46.7	0.34	D
	e. Same as (10d) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	52.95	0.32	D
	f. 8-in. Tile + Air Space + 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or other similar finishing layer	52.95	0.25	C
11 METAL CURTAIN WALL + (FINISH)				
	a. Aluminum Sheet or Siding on studs, no sheathing or interior finish	2.4	1.07	G
	b. Same as (11a) but with 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or similar finishing layer	8.65	0.92	G
	c. Same as (11a) but with exterior sheathing & 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or similar finishing layer	6.4	0.42	G
	d. Same as (11a) but with exterior sheathing, air space, 0.75-in. plaster; gypsum or similar finishing layer	8.4	0.30	G
12 WOOD SIDING OR WOOD SHINGLE EXTERIOR + (FINISH)				
	a. Wood Siding on Studs, no sheathing or interior finish	16.0	0.81	G
	b. Same as (12a) but with 1/2 in. exterior sheathing & 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or similar finishing layer	16.0	0.72	G
	c. Same as (12a) but with 1/2-in. exterior sheathing air space, 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or similar finishing layer	16.0	0.44	G
13 FRAME INTERIOR PARTITIONS ON STUDS				
	a. Wood Paneling one side <i>Madura un solo lado</i>	16.0	0.60	Use Actual Temp. Diff.
	b. Wood Paneling both sides <i>Madura ambos lados</i>	16.0	0.51	Use Actual Temp. Diff.
	c. Wood Paneling, Air Space Wood Paneling	16.0	0.35	Use Actual Temp. Diff.
	d. 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or similar finishing layer one side	16.0	0.66	Use Actual Temp. Diff.
	e. 0.75-in. plaster; 0.75 in. Gypsum or similar finishing layer both sides.	16.0	0.39	Use Actual Temp. Diff.
14 MASONRY PARTITIONS				
	a. 4-in. L.W. Concrete Block, 0.75-in. plaster; 0.75-in. gypsum or similar finishing layer both sides	18.7	0.31	Use Actual Temp. Diff.
	b. 8-in. L.W. Concrete Block, 0.75-in. plaster; 0.75 in. gypsum or similar finishing layer both sides	46.7	0.26	Use Actual Temp. Diff.



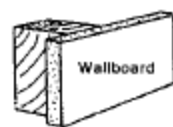
Tile



Wallboard



Wallboard



Stud



L.W. Blocks

*To be used with Table 22 (CLTD for Dark Sunlit Walls)

TABLE 17 — U-COEFFICIENT FOR DOORS[®]

SOLID WOOD DOOR <i>MADERA SOLIDA</i>			
THICKNESS ^a	SUMMER	WINTER	INTERIOR ^f
1-inch	0.61	0.61	0.48
1.25-inch	0.53	0.55	0.43
1.5-inch	0.47	0.49	0.39
2-inch	0.42	0.43	0.36
STEEL DOOR <i>PUERTA METAL.</i>			
1.75-inch	SUMMER	WINTER	INTERIOR
A ^b	0.56	0.59	0.45
B ^c	0.19	0.19	0.18
C ^d	0.45	0.47	0.38

FOOTNOTES

- ^aNominal thickness
- ^bMineral fiber core (2 lb/ft³).
- ^cSolid urethane foam core with thermal break.
- ^dSolid polystyrene core with thermal break.
- ^eUse Group F for doors in the CLTD tables (Page 41).
- ^fUse actual temperature difference.

Figura A- 4 Tablas 16 y 17

Fuente: Guía de aplicación de The Trane Company.

APENDICE 5. Tablas 22 y 23

TABLE 22 — COOLING LOAD TEMPERATURE DIFFERENCE (CLTD)

(DARK SUNLIT WALLS NORTH LATITUDE^a)

WALL FACING	AM				PM			
	8	10	12	2	4	6	8	
GROUP A WALLS								
N	12	11	10	10	10	11	12	
NE	15	15	15	16	18	18	19	
E	19	18	19	21	23	24	25	
SE	19	18	18	19	21	23	24	
S	16	15	14	14	15	17	19	
SW	21	19	18	17	17	19	22	
W	23	21	19	18	18	19	22	
NW	18	16	15	14	14	15	17	
GROUP B WALLS								
N	10	9	8	9	10	12	14	
NE	12	13	15	17	19	20	21	
E	15	15	19	22	25	26	27	
SE	15	14	16	20	23	25	26	
S	13	11	11	12	15	19	21	
SW	18	15	14	13	15	20	25	
W	19	17	15	14	15	19	25	
NW	15	13	12	11	12	15	19	
GROUP C WALLS								
N	8	7	6	9	12	14	16	
NE	10	13	17	20	22	23	23	
E	12	16	22	27	29	30	29	
SE	12	13	19	24	25	29	29	
S	10	9	10	14	20	24	26	
SW	15	12	11	13	18	26	32	
W	16	13	12	13	16	24	32	
NW	13	10	10	11	13	18	25	
GROUP D WALLS								
N	8	6	7	10	13	17	19	
NE	8	14	20	23	24	25	24	
E	9	17	27	32	33	32	30	
SE	5	12	22	29	32	32	30	
S	7	6	9	16	24	29	29	
SW	10	8	8	12	21	32	38	
W	11	9	9	11	18	30	40	
NW	9	7	8	10	14	22	31	
GROUP E WALLS								
N	4	6	9	13	17	20	23	
NE	9	20	25	26	26	26	24	
E	11	26	36	37	34	32	28	
SE	8	19	31	37	36	33	28	
S	7	5	13	24	32	33	29	
SW	5	6	9	18	32	43	44	
W	6	6	9	14	27	43	49	
NW	5	5	8	13	20	32	38	
GROUP F WALLS & DOORS								
N	4	7	11	17	21	23	23	
NE	14	28	29	27	27	28	22	
E	17	38	45	39	34	30	24	
SE	10	28	41	42	36	31	25	
S	1	7	20	34	39	35	26	
SW	2	5	11	28	44	53	45	
W	3	6	11	29	39	57	54	
NW	2	5	10	15	27	42	43	
GROUP G WALLS								
N	8	12	18	23	24	26	15	
NE	36	35	26	27	26	22	14	
E	47	55	40	31	29	24	15	
SE	32	49	48	36	30	24	15	
S	5	22	39	46	37	25	15	
SW	5	12	26	50	63	52	24	
W	5	11	19	41	67	67	29	
NW	5	11	18	27	47	55	25	

OJO: Se debe ajustar el CLTD si no son las mismas condiciones.

TABLE 23 — COOLING LOAD TEMPERATURE DIFFERENCES (DARK FLAT ROOFS^{a,b})

ROOF GROUP NO.	ROOF CONSTRUCTION DESCRIPTION	WEIGHT lb/FT ²	AM			PM			
			8	10	12	2	4	6	8
WITHOUT SUSPENDED CEILING									
H	Steel Sheet with 1-in Insulation	7	19	49	71	79	70	45	18
I	Steel Sheet with 2-in Insulation	8	19	49	71	79	70	45	18
J	1-in Wood with 1-in Insulation	8	4	27	52	70	74	62	38
K	1-in Wood with 2-in Insulation	8	3	16	39	57	64	57	37
L	2.5-in Wood with 1-in Insulation	13	6	9	20	34	48	55	54
M	2.5-in Wood with 2-in Insulation	13	9	9	17	29	41	49	50
N	4-in Wood with 1-in Insulation	17	20	17	17	21	28	36	41
O	4-in Wood with 2-in Insulation	18	20	17	17	21	28	36	41
P	4-in Light Weight Concrete	18	1	20	44	64	73	66	45
Q	6-in Light Weight Concrete	24	1	7	23	43	58	64	57
R	8-in Light Weight Concrete	31	9	7	13	25	39	50	54
S	2-in Heavy Weight Concrete with 1-in Insulation	29	3	20	41	59	66	62	45
Y	2-in Heavy Weight Concrete with 2-in Insulation	29	3	20	41	59	66	62	45
U	4-in Heavy Weight Concrete with 1-in Insulation	52	8	14	26	40	50	53	48
V	4-in Heavy Weight Concrete with 2-in Insulation	52	8	14	26	40	50	53	48
W	6-in Heavy Weight Concrete with 1-in Insulation	75	14	16	22	31	40	45	44
X	6-in Heavy Weight Concrete with 2-in Insulation	75	14	16	22	31	40	45	44
Y	Roof Terrace System	75	14	13	18	26	36	44	46
WITH SUSPENDED CEILING									
H	Steel Sheet with 1-in Insulation	9	9	37	62	77	74	56	28
I	Steel Sheet with 2-in Insulation	10	9	37	62	77	74	56	28
J	1-in Wood with 1-in Insulation	10	3	13	30	48	60	61	51
K	1-in Wood with 2-in Insulation	10	5	12	25	41	53	57	52
L	2.5 in Wood with 1-in Insulation	15	16	15	18	25	34	41	44
M	2.5 in Wood with 2-in Insulation	15	20	18	20	25	32	36	41
N	4-in Wood with 1-in Insulation	19	26	23	21	22	25	30	34
O	4-in Wood with 2-in Insulation	20	26	23	21	22	25	30	34
P	4-in Light Weight Concrete	20	0	10	29	48	62	64	54
Q	6-in Light Weight Concrete	26	6	8	16	29	42	52	54
R	8-in Light Weight Concrete	33	18	14	15	20	29	38	45
S	2-in Heavy Weight Concrete with 1-in Insulation	30	13	16	25	35	43	47	44
T	2-in Heavy Weight Concrete with 2-in Insulation	30	13	16	25	35	43	47	44
U	4-in Heavy Weight Concrete with 1-in Insulation	55	20	21	24	29	34	38	38
V	4-in Heavy Weight Concrete with 2-in Insulation	54	20	21	24	29	34	38	38
W	6-in Heavy Weight Concrete with 1-in Insulation	77	22	21	23	27	30	33	34
X	6-in Heavy Weight Concrete with 2-in Insulation	77	22	21	23	26	30	33	34
Y	Roof Terrace System	77	23	22	23	25	28	31	33

^aAttics or other spaces between the roof and ceiling: if the ceiling is insulated and a fan is used for positive ventilation in the space between ceiling and roof, the total temperature difference for calculating the room load may be decreased by 25%. If the attic space contains a return or other air plenum, then the attic space should be treated the same as a conditioned space. Therefore, calculate the heat transfer through the attic walls. (This applies for summer and winter).

^bLight Colors multiply the CLTD's by 0.5, credit should not be taken for light-colored roofs except where the permanence of light color is established by experience, as in rural areas or where there is little smoke.

Figura A- 5 Tablas 22 y 23

Fuente: Guía de aplicación de The Trane Company.

APENDICE 6. Tabla 28

TABLE 28 — RATES OF HEAT GAIN FROM OCCUPANTS OF CONDITIONED SPACES (BTUH)^a

DEGREE OF ACTIVITY	TYPICAL APPLICATION	TOTAL HEAT ADULT MALE	TOTAL HEAT ADJUSTED ^b	SENSIBLE HEAT	LATENT HEAT
Seated at rest	Theater, movie	400	350	210	140
Seated, very light work writing	Offices, hotels, apts.	480	420	230	190
Seated, eating	Restaurant	520	580	255	325
Seated, light work typing	Offices, hotels, apts.	640	510	255	255
Standing, light work or walking slowly	Retail Store, bank	800	640	315	325
Light bench work	Factory	880	780	345	435
Walking, 3 mph, light machine work	Factory	1040	1040	345	695
Bowling ^c	Bowling Alley	1200	960	345	615
Moderate dancing	Dance Hall	1360	1280	405	875
Heavy work, heavy machine work, lifting	Factory	1600	1600	565	1035
Heavy work, athletics	Gymnasium	2000	1800	635	1165

^aNote: Tabulated values are based on 73°F room dry-bulb temperature. For 80°F room dry-bulb, the total heat remains the same, but the sensible heat value should be decreased by approximately 8% and the latent heat values increased accordingly.

^bAdjusted total heat gain is based on normal percentage of men, women, and children for the application listed, with the postulate that the gain from an adult female is 85% of that for an adult male, and that the gain from a child is 75% of that for an adult male.

^cFor bowling figure one person per alley actually bowling, and all others as sitting (400 BTUH) or standing and walking slowly (800 BTUH)

Figura A- 6 Tabla 28

Fuente: Guía de aplicación de The Trane Company.

APENDICE 7. Tabla 31

TABLE 31 — VENTILATION REQUIREMENTS FOR OCCUPANTS

DESCRIPTION	ESTIMATED PERSONS PER 1000 FT ² FLOOR AREA	REQUIRED VENTILATION (CFM/PERSON)
COMMERCIAL		
Public Rest Rooms	100	15
General Requirements — Merchandising (apply to all forms unless specially noted) Sales Floors (Basement & Ground Floor)	30	7
Sales Floor (Upper Floors)	20	7
Storage Areas (Serving Sales Areas & Storerooms)	5	5
Dressing Rooms	---	7
Malls and Arcades	40	7
Shipping and Receiving Areas	10	15
Warehouses	5	7
Elevators	---	7
Meat Processing Rooms	10	5
Pet Shops ^a	---	1.0 ^a
Florists ^b	10	5 ^b
Greenhouses ^b	1	5 ^b
Bank Vaults	---	5
Dining Rooms	70	10
Kitchens ^c	20	30
Cafeterias, Short Order, Drive-Ins, Seating Areas	100	30
Bars (Predominantly Stand-up)	150	30
Cocktail Lounges	100	30
Hotels, Motels, Resorts		
Bedrooms	5	7
Living Rooms (Suites)	20	10
Baths, Toilets (attached to bedrooms)	---	20
Corridors	5	5
Lobbies	30	7
Conference Rooms (Small)	70	20
Assembly Rooms (Large)	140	15
Cottages (Treat as single-unit dwellings) (See also Food Services, Industrial, Merchandising, Barber and Beauty Shops, Garages for associated Hotel/Motel Services)		
Dry Cleaners and Laundries Commercial ^c	10	20 ^c
Storage/Pickup Areas	30	7
Coin-Operated ^c	20	15 ^c
Barber, Beauty and Health Services		
Beauty Shops (Hairdressers)	50	25
Reducing Salons (Exercise Rooms)	20	25
Sauna Baths & Steam Rooms	---	5
Barber Shops	25	7

DESCRIPTION	ESTIMATED PERSONS PER 1000 FT ² FLOOR AREA	REQUIRED VENTILATION (CFM/PERSON)
COMMERCIAL		
Photo Studios		
Camera Rooms, Stages	10	5
Darkrooms	10	10
Shoe Repair Shops (Combined Workrooms/Trade Areas)	10	10
Garages, Auto Repair Shops, Service Stations		
Parking Garages (enclosed) ^a	---	1.5 ^a
Auto Repair Workrooms (general) ^a	---	1.5 ^a
Service Station Offices	20	7
Theaters		
Ticket Booths	---	5
Lobbies, (Foyers & Lounges)	150	20
Auditoriums (No Smoking)	150	5
Auditoriums (Smoking Permitted)	150	10
Stages (with Proscenium & Curtains)	70	10
Workrooms	20	10
Ballrooms (Public)	100	15
Bowling Alleys (Seating Area)	70	15
Gymnasiums & Arenas		
Playing Floors—Minimal or No Seating	70	20
Locker Rooms ^a	20	30 ^a
Spectator Areas	150	20
Ramps, Foyers, and Lobbies	150	10
Amusement Parlors and Pool Rooms	25	20
Tennis, Squash, Handball Courts	---	20
Swimming Pools	25	15
Ice Skating, Curling and Roller Rinks	70	10
Transportation		
Waiting Rooms	50	15
Ticket and Baggage Areas, Corridors & Gate Area	50	15
Control Towers	50	25
Hangars ^a	2	10 ^a
Platform	150	10
Concourses	150	10
Repair Shops	---	10
Offices		
General Office Space	10	15
Conference Rooms	60	25
Drafting Rooms, Art Rooms	20	7
Doctors' Consultation Rooms	---	10
Waiting Rooms	30	10
Lithographic Rooms	20	7
Diazo Printing Rooms	20	7
Computer Rooms	20	5
Key punching Rooms	30	7

Table 31 continued on next page.

TABLE 31 — VENTILATION REQUIREMENTS FOR OCCUPANTS

DESCRIPTION	ESTIMATED PERSONS PER 1000 FT ² FLOOR AREA	REQUIRED VENTILATION (CFM/PERSON)
COMMERCIAL		
Communication TV/Radio Broadcasting Booths, or Studios	20	30
Motion Picture and TV Stages	20	30
Pressrooms	100	15
Composing Rooms	30	7
Engraving Shops	30	7
Telephone Switchboard Rooms (Manual)	50	7
Telephone Switchgear Rooms (Automatic)	---	7
Teletypewriter/Facsimile Rooms	---	5
INSTITUTIONAL		
Schools		
Classrooms	50	10
Multiple Use Rooms	70	10
Laboratories	30	10
Crall and Vocational Training Shops ¹	30	10 ¹
Music, Rehearsal Rooms	70	10
Auditoriums	150	5
Gymnasiums	70	20
Libraries	20	7
Common Rooms, Lounges	70	10
Offices	10	7
Lavatories	100	15
Locker Rooms ²	20	30 ²
Lunchrooms, Dining Halls	100	10
Corridors	50	15
Utility Rooms	3	5
Dormitory Bedrooms	20	7
Hospitals, Nursing and Convalescent Homes		
Foyers	50	20
Hallways	50	20
Single, Dual Bedrooms	15	10
Wards	20	10
Food Service Centers	20	35
Operating Rooms, Delivery Rooms ³	—	20 ³
Amphitheatres	100	10
Physical Therapy Areas	20	15
Autopsy Rooms	10	30
Incinerator Service Areas ⁴	---	5 ⁴
Ready Rooms, Recovery Rooms ⁵	---	15 ⁵
(For Shops, Restaurants, Utility Rooms, Kitchens, Bathrooms & Other Service Items See Hotels)		
Research Institutes		
Laboratories ¹	50	15 ¹
Machine Shops	50	15
Darkrooms, Spectroscopy Rooms	50	10
Animal Rooms ⁶	20	40 ⁶
INSTITUTIONAL		
Military and Naval Installations		
Barracks	20	7
Toilets/Washrooms	100	15
Shower Rooms	100	10
Drill Halls	70	15
Ready Rooms, MP Stations	40	7
Indoor Target Ranges	70	20
Museums		
Exhibit Halls	70	7
Workrooms	10	10
Warehouses	5	5
Correctional Facilities, Police & Fire Stations (See also Gymnasiums, Libraries, Industrial Areas)		
Cell Blocks	20	7
Eating Halls	70	15
Guard Stations	40	7
Veterinary Hospital		
Kennels, Stalls, Operating Rooms ⁷	20	25 ⁷
Reception Rooms	30	10
ORGANIZATIONAL		
Churches, Temples (see Theaters, Schools and Offices)		
Legislative Halls		
Legislative Chambers	70	20
Committee Rooms and Conference Rooms	70	20
Foyers, Corridors	50	20
Offices	10	10
Press Lounges	20	20
Press/Radio/TV Booths	20	20
Public Rest Rooms	20	15
Private Rest Rooms	---	20
(For Food Service, Utilities, Etc. see Hotels)		
Survival Shelters ⁸	---	5 ⁸

^aCFM per Ft.² of floor area

^bMaximum allowable concentration for sulfur dioxide is 30 mg/m³

^cExhaust to outside; source control as required

^dCFM/Locker

^eSpecial solvent and exhaust problems handled separately

^fSpecial contaminant control systems may be required

^gSpecial requirements or codes may determine requirements

^hSpecial exhaust systems required

Figura A- 7 Tabla 31

Fuente: Guía de aplicación de The Trane Company.

APENDICE 8. Tabla de horarios según ocupación Norma ASHRAE 90.1

© 2011 ASHRAE (www.ashrae.org). For personal use only. Additional reproduction, distribution, or transmission in either print or digital form is not permitted without ASHRAE's prior written permission.

G. Performance Rating Method | Calculating Proposed & Baseline Performance (G3)

TABLE G-G. OFFICE OCCUPANCY¹

Hour of Day (Time)	Schedule for Occupancy			Schedule for Lighting ² /Receptacle			Schedule for HVAC System			Schedule for Service Hot Water			Schedule for Elevator		
	Percent of Maximum Load			Percent of Maximum Load						Percent of Maximum Load			Percent of Maximum Load		
	Wk	Sat	Sun	Wk	Sat	Sun	Wk	Sat	Sun	Wk	Sat	Sun	Wk	Sat	Sun
1 (12-1 am)	0	0	0	5	5	5	Off	Off	Off	5	5	4	0	0	0
2 (1-2 am)	0	0	0	5	5	5	Off	Off	Off	5	5	4	0	0	0
3 (2-3 am)	0	0	0	5	5	5	Off	Off	Off	5	5	4	0	0	0
4 (3-4 am)	0	0	0	5	5	5	Off	Off	Off	5	5	4	0	0	0
5 (4-5 am)	0	0	0	5	5	5	Off	Off	Off	5	5	4	0	0	0
6 (5-6 am)	0	0	0	10	5	5	Off	Off	Off	8	8	7	0	0	0
7 (6-7 am)	10	10	5	10	10	5	On	On	Off	7	7	4	0	0	0
8 (7-8 am)	20	10	5	30	10	5	On	On	Off	19	11	4	35	16	0
9 (8-9 am)	95	30	5	65/90	30	5	On	On	Off	35	15	4	69	14	0
10 (9-10 am)	95	30	5	65/90	30	5	On	On	Off	38	21	4	43	21	0
11 (10-11 am)	95	30	5	65/90	30	5	On	On	Off	39	19	4	37	18	0
12 (11-12 pm)	95	30	5	65/90	30	5	On	On	Off	47	23	6	43	25	0
13 (12-1 pm)	50	10	5	55/80	15	5	On	On	Off	57	20	6	58	21	0
14 (1-2 pm)	95	10	5	65/90	15	5	On	On	Off	54	19	9	48	13	0
15 (2-3 pm)	95	10	5	65/90	15	5	On	On	Off	34	15	6	37	8	0
16 (3-4 pm)	95	10	5	65/90	15	5	On	On	Off	33	12	4	37	4	0
17 (4-5 pm)	95	10	5	65/90	15	5	On	On	Off	44	14	4	46	5	0
18 (5-6 pm)	30	5	5	35/50	5	5	On	On	Off	26	7	4	62	6	0
19 (6-7 pm)	10	5	0	30	5	5	On	Off	Off	21	7	4	20	0	0
20 (7-8 pm)	10	0	0	30	5	5	On	Off	Off	15	7	4	12	0	0
21 (8-9 pm)	10	0	0	20	5	5	On	Off	Off	17	7	4	4	0	0
22 (9-10 pm)	10	0	0	20	5	5	On	Off	Off	8	9	7	4	0	0
23 (10-11 pm)	5	0	0	10	5	5	Off	Off	Off	5	5	4	0	0	0
24 (11-12 am)	5	0	0	5	5	5	Off	Off	Off	5	5	4	0	0	0
Total/Day	920	200	60	800/1040	280	120	1600	1200	0	537	256	113	555	151	0
Total/Week	48.60 hours			44.00/56.00 hours			92.00 hours			30.54 hours			29.26 hours		
Total/Year	2534 hours			2288/2920 hours			4797 hours			1592 hours			1526 hours		

Wk = Weekday

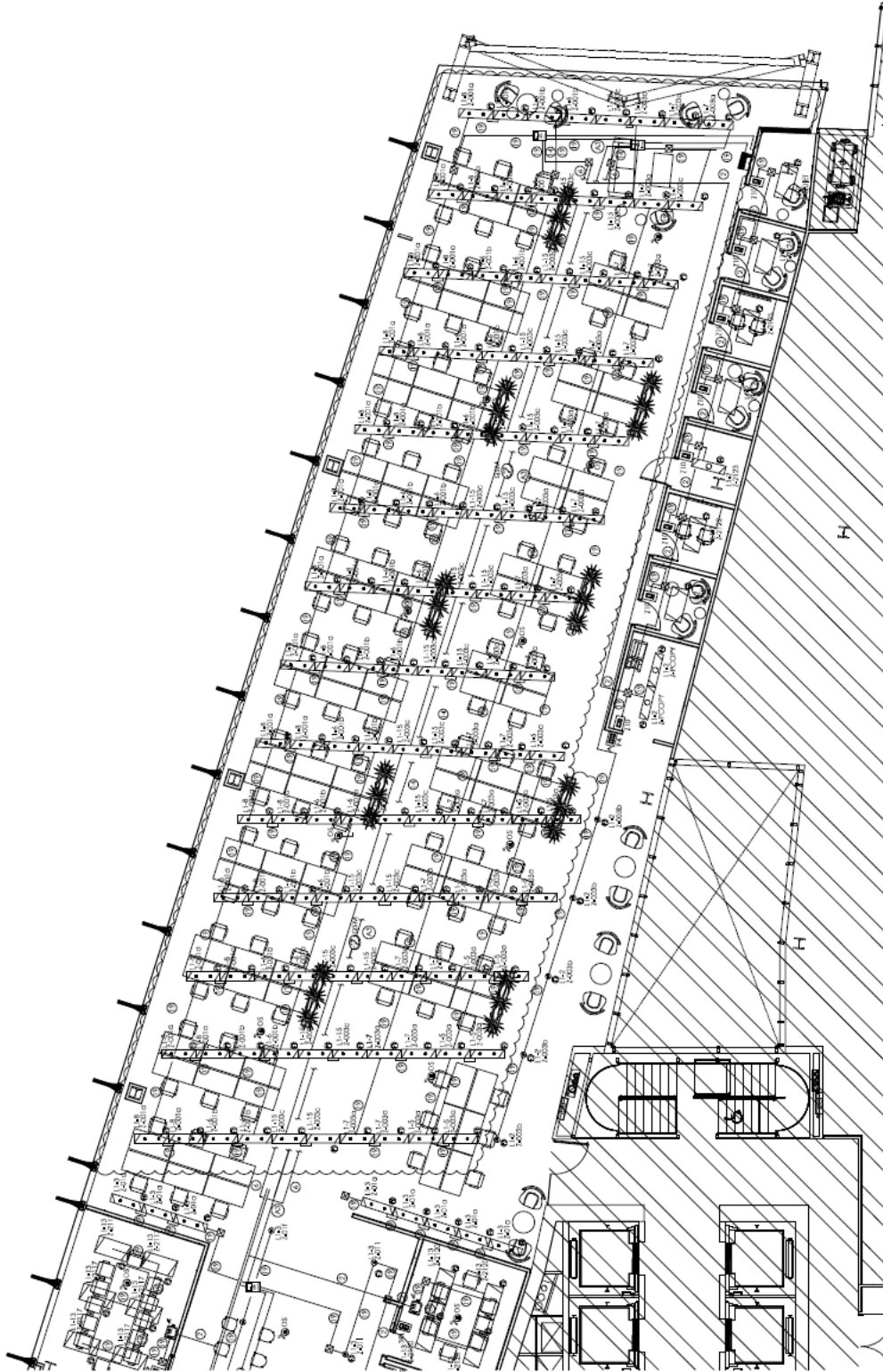
1. Schedules for occupancy, lighting, receptacle, HVAC system and service hot water are from ASHRAE Standard 90.1-1989 and addenda, except that 5% emergency lighting has been added for all off hours. Elevator schedules, except for restaurants, are from the U.S. Department of Energy Standard Evaluation Techniques, except they have been changed to 0% when occupancy is 0%. These values may be used only if actual schedules are not known.

2. Lighting profiles are modified to reflect the requirement for occupancy sensors in Section 9.4.1.

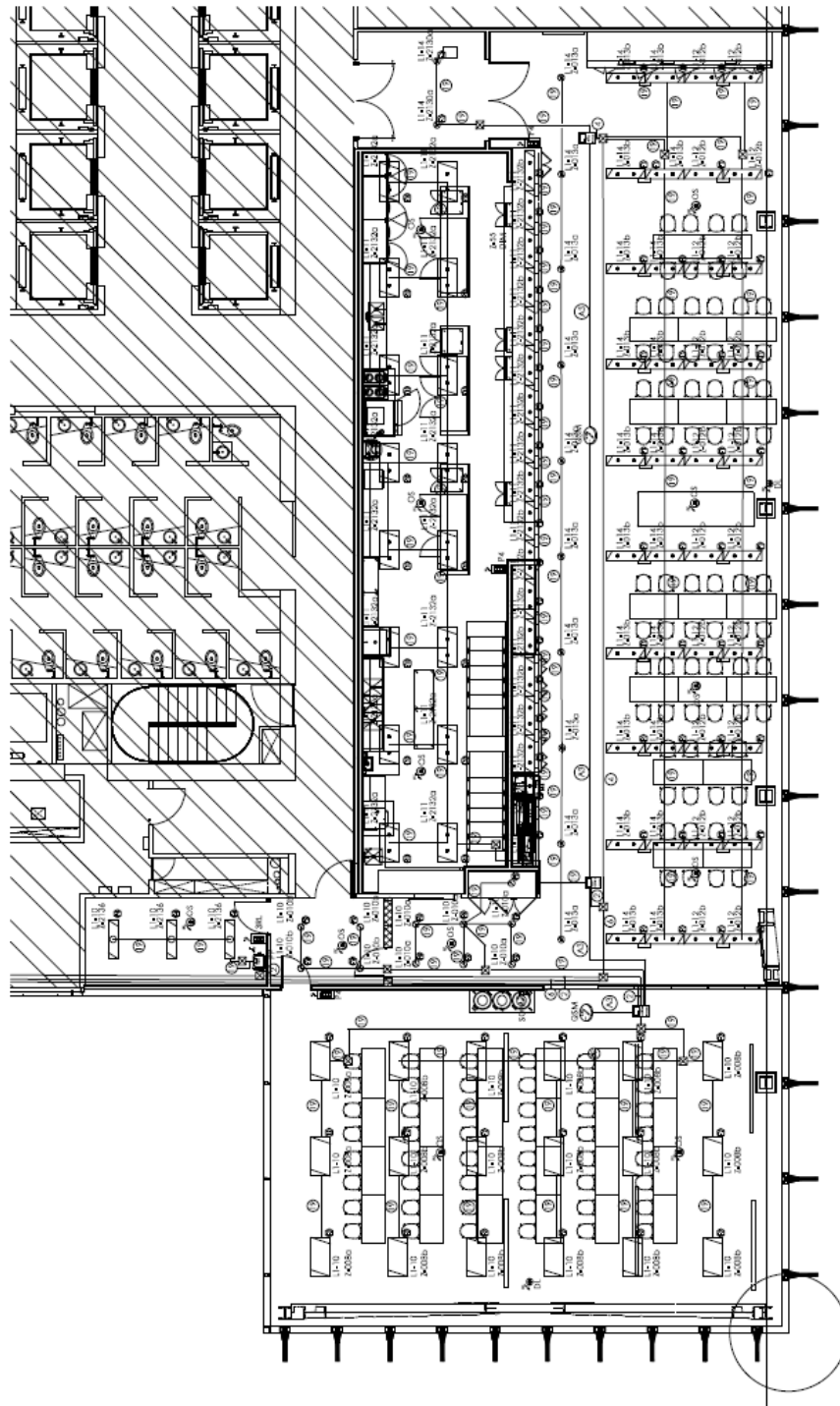
User's Manual for ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010 G-49

Figura A- 8 Tabla de Horarios según numeración Norma ASHRAE 90.1

Fuente: Norma ASHRAE 90.1, 2010



PLANTA DE DISTRIBUCION DE ILUMINACION
NIVEL 1
ESCALA 1:75



PLANTA DE DISTRIBUCION DE ILUMINACION
NIVEL 1
ESCALA 1:25

Figura A- 12 Diseño de Iluminación

Fuente: Circuito S.A. México

APENDICE 13. Especificación de Módulo de medición Schneider PM5560

Product data sheet
Characteristics

METSEPM5560
PM5560 powermeter w 1mod2eth - upto 63th H -
1,1M 4DI/2DO 52alarms - flush mount



Complementary

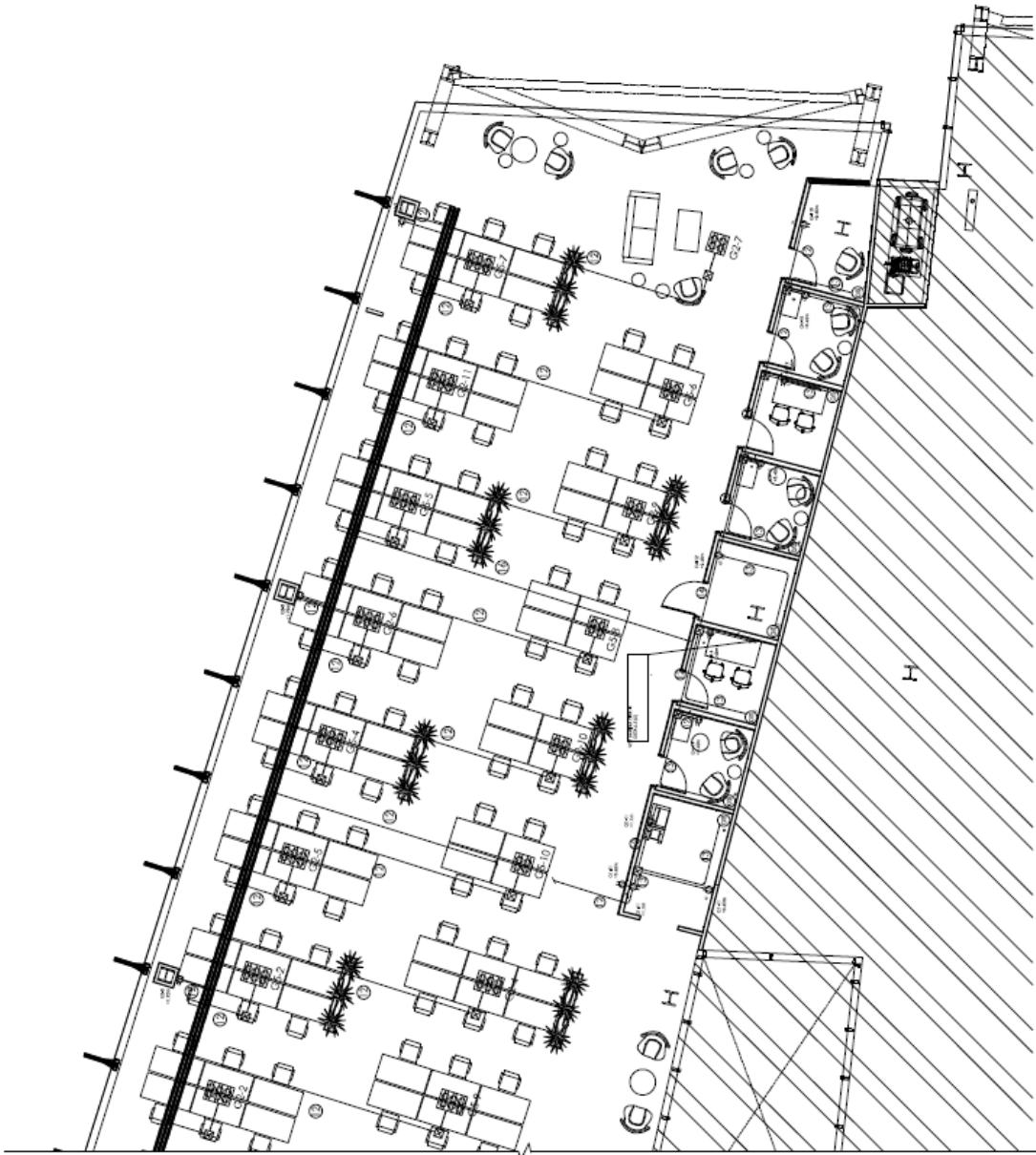
Power quality analysis	Up to the 63rd harmonic
Device application	WAGES metering Gateway Multi-tariff Power monitoring
Type of measurement	Energy Active and reactive power Voltage Current Frequency Power factor
[U _s] rated supply voltage	126...250 V DC 100...480 V AC (45...65 Hz)
Network frequency	50 Hz 60 Hz
[I _n] rated current	1 A 5 A
Poles description	3P + N 3P 1P + N
Power consumption in VA	10 VA at 480 V
Display type	Backlit LCD
Display resolution	128 x 128 pixels
Sampling rate	128 samples/cycle
Measurement current	5...10000 mA
Analogue input type	Current (impedance 0.3 mOhm) Voltage (impedance 5 MOhm)
Measurement voltage	20...400 V AC 45...65 Hz between phase and neutral 20...690 V AC 45...65 Hz between phases
Frequency measurement range	45...65 Hz
Number of inputs	4 digital
Measurement accuracy	+/- 0.5 % apparent power +/- 0.2 % active power +/- 0.05 % frequency +/- 0.1 % voltage +/- 0.2 % active energy +/- 0.05 % power factor +/- 1 % reactive energy +/- 0.15 °C current

Accuracy class	Class 0.2S (active energy according to IEC 62053-22)
Number of outputs	2 digital
Information displayed	Tariff 8
Communication port protocol	Modbus RTU and ASCII 2 wires, : 9.6, 19.2 and 38.4 kbauds, even/odd or none, insulation: 2500 V JBUS Modbus TCP/IP : 10/100 Mbit/s, insulation: 2500 V Ethernet Modbus TCP/IP daisy chain BACnet IP
Communication port support	RS485 Ethernet
Communication gateway	Ethernet/Serial
Data recording	Data logs Alarm logs Time stamping Min/Max of instantaneous values Maintenance logs Event logs
Memory capacity	1.1 MB
Web services	Web server Diagnostic via predefined web pages Alarm notification by e-mail Real time viewing of data
Ethernet service	SNMP-Traps SNTP client
Connections - terminals	Voltage circuit: 4 screw terminal block Control circuit: 2 screw terminal block Current transformer: 5 screw terminal block RS485 link: 4 screw terminal block Digital input: 8 screw terminal block Digital output: 4 screw terminal block Ethernet network: 2 RJ45 connector
Mounting mode	Flush-mounted
Mounting support	Framework
Standards	EN 50470-3 IEC 61557-12 UL 61010-1 IEC 60529 IEC 62053-24 IEC 62053-22 EN 50470-1
Product certifications	CE conforming to IEC 61010-1 CULus conforming to UL 61010-1 BTL
Width	96 mm
Depth	72 mm
Height	96 mm
Product weight	450 g

UL61010-1 | Schneider

Figura A- 13 Módulo de medición Schneider PM5560

Fuente: Ficha Técnica Schneider Modelo PM5560



PLANTA DE DISTRIBUCION DE TOMACORRIENTES
NIVEL 1
BCALA 1:100

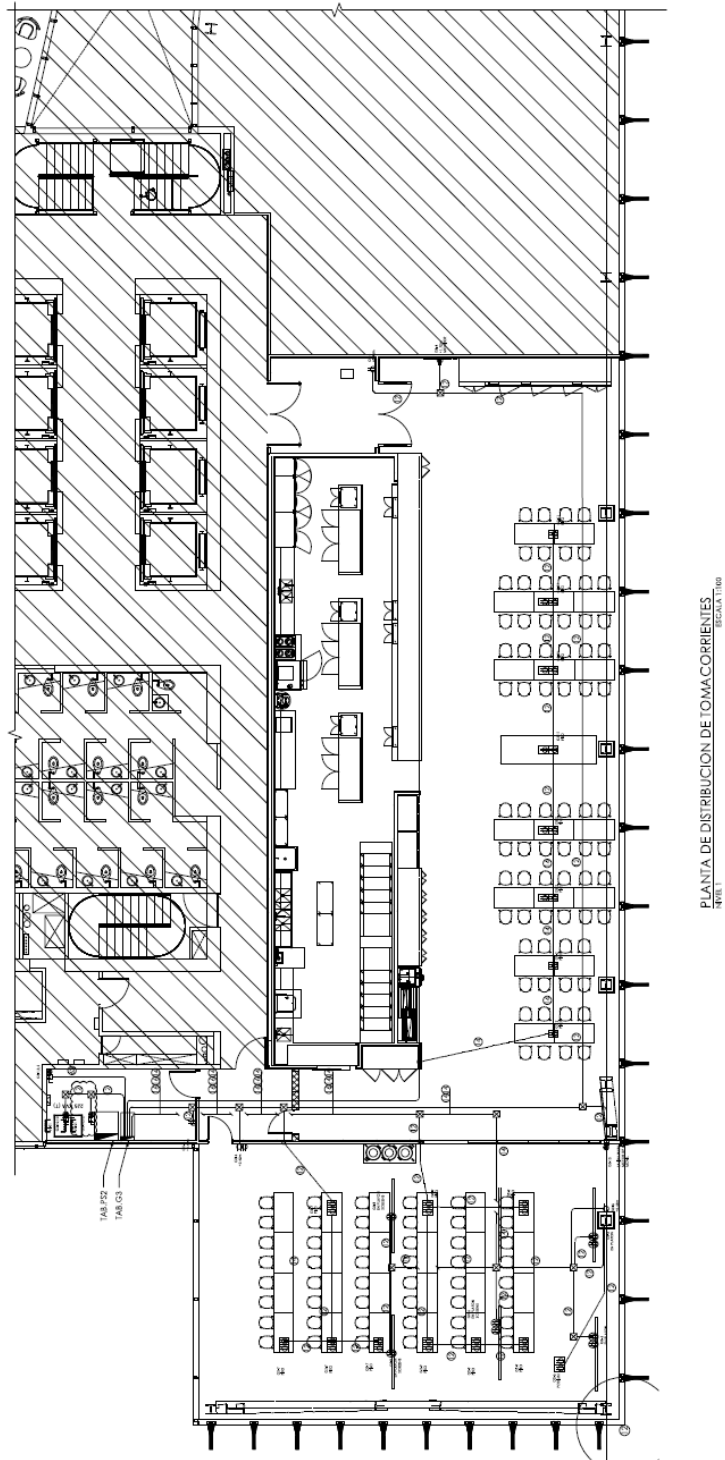



Figura A- 14 Diseño de Tomacorrientes


Fuente: Circuito S.A. México

APENDICE 15. Cotización de equipos de sistema VRF



LG
Life's Good

Panama



7
Global No. 1

Cotización No: PS18P00010430-00

LG Electronics Panama, S.A.
 AIRCONDITIONING EQUIPMENT
 Panama, Panama
 Calle 50, Tower Bank Tower
 Phone: +507 210 8000
 Fax: +507 288 7483

Fecha: 28 de May de 2018

Cliente: Facebook Fase 2 **Atención a:** unknown
Proyecto: Costa Rica **e-mail:**
Dirección: Costa Rica **Teléfono:**
Fax:

Solo los equipos descritos en esta propuesta serán suministrados por LG Electronics


Item	Modelo	Descripción	QTY	Precio Unitario USD	Precio Total USD
Unidad Externa					
	ARUN053GSS4	Multi V_O/D_MINI (S)	2	\$2,351.20	\$4,702.40
Unidad Interna					
	ARNU073BHA4	Multi V_I/D_Duct	1	\$393.80	\$393.80
	ARNU093BHA4	Multi V_I/D_Duct	2	\$412.80	\$825.60
	ARNU123BHA4	Multi V_I/D_Duct	5	\$432.80	\$2,164.00
	ARNU183BHA4	Multi V_I/D_Duct	4	\$467.20	\$1,868.80
	ARNU153BHA4	Multi V_I/D_Duct	1	\$452.00	\$452.00
	ARNU243BHA4	Multi V_I/D_Wall Mounted	3	\$481.80	\$1,444.80
	ARNU363BGA4	Multi V_I/D_Duct	2	\$600.00	\$1,200.00
	ARNU483BRA4	Multi V_I/D_Duct	6	\$747.20	\$4,483.20
	ARNU423BGA4	Multi V_I/D_Duct	4	\$659.20	\$2,636.80
	ARNU543BRA4	Multi V_I/D_Duct	3	\$874.40	\$2,623.20
	ARNU76GB8A4	Multi V_I/D_Duct	2	\$1,563.20	\$3,126.40
Etcétera					
	PREMTB100	rs3 wire remote	33	\$80.00	\$2,640.00
					\$28,560.80

Nota: Cotización basada en la información suministrada a LGE. La selección es basada en la información recibida y estándares de las unidades de LGE.

CONDICIONES COMERCIALES

Validez de la oferta: 30 días y de acuerdo a disponibilidad de los equipos al momento de colocación de la orden y sujeta a los términos y condiciones de venta de LGE.
 Condiciones de Pago: 100% Contado o credito sujeto a aprobación de LGE.
 Disponibilidad: Sujeto a disponibilidad al momento de la orden
 Tiempo de Entrega: 12 a 14 semanas
 Garantía: 1 año en partes . 3 años en compresor para equipo comercial.
 Los equipos deben ser instalados según procedimientos indicados por LGE en los manuales suministrados con los equipos o material técnico asociado
 La selección de capacidad de los equipos es completa responsabilidad del cliente, por favor verificar y confirmar antes de enviar la orden.
 La correcta selección de diámetros de tubería, recorridos y tamaños de Y Branchs, afectará el funcionamiento del sistema y la misma es responsabilidad del cliente.
 LGE no aceptará responsabilidad alguna por la selección incorrecta de los equipos.

Atentamente,



Emilio Espino
CAC Key Account Manager
LG Electronics Panama,S.A

Phone:
e-mail: emilio.espino@lge.com

Figura A- 15 Cotización de equipos de sistema VRF

Fuente: LG, vía correo electrónico

APENDICE 16. Tabla G-H de estacionamientos según Norma ASHRAE 90.1

G. Performance Rating Method | Calculating Proposed & Baseline Performance (G3)

TABLE G-H. PARKING GARAGE OCCUPANCY¹

Hour of Day (Time)	Schedule for Occupancy			Schedule for Lighting ² /Receptacle			Schedule for HVAC System			Schedule for Service Hot Water			Schedule for Elevator		
	Percent of Maximum Load			Percent of Maximum Load						Percent of Maximum Load			Percent of Maximum Load		
	Wk	Sat	Sun	Wk	Sat	Sun	Wk	Sat	Sun	Wk	Sat	Sun	Wk	Sat	Sun
1 (12-1 am)				50/100	50/100	50/100									
2 (1-2 am)				50/100	50/100	50/100									
3 (2-3 am)				50/100	50/100	50/100									
4 (3-4 am)				50/100	50/100	50/100									
5 (4-5 am)				50/100	50/100	50/100									
6 (5-6 am)				50/100	50/100	50/100									
7 (6-7 am)				100	100	50/100									
8 (7-8 am)				100	100	50/100									
9 (8-9 am)				100	100	50/100									
10 (9-10 am)				100	100	50/100									
11 (10-11 am)				100	100	50/100	Based on likely use						Included with other occupancies		
12 (11-12 pm)		NA		100	100	50/100					NA				
13 (12-1 pm)				100	100	50/100									
14 (1-2 pm)				100	100	50/100									
15 (2-3 pm)				100	100	50/100									
16 (3-4 pm)				100	100	50/100									
17 (4-5 pm)				100	100	50/100									
18 (5-6 pm)				100	50/100	50/100									
19 (6-7 pm)				100	50/100	50/100									
20 (7-8 pm)				100	50/100	50/100									
21 (8-9 pm)				100	50/100	50/100									
22 (9-10 pm)				100	50/100	50/100									
23 (10-11 pm)				50/100	50/100	50/100									
24 (11-12 am)				50/100	50/100	50/100									
Total/Day				2000/2400	1750/2400	1200/2400									
Total/Week				129.50/168 hours											
Total/Year				6734/8760 hours											

Wk = Weekday

1. Schedules for occupancy, lighting, receptacle, HVAC system and service hot water are from ASHRAE Standard 90.1-1989 and addenda, except that 5% emergency lighting has been added for all off hours. Elevator schedules, except for restaurants, are from the U.S. Department of Energy Standard Evaluation Techniques, except they have been changed to 0% when occupancy is 0%. These values may be used only if actual schedules are not known.

2. Lighting profiles are modified to reflect the requirement for occupancy sensors in Section 9.4.1. For parking garage lighting, the schedule has been revised to accompany the office schedule: the lighting in the parking garage is set to be on at 100% for all hours when the building occupancy is 10% or greater, but reduced to 50% (per Section 9.4.1) for all hours when the building occupancy is less than 10%. For other uses, it is acceptable to modify the parking garage schedule to parallel that use.

Figura A- 16 Tabla G-H de estacionamientos según Norma ASHRAE 90.1

Fuente: Norma ASHRAE 90.1, 2010

APENDICE 17. Proforma paneles solares



Estimado Cliente:

Monday, June 11, 2018

Sr. Oscar Quiroz
Oscar Quiroz

Factura Proforma SP 169

50622567020 oscar.quiros.villalobos@jci.com

Por este medio le hacemos llegar nuestra Factura Proforma de los siguientes equipos de medición:

Modelo	Marca	Detalle	Potencia	Voltaje	P. Unitario	Cantidad	Sub-Total	
1 JKM325PP-72/Pallet	JINKO	50 Unidades	325 W		\$ 145.58	101	\$ 14,703.79	
2 Microinversor IQ6+	Enphase	MicroInversor			\$ 111.66	101	\$ 11,277.16	
3 Engage Cable IQ6+	Enphase	Cable			\$ 15.00	101	\$ 1,515.00	
4 Envoy IQ	Enphase	Monitoreo			\$ 403.97	1	\$ 403.97	
5 Riel CK-FT-7R4200	CHIKO	Riel 4,2m			\$ 22.04	60	\$ 1,322.19	
6 T's CK-FTM-K40	CHIKO	T's Intermedia			\$ 0.91	180	\$ 163.70	
7 Z's CK-FTE-K40	CHIKO	Z's Final			\$ 1.01	120	\$ 121.73	
8 L's CK-FTH-013	CHIKO	L's (L-Foot)			\$ 1.49	240	\$ 356.78	
9 Cable Clip CK-FSC-CP2	CHIKO	Prensa Cable			\$ 0.31	480	\$ 151.11	
10 Ground lug CK-GTR-R2	CHIKO	Prensa Tierra			\$ 1.08	60	\$ 65.06	
11 Picking Bodega					\$ 25.00	1	\$ 25.00	
12								
13								
Total							\$	30,105.48

ENTREGA INMEDIATA

CONTRA PEDIDO - 2 MESES APROX

- Los precios incluyen nacionalización y serán entregados en nuestra bodega en San José.
- Condiciones de pago: 20% contra Orden de Compra y 80% contra entrega.
- No otorgamos garantías adicionales. El equipo cuenta con garantías del fabricante.
- Bodega ALFIDEPA: 100 S y 100 O de oficinas de Pizza Hut, Pavas entrada Oeste de ofiencentro La Virgen
- La entrega se coordina con 48 horas de anticipación

Luis Mora
Representante Comercial



Of.+506 40012850 • www.sunshine.tech • Escazú, Costa Rica

Figura A- 17 Proforma de paneles solares

Fuente: LG, vía correo electrónico

APENDICE 18. Memoria de Cálculo de carga térmica

Dimensiones del Local (m)	A1 SALA CONFERENCIA	A2 SALA MULTIUSOS	ÁREA PASILLOS
Ancho	6.28	7.69	2.37
Largo	9.65	5.90	46.00
Alto	2.70	2.70	2.70
Área	60.60	45.37	109.02
Altura Plano Trabajo	0.80	0.80	0.80
Altura snpt	2.70	2.70	2.70
H'-h'	1.90	1.90	1.90
Exterior	32	32	32
Interior	30	30	30
Interior	25	25	25
Exterior	23	23	23
H.R.	55	55	55
	50	50	50
Datos de carta Psicometrica	21	21	21
Datos de servicio meteorolc	25	25	25
Rango día	1.8	1.2	1.2
Carga TR	5.625783725	5.625783725	5.625783725
Carga total de refrigeración (real)			2.6

GANANCIA POR DUCTOS										
	im ²	pie ²	TIPO	Coef. "U"	Dif. T"	BTU/hr				
PASO 7										
Ducto de retorno		2	21.52 1.Lámina metal sin aisl.	1.18	25	634.84				
Ducto de suministro		2	21.52 1.Lámina metal sin aisl.	1.18	25	634.84				
									1269.68	
PASO 5										
CALOR DE LOS OCUPANTES										
Sensible			10 INAS:HOTELES:APART.A; SENTADO, TRABAJO LIGERO Y ESCRIB	TOTAL CALOR	AJUSTE	SENSIBLE	LATENTE	# personas	BTU/hr	
Latente (repose)			10 INAS:HOTELES:APART.A; SENTADO, TRABAJO LIGERO Y ESCRIB	480	420	420	190	10	2300	
Latente (activo)			0 INAS:HOTELES:APART.A; SENTADO, TRABAJO LIGERO Y ESCRIB	480	420	420	190	10	1900	
				480	420	420	190	0	0	
N/A			CALOR DE LUCES Y EQUIPOS							
		Potencia								
Luz LED		(watts)	243		BTU/hr	583.2				
Luz incandescente		(watts)	3.4			0				
Luz fluorescente		(watts)	3.4			0				
Equipo eléctrico		(watts)	3.4			0				
					SUB TOTAL	583.2				
PASO 6			VENTILACIÓN DE OCUPANTES (cfm)							
N° ocupantes	10		9 OFICINAS	15 cfm/per	Sub Total	1.5				
Área de piso (pie ²)	60.6		652.056 9 OFICINAS	15 cfm/per ² piso	Sub Total	0.02300416				
Cambio de aire / hr	5.50055006		163.62	15 cfm/hr	Sub Total	15				
(pie ² x cambios/hr)/60	15				SUB TOTAL	16.5230042				
PASO 8			RESUMEN DE GANANCIAS DE CALOR							
Transmisión solar				Sensible	Total					
Ductos				66926.2047	66926.2047					
Occupantes				1769.68						
Luces y equipo				4200	0					
Entalpia aire exterior				583.2	583.2					
				686.7504	Sub Total					
					Sub Total					
					73665.8351					
					0					
					67509.4047					
			CARGA TOTAL DE REFRIGERACIÓN							
		TONS								
			Kcal/hr							
			BTU/hr							
				17012.08644						
				67509.4047						

Project Name: FB_MEXICO FB 62.1 CON HORARIOS 5M2XPersona 15%
 Prepared by: Tyco

Air System Information

Air System Name ... **A1 SALA DE CONFERENCIAS**
 Equipment Class **UNDEF**
 Air System Type **SZCAV**

Number of zones **1**
 Floor Area **650.8** ft²
 Location **Mexico City, Mexico**

Sizing Calculation Information

Calculation Months **Jan to Dec**
 Sizing Data **Calculated**

Zone CFM Sizing **Sum of space airflow rates**
 Space CFM Sizing **Individual peak space loads**

Central Cooling Coil Sizing Data

Total coil load **1.9** Tons
 Total coil load **22.9** MBH
 Sensible coil load **22.9** MBH
 Coil CFM at Jul 1500 **1674** CFM
 Max block CFM **1674** CFM
 Sum of peak zone CFM **1674** CFM
 Sensible heat ratio **1.000**
 ft³/Ton **341.1**
 BTU/(hr-ft²) **35.2**
 Water flow @ 10.0 °F rise **N/A**

Load occurs at **Oct 1500**
 OA DB / WB **83.6 / 60.4** °F
 Entering DB / WB **76.8 / 63.8** °F
 Leaving DB / WB **60.2 / 58.9** °F
 Coil ADP **58.3** °F
 Bypass Factor **0.100**
 Resulting RH **55** %
 Design supply temp. **58.0** °F
 Zone T-stat Check **1 of 1** OK
 Max zone temperature deviation **0.0** °F

Central Heating Coil Sizing Data

Max coil load **11.6** MBH
 Coil CFM at Des Htg **1674** CFM
 Max coil CFM **1674** CFM
 Water flow @ 20.0 °F drop **N/A**

Load occurs at **Des Htg**
 BTU/(hr-ft²) **17.8**
 Ent. DB / Lvg DB **66.4 / 74.8** °F

Supply Fan Sizing Data

Actual max CFM **1674** CFM
 Standard CFM **1725** CFM
 Actual max CFM/ft² **2.57** CFM/ft²

Fan motor BHP **0.00** BHP
 Fan motor kW **0.00** kW
 Fan static **0.00** in wg

Outdoor Ventilation Air Data

Design airflow CFM **181** CFM
 CFM/ft² **0.21** CFM/ft²

CFM/person **6.95** CFM/person

Project Name: FB_MEXICO FB 62.1 CON HORARIOS 5M2XPersona 15%
 Prepared by: Tyco

Air System Information

Air System Name **A2 SALA DE MULTIUSOS**
 Equipment Class **UNDEF**
 Air System Type **SZCAV**

Number of zones **1**
 Floor Area **476.1** ft²
 Location **Mexico City, Mexico**

Sizing Calculation Information

Calculation Months **Jan to Dec**
 Sizing Data **Calculated**

Zone CFM Sizing **Sum of space airflow rates**
 Space CFM Sizing **Individual peak space loads**

Central Cooling Coil Sizing Data

Total coil load **1.0** Tons
 Total coil load **11.5** MBH
 Sensible coil load **11.5** MBH
 Coil CFM at Nov 1500 **863** CFM
 Max block CFM **863** CFM
 Sum of peak zone CFM **863** CFM
 Sensible heat ratio **1.000**
 ft³/Ton **494.8**
 BTU/(hr-ft³) **24.3**
 Water flow @ 10.0 °F rise **N/A**

Load occurs at **Nov 1500**
 OA DB / WB **79.5 / 58.4** °F
 Entering DB / WB **76.6 / 60.9** °F
 Leaving DB / WB **60.3 / 55.8** °F
 Coil ADP **58.5** °F
 Bypass Factor **0.100**
 Resulting RH **46** %
 Design supply temp. **58.0** °F
 Zone T-stat Check **1 of 1** OK
 Max zone temperature deviation **0.0** °F

Central Heating Coil Sizing Data

Max coil load **6.9** MBH
 Coil CFM at Des Htg **863** CFM
 Max coil CFM **863** CFM
 Water flow @ 20.0 °F drop **N/A**

Load occurs at **Des Htg**
 BTU/(hr-ft³) **14.5**
 Ent. DB / Lvg DB **67.3 / 77.0** °F

Supply Fan Sizing Data

Actual max CFM **863** CFM
 Standard CFM **657** CFM
 Actual max CFM/ft² **1.81** CFM/ft²

Fan motor BHP **0.00** BHP
 Fan motor kW **0.00** kW
 Fan static **0.00** in wg

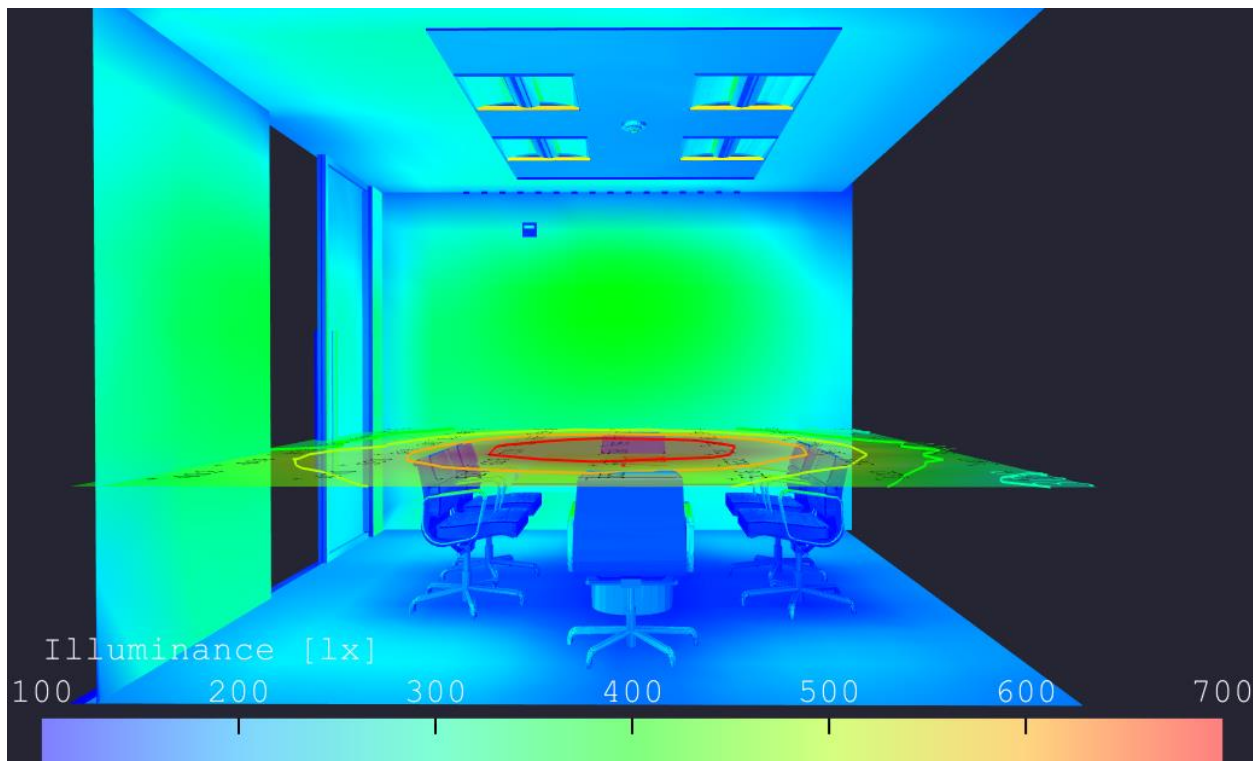
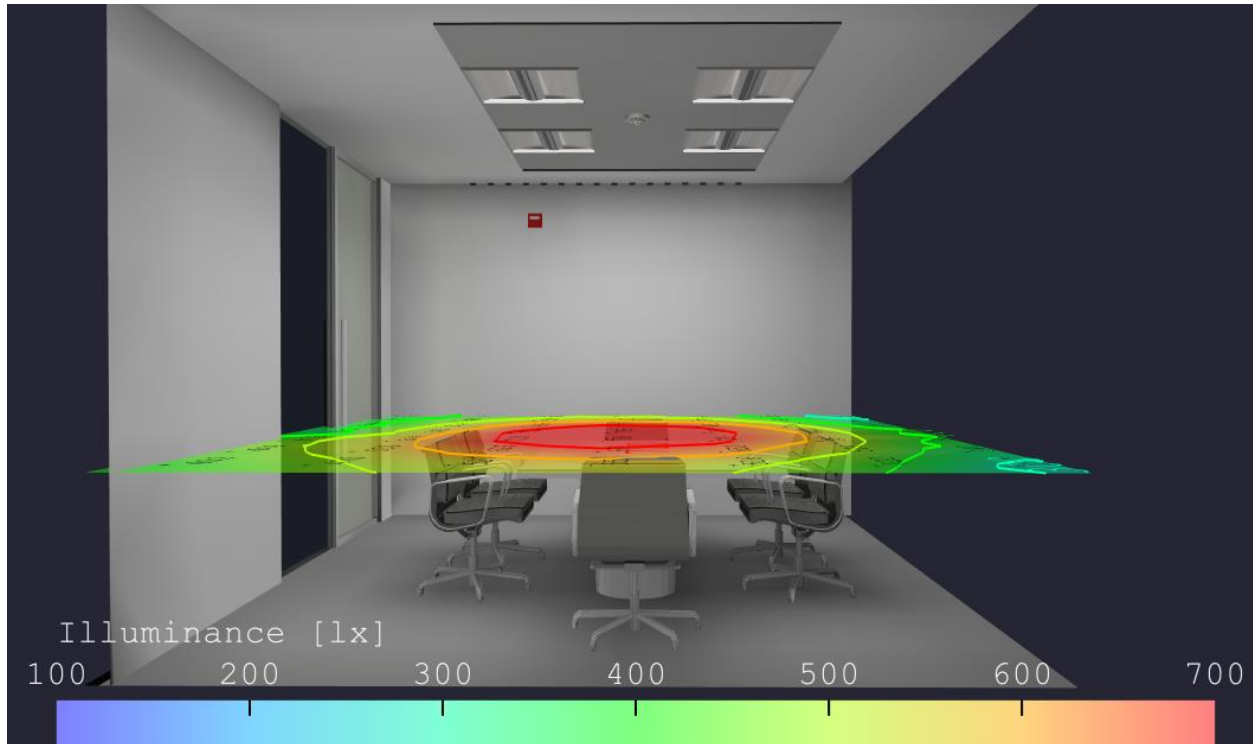
Outdoor Ventilation Air Data

Design airflow CFM **64** CFM
 CFM/ft² **0.11** CFM/ft²

CFM/person **10.71** CFM/person

Figura A- 18 Memoria de Cálculo para los diferentes recintos

Fuente: Elaboración propia.

APENDICE 19. Simulación ElumTools

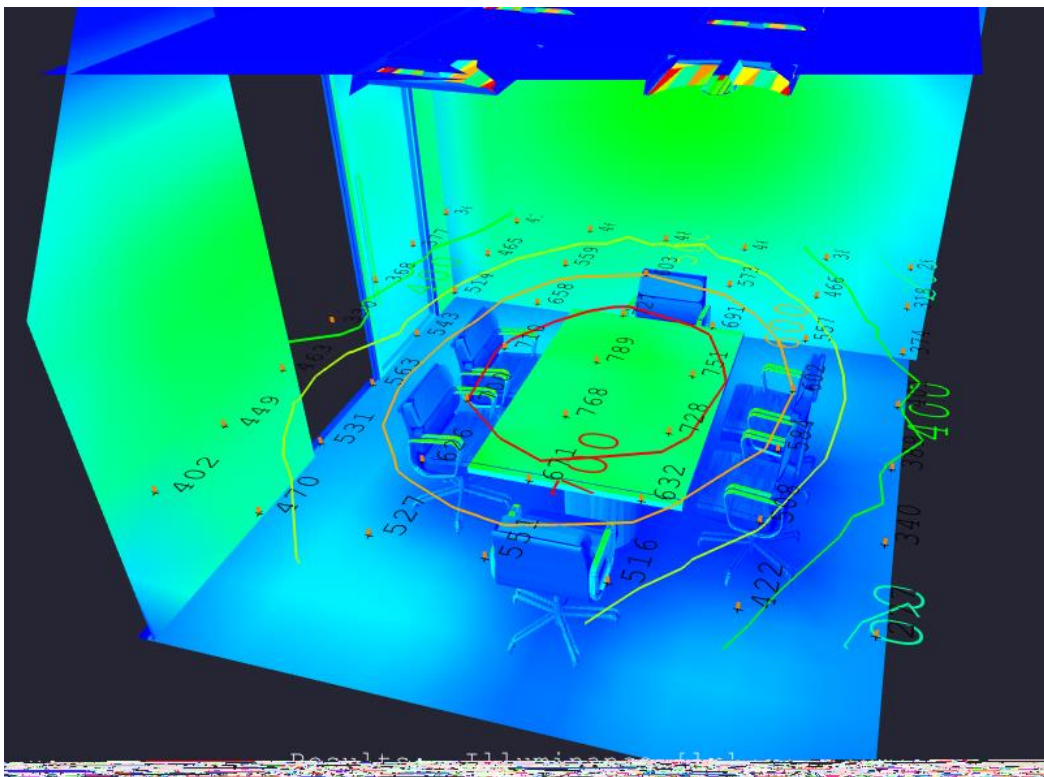
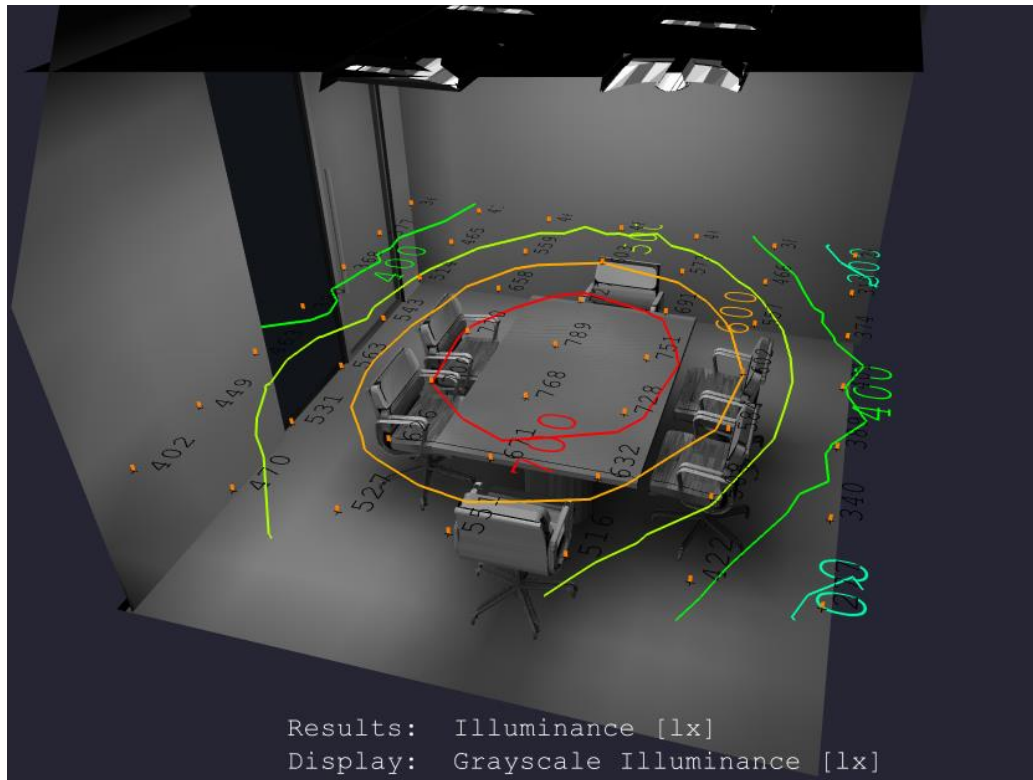


Figura A- 19 Simulación en software de iluminación de oficina

Fuente: Elaboración propia.