

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS  
AMÉRICAS**

**CARRERA O ESCUELA DE INGENIERÍA  
ELECTROMECÁNICA**

**DISEÑO ELECTROMECÁNICO DE UN CENTRO DE DATOS  
GRADO 4 PARA EL MEJORAMIENTO DE SUFICIENCIA  
ENERGÉTICA**

**CÉSAR GAMBOA VALVERDE**

**BILLY RETANA PEÑA**

**SEDE ARANJUEZ**

**DICIEMBRE 2018**

## TABLA DE CONTENIDO

Tabla de contenido .....	4
Índice de tablas .....	10
Índice de ilustraciones.....	12
Dedicatoria .....	13
Agradecimiento.....	14
Resumen ejecutivo .....	15
Capítulo I. Introducción .....	16
Planteamiento del problema.....	16
Título.....	16
Problema.....	16
Objetivo general.....	16
Justificación.....	17
Proyecciones.....	17
Antecedentes .....	18
Diseño del centro de datos del banco del Ecuador, sucursal Cuenca. ....	18
Lineamiento para el diseño de ingeniería de las instalaciones eléctricas para el Data Center de la terminal 2 del aeropuerto internacional de la Ciudad de México. ....	19
Diseño de infraestructura de un Data Center Tier IV de acuerdo con las especificaciones técnicas de la norma TIA-942. ....	19
Capítulo II. Marco teórico .....	22
Conceptos básicos de los centros de datos .....	22
Centro de datos.....	22
El estándar EIA/TIA -942.....	22
Características de los Tier.....	22

Sistemas generales para la implementación de un Datacenter, estándares. ....	24
Sistema redundante y alimentación de equipos de carga crítica. ....	25
Características de las configuraciones de cargas críticas y redundancias. ....	26
Eficiencia en los centros de datos. ....	28
Conceptos de acondicionamiento del aire ....	29
Cálculos de cargas de enfriamiento. ....	30
Ganancias de calor en recintos. ....	31
Radiación solar a través de vidrios. ....	32
Alumbrado. ....	33
Personas. ....	33
Equipos. ....	34
Infiltración. ....	35
Transferencia de calor a los alrededores. ....	36
Carga de enfriamiento o de refrigeración. ....	37
Ganancia de calor por Ventilación. ....	37
Calculo de los requisitos de refrigeración para centros de datos. ....	38
Aire acondicionado en centros de datos. ....	39
Sistemas de iluminación ....	39
Tecnología LED. ....	40
Criterios de diseño de la iluminación. ....	41
Iluminación en los diferentes recintos del centro de datos. ....	41
El estudio de proyectos ....	42
El proceso de preparación y evaluación de los proyectos ....	42
El estudio financiero ....	43
Fundamentos de matemáticas financieras ....	43

Flujo de caja descontado.....	44
Valor neto actual.....	44
Tasa interna de retorno (TIR).....	45
Periodo de recuperación.....	46
Términos de eléctricos y facturaciones generales.....	46
Cálculo de costo de la energía eléctrica.....	48
Capítulo III. Marco metodológico.....	50
Enfoque.....	50
Alcance.....	50
Definición de la muestra.....	50
Variables.....	51
Instrumentos.....	52
Proceso de recolección y análisis de datos.....	53
Capítulo IV. Análisis.....	55
Usos de la energía.....	55
Consumo de la energía.....	56
La energía eléctrica.....	56
La energía calórica.....	59
Ganancias de calor en el cuarto eléctrico B.....	61
Ganancia de calor a través de la estructura exterior.....	62
Ganancia por alumbrado.....	66
Ganancia por personas.....	68
Ganancia de calor por equipos.....	69
Infiltración.....	71
Transferencia de calor a los alrededores.....	73

Ganancia de calor por ventilación. ....	75
Radiación solar a través de vidrios. ....	76
Carga térmica del cuarto de servidores. ....	78
La energía luminosa. ....	83
La intensidad energética ....	84
La intensidad energética de la energía eléctrica ....	85
La intensidad energética de la energía calórica ....	86
La intensidad energética de la energía lumínica.....	88
Eficiencia de la energía.....	88
Eficiencia de la energía eléctrica ....	89
Eficiencia energética de la energía calórica ....	92
Incremento del consumo de los equipos de TI.....	93
Eficiencia energética de la energía luminosa ....	94
Ahorro de energía.....	95
Calculo de paneles solares para cargas no críticas.....	96
Radiación solar en el cantón de San José (HPS).....	96
Datos de las celdas fotovoltaicas a evaluar ....	96
Calculo de la energía requerida para las cargas críticas.....	97
Calculo de los módulos (Np) necesarios.....	97
Calculo del área necesaria para la instalación de los paneles.....	97
Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones .....	98
Conclusiones .....	98
Recomendaciones.....	103
Capítulo VI. Propuesta.....	105
Propuesta 1: Cambio de los Chillers del Centro de datos.....	105

Criterios de evaluación de proyectos .....	108
Propuesta 2: Disminución de la carga térmica de la planta de abajo y arriba del centro de datos para próximamente cambiar los equipos aires acondicionados de estos recintos.....	110
Criterios de evaluación.....	116
Recomendación de la propuesta.....	118
Referencias .....	119
Apéndices .....	122
Apéndice A: Consumo de la energía eléctrica (kW) de los diferentes sistemas y equipos del Centro de Datos.....	122
Apéndice B: Mediciones de la carga térmica del Chiller A .....	127
Apéndice C: Diferencia de temperatura para carga de enfriamiento (DTCE) para cálculo de carga de paredes al sol, 1 °F.....	133
Apéndice D: Diferencias de temperatura para cargas de enfriamiento (DTCE) para calcular cargas debidas a techos planos.....	134
Apéndice E: Descripción de grupos de construcción de paredes.....	135
Apéndice F: Corrección de la DTCE para la DTCE por latitud y mes, para aplicar a paredes y techos, latitud norte. °F.....	136
Apéndice G: Tasas de ganancia de calor debida a los ocupantes del recinto acondicionado .....	137
Apéndice H Factor de carga sensible para cargas de enfriamiento debido a personas .....	138
Apéndice I: Tasas máximas recomendable de infiltración para diseño a través de ventanas y puertas exteriores.....	139
Apéndice J: Coeficiente de sombreado para vidrios con o sin sombreado interior por persianas venecianas enrollables.....	140
Apéndice K: Requisitos de ventilación para ocupantes .....	141
Apéndice L: Factos solar (s. f.) a través del vidrio (BTU/hr*pie de área) .....	142
Apéndice M: Factores de carga de enfriamiento para vidrios sin sombreado interior (se	

incluye vidrio reflector y absorbente de calor) .....	143
Apéndice N: Hoja de cálculo de la energía térmica producida por una sala de centro o de red .....	145
Apéndice Ñ: Hoja de características de los Chillers .....	146
Apéndice O: Tarifas vigentes en Costa Rica de acuerdo con la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) .....	150
Apéndice P: Tipo de cambio de compra y venta del dólar de los Estados Unidos de América .....	151
Apéndice Q: Características de las películas de seguridad y de control solar para ventanas .....	152
Apéndice R: Características de las películas de seguridad y de control solar para ventanas RE15SIX.....	153
Apéndice S: Nomenclatura de los equipos MHCCW .....	154
Apéndice T: Medición de P.U.E del Centro de datos del 11/24/2018 a las 7:00 a.m. hasta 11/26/2018 a las 06:30 a.m.....	155
Apéndice U: Valores diarios mensuales de la radiación solar global (MJ/m <sup>2</sup> . día) de las estaciones radiométricas que se escogieron para el estudio del potencial de la energía solar en Costa Rica. ....	157
Apéndice V: Características técnicas del modulo TALLMAX con marco de 72 celdas (1500v).....	158

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Variables a utilizar en el trabajo.....	52
Tabla 2	Instrumentos por utilizar en el trabajo .....	53
Tabla 3	Consumo de la potencia eléctrica en el Centro de datos .....	57
Tabla 4	Resumen de las medidas del consumo de la energía eléctrica (kW) de los diferentes sistemas y equipos del centro de datos.....	59
Tabla 5	Resumen de las mediciones de la carga térmica del Chiller A .....	60
Tabla 6	Datos iniciales en el cálculo de la carga térmica del cuarto eléctrico B.....	61
Tabla 7	Datos de paredes, techos y vidrios del cuarto eléctrico B.....	63
Tabla 8	Área del cuarto eléctrico B según los planos .....	64
Tabla 9	Ganancia de calor (Q) por estructuras externas en el cuarto eléctrico A .....	66
Tabla 10	Ganancia de calor generada por iluminación en el cuarto eléctrico B. ....	68
Tabla 11	Ganancia de calor por persona .....	69
Tabla 12	Ganancia de calor por equipos en el cuarto eléctrico B. ....	71
Tabla 13	Calculo de la ganancia por infiltración sensible del cuarto eléctrico B .....	73
Tabla 14	Cálculo de la ganancia por infiltración latente del cuarto eléctrico B.....	73
Tabla 15	Resumen de la transferencia de calor hacia los alrededores .....	75
Tabla 16	Ganancia por ventilación en el cuarto eléctrico B.....	76
Tabla 17	Calculo de la carga térmica por radiación solar a través de vidrios .....	78
Tabla 18	Carga térmica de la sala de servidores.....	79
Tabla 19	Ganancias de calor de los recintos del Centro de datos (BTU/h). ....	80
Tabla 20	Ganancias de calor de los recintos del Centro de datos (BTU/h). ....	80
Tabla 21	Calor en los recintos del centro de datos ((BTU/h)) .....	81
Tabla 22	Carga máxima de enfriamiento del Centro de datos .....	81
Tabla 23	Asignación de Carga térmica para cada Chiller .....	82
Tabla 24	Cantidad de Luxes en los recintos del centro de datos.....	83
Tabla 25	Potencia consumida por año de las lámparas en cada recinto, si permanecen incendiada todo el tiempo .....	84
Tabla 26	Consumo de los sistemas o equipos del Centro de Datos.....	85
Tabla 27	Porcentaje de aporte a la carga de enfriamiento.....	87

Tabla 28 Comparación de los Chillers instalados contra las necesidades actuales calculadas	89
Tabla 29 Ejemplo del cálculo de la utilización del Chiller A.....	90
Tabla 30 Comparación de los equipos de climatización instalados contra las necesidades actuales .....	92
Tabla 31 Carga térmica de la sala de servidores con capacidad aumentada .....	93
Tabla 32 Carga máxima de enfriamiento del Centro de datos con el máximo aumento de los equipos de TI. ....	94
Tabla 33 Comparación de la cantidad de lux de los diferentes recintos del Centro de datos. .	94
Tabla 34 Comparación entre los Chillers Actual y propuesta .....	106
Tabla 35 Costo y horario de la energía eléctrica en Costa Rica .....	106
Tabla 36 Comparación del costo de la energía entre Chillers (Actual y propuesta) .....	107
Tabla 37 Costo de compra e instalación de dos Chiller HPC-M.....	108
Tabla 38 Nuevo cálculo de la carga térmica generada por filtración solar Parte Alta.....	110
Tabla 39 Resumen del nuevo cálculo de la carga de enfriamiento máxima de la Planta Alta .....	111
Tabla 40 Resumen del nuevo cálculo de la carga de enfriamiento máxima de la Planta baja	112
Tabla 41 Resumen del nuevo cálculo de la carga de enfriamiento máxima de la Planta Alta	113
Tabla 42 Equipos sugeridos propuesta # 2.....	114
Tabla 43 Comparación del costo de la energía entre equipo de aire acondicionado de confort (Actual y propuesta).....	115
Tabla 44 Costo de instalar película protectora en el Centro de datos.....	116

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Esquema de un centro de datos. ....	24
Ilustración 2 Configuración redundante 2(n+1) .....	28
Ilustración 3 Fórmula de P.U.E .....	29
Ilustración 4 Factores de conversión para equipos .....	35
Ilustración 5 hoja de cálculo de la energía térmica producida por una sala de centro de datos o de red.....	38
Ilustración 6 Fórmula para calcular el VAN .....	44
Ilustración 7 Fórmula para calcular el TIR .....	45
Ilustración 8 Ejemplos de cálculo de energía .....	47
Fuente: CNFL (s. f.).....	47
Ilustración 9 Cálculo de Costo de la potencia eléctrica .....	49
Ilustración 10 Concepto de desempeño energético para un sistema de gestión energético .....	55
Ilustración 11 Potencia consumida por los equipos del centro de datos.....	86
Ilustración 12 Aporte de carga térmica de los diferentes recintos.....	87
Ilustración 13 Comportamiento del sistema de iluminación durante el día. ....	88
Ilustración 14 Requisitos referentes al uso, consumo de energéticos y eficiencia energética. .	89
Ilustración 15 Porcentaje de utilización del Chiller A .....	91
Ilustración 16 Distribución normal de la utilización del Chiller A .....	91

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado primero a Dios. “Cuando te llame, me respondiste; me infundiste ánimo y renovaste mis fuerzas” (Salmos 138 3:4). A mis padres Gilberth Gamboa Rojas y Olga María Valverde Pérez, que forjaron la persona que soy hoy y por todos los momentos de alegría. A mis hermanos Dennis y Karen por toda su ayuda en los momentos de apuros y tristeza.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primero a Dios por la oportunidad de vivir en una maravillosa época de la historia.

Agradezco a mis padres por toda la ayuda brindada en todos estos años de crecimiento educativo, desde mis primeros años en la escuela hasta este último periodo de educación.

A mis hermanos por cada una de sus ideas y ocurrencias.

Agradezco al Máster Billy Retana Peña por la ayuda en el desarrollo de este trabajo, por cada sugerencia y mejora para finalizar.

Agradezco a anónimo que escribió la frase: “El miedo es una ilusión”.

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El uso correcto y el aprovechamiento de la energía en todas sus formas son un tema país para la sociedad costarricense, como ingenieros es nuestro deber determinar cuáles son las mejores formas de utilizar, conservar y aprovechar la energía. En el siguiente trabajo se muestra cómo se utiliza la energía en tres formas, la energía eléctrica, calórica y la lumínica, todo esto en relación con la eficiencia en un Centro de datos.

Se diagnosticará si las energías son bien aprovechadas o si hay un uso ineficiente, para esto se determinará cuáles son los equipos que consumen más energía, cual es el porcentaje de eficiencia que se le da a la energía y, por último, se plantearán formas de conservación de la energía para disminuir este consumo y así aumentar la eficiencia general del Centro de datos.

Al terminar el trabajo se planteará, mediante un análisis financiero, la viabilidad de las formas de conservación de la energía, con esto se dará una idea de cuál es el costo de un manejo ineficiente de la energía y su costo económico.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### **Planteamiento del problema**

#### **Título.**

Dimensionamiento de los sistemas de iluminación y de climatización de un Centro de datos Tier IV para el mejoramiento de su eficiencia energética

#### **Problema.**

¿Cuál es el mejor dimensionamiento de los sistemas de iluminación y de climatización de un Centro de datos Tier IV para el mejoramiento de su eficiencia energética, que se encuentra ubicado en el cantón central de la provincia de San José?

#### **Objetivo general.**

Realizar el dimensionamiento de los sistemas de iluminación y de climatización de un Centro de datos Tier IV para el mejoramiento de su eficiencia energética, que se encuentra ubicado en el cantón central de la provincia de San José.

#### **Objetivos específicos.**

- Compilar los datos de las necesidades de iluminación y de climatización para el funcionamiento correcto del Centro de datos
- Evaluar los equipos actuales de los sistemas de iluminación y de climatización contra las condiciones actuales del Centro de datos
- Planear técnicas para la conservación de la energía en los sistemas de iluminación y climatización, para que disminuya el consumo de energético en el centro de datos
- Estimar el costo económico para la aplicación de las técnicas de conservación de energía en los sistemas de iluminación y climatización del Centro de datos.

## **Justificación.**

El documento consiste en un estudio del dimensionamiento de los sistemas de aire acondicionado y del sistema de iluminación para un centro de datos Tier IV, esto con el fin de buscar oportunidades de conservación de energía y así mejorar su rendimiento energético.

Al analizar la situación mundial sobre el uso de la energía en centro de datos se podrá tener una idea sobre la situación del país, de acuerdo con López, Huedo y Garbajosa (2008):

El consumo de energía es hoy una cuestión crítica para las organizaciones de TI, ya sea para reducir costes, para preservar el medioambiente o para mantener el centro de datos operativo. Solo en los Estados Unidos, los centros de datos consumieron 4.500 millones de dólares de electricidad en 2006. El analista industrial Gartner estima que, durante los próximos cinco años, la mayoría de los centros de datos de empresas gastarán tanto dinero en energía (potencia y refrigeración) como en infraestructura *hardware*. Es interesante ver cómo aumenta el número de servidores en los centros de proceso de datos al tiempo que crece el gasto energético para la refrigeración y para la gestión de los servidores. Estos indicadores muestran áreas en las que se puede optimizar el gasto energético (p. 21).

Por esta razón, este trabajo busca plantear métodos de conservación de la energía para reducir el consumo de energía en los sistemas de climatización e iluminación en el centro de datos para aumentar su eficiencia.

Para realizar este estudio, se creará una memoria de cálculo en el sistema de aire acondicionado y se realizará la medición de lumen en el sistema de iluminación, para comparar los equipos instalados actualmente contra las necesidades actuales de la edificación, esto con el fin de determinar eficacia de los equipos y buscar mejoras.

## **Proyecciones.**

Al realizar el trabajo se busca, como resultado del proceso investigativo, lograr lo siguiente:

- Comparación de los equipos actuales *versus* las necesidades actuales de refrigeración del centro de datos.

- La comparación de las necesidades de iluminación contra la capacidad instalada en el centro de datos.
- Presentar una serie de mejoras para la conservación de la energía.
- Presentar un estudio financiero para la implementación de las mejoras de conservación de energía.

## **Antecedentes**

### **Diseño del centro de datos del banco del Ecuador, sucursal Cuenca.**

El trabajo de graduación del Ingeniero Carlos Briones García corresponde al diseño del centro de datos para el Banco Central del Ecuador sucursal de Cuenca, aplicando la norma ANSI/TIA/EIA -942. La tesis consta de tres partes.

En la primera parte permite conocer los conceptos teóricos de los componentes físicos de un centro de datos, Además, menciona los fundamentos filosóficos del Centro de datos: simplicidad, flexibilidad, escalabilidad y modularidad los cuales serán la base para el dimensionamiento de los equipos del sistema eléctrico.

La simplicidad ayuda a entender y administrar el centro de datos, un diseño complejo, aunque permita resolver un problema requiere un exceso de energía y tiempo. La flexibilidad otorga al centro de datos la capacidad de desarrollar y soportar nuevos servicios fácilmente y dar al diseño nuevas aplicaciones en corto tiempo. La escalabilidad es entender cómo la capacidad del centro de datos puede cambiar de una forma fluida por la variedad de equipos, sin alterar su funcionamiento ni perder calidad para adaptarse a las circunstancias cambiantes en los servicios ofrecidos. Modularidad es la capacidad que tiene un sistema de dividirse en partes pequeñas denominadas módulos, el diseño modular permite crear sistemas complejos a partir de componentes básicos más pequeños y manejables.

En la segunda parte determina la infraestructura del centro de computación del Banco Central de Ecuador, sucursal Cuenca, su ubicación, su arquitectura, sus equipos, entre otras características.

La tercera parte corresponde a la propuesta del diseño para cumplir con la norma TIA-942. Menciona los diferentes sistemas que necesita el centro de datos como, piso falso, puesta a tierras, sistema de seguridad, sistema de climatización, sistema de alimentación interrumpida y sistema de alimentación. Además, contempla un presupuesto para la implementación.

Con el antecedente se pretende conocer las normas ANSI/TIA/EIA -942, además de aplicar la filosofía de funcionamiento y diseño de un centro de datos.

### **Lineamiento para el diseño de ingeniería de las instalaciones eléctricas para el Data Center de la terminal 2 del aeropuerto internacional de la Ciudad de México.**

La tesis del Ingeniero José Luis Castillo Islas para obtener el título de Ingeniero electricista corresponde al diseño de eléctrico de un centro de datos de la terminal 2 del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, bajo la norma estándar TIA-942. En el planeamiento contempla aspectos importantes que afectan al diseño eléctrico, como los equipos de aire de precisión, espacio físico del centro de datos, equipos de soporte, capacidades eléctricas.

El trabajo describe los parámetros generales de diseño y contempla características del inmueble, detalla la distribución de energía eléctrica del centro de datos.

El documento será una base para realizar los cálculos eléctricos del diseño ya que contiene una metodología para el cálculo de los sistemas principales para el funcionamiento correcto de los centros de datos. A través de los capítulos aplica la normativa del código eléctrico nacional (NEC-NFPA70-2005) y la Normativa de materiales eléctricos (NOM 001), normativas aplicadas en México.

### **Diseño de infraestructura de un Data Center Tier IV de acuerdo con las especificaciones técnicas de la norma TIA-942.**

El documento consiste en un caso de estudio a desarrollarse en base en el diseño de un Data Center Tier IV, en la infraestructura de los sistemas eléctricos, climatización, seguridad

física y comunicaciones. Fue realizado por el Ingeniero José Javier Escobar Rodríguez para obtener el título de maestría de redes de comunicación.

El diseño no contempla una implementación en empresas, sin embargo, se basa en los parámetros técnicos de la normativa TIA -942 por lo cual puede adoptarse para la implementación en cualquier empresa.

A través del documento se obtienen diferentes principios de diseño y requerimientos primordiales para la operación de Data Center TIER IV. A partir del capítulo 5 el documento da una serie de recomendaciones basadas en la normativa TIA – 942, sobre las necesidades de infraestructura, sistemas complementarios, eléctricos, vigilancia y el dimensionamiento del espacio físico para los equipos.

Al no ser una tesis que se centra en el diseño, se hace énfasis a las necesidades de operación normal y en modo de falla, contiene parámetros de diseño basados en la norma, útiles en el momento de seleccionar los equipos eléctricos.

### ***Evaluación financiera de la compra de maquinaria para la empresa Neo Pórticos de Asunción S. A.***

El trabajo para optar por el grado de Maestría Profesional en finanzas de la señora Yendry Belfort Arguedas, consiste en la evaluación financiera de la compra de maquinaria para la empresa Neo Pórticos de Asunción S. A., esto para satisfacer el deseo de la empresa en mantenerse prospera y líder en el mercado.

El objetivo principal de este trabajo es evaluar el proyecto de inversión para la compra de un robot versátil, una inyectora haitiana (tecnología IML) y cinco moldes fabricados en España, este objetivo se logra mediante un estudio de factibilidad financiera que consiste en estimar el costo e inversión inicial de la compra, estima el valor de desecho y el tipo de financiamiento de la compra, con estos datos en el capítulo IV realiza el análisis financiero del proyecto bajo tres posibles escenarios: un escenario de flujo de efectivo proyectado, un flujo de efectivo optimista y un flujo de efectivo pesimista.

Los métodos de cálculo de valor actual neto, tasa interna de retorno, el cálculo de los beneficios, periodo de recuperación entre otros cálculos se tomarán como guías para realizar un

estudio financiero de las posibles medidas que se desean implantar en el aumento de la eficiencia energética de los sistemas de climatización y los sistemas de iluminación de los centros de datos.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### Conceptos básicos de los centros de datos

#### Centro de datos.

El lugar en el que las instituciones u organizaciones mantienen todos los datos necesarios para el procesamiento de información es conocido como Centro de datos. De acuerdo Galván (2013) la definición de centro de datos corresponde a:

Se denomina Centro de Proceso de Datos o Datacenter a aquella ubicación donde se concentran todos los recursos necesarios para el procesamiento de la información de una organización. Dichos recursos consisten esencialmente en unas dependencias, debidamente acondicionadas, de computadoras y redes de comunicaciones. Se suelen denominar por su acrónimo: CD o Datacenter (en inglés), Centro de datos de cómputo o centro de datos (p. 15).

#### El estándar EIA/TIA -942.

El estándar EIA/TIA-942 es una guía para los diseñadores de centro de datos, debido a que proporciona una serie de recomendaciones y guías para la instalación de equipos. Además, define la Infraestructura de Telecomunicaciones para Datacenter en general. Según Galván (2013) estándar EIA/TIA-942 define a los centros de datos:

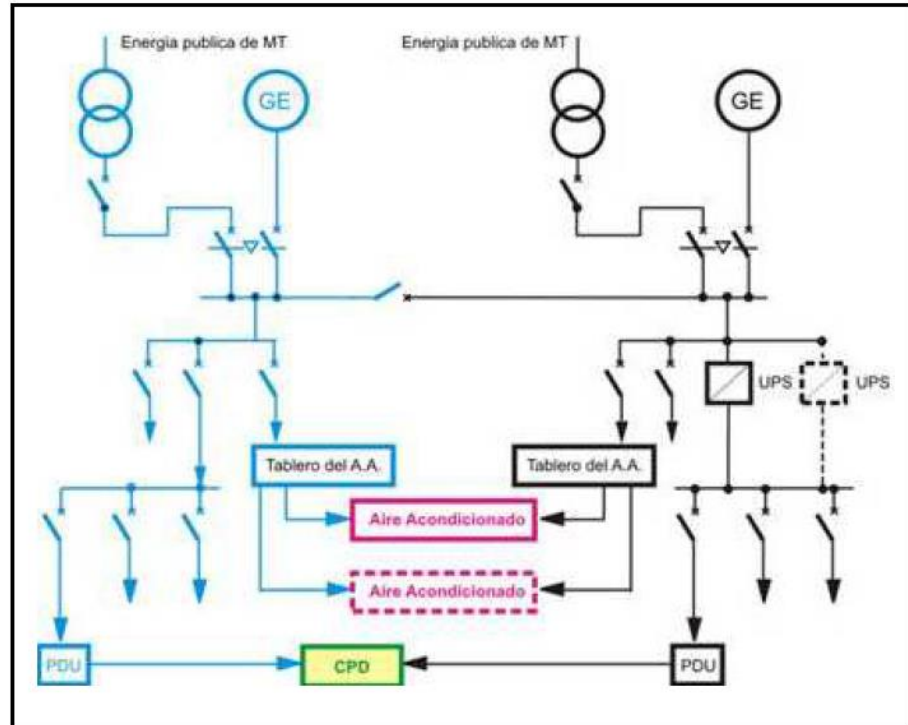
En abril de 2005, la *Telecommunication Industry Association* publicó su estándar TIA-942 con la intención de unificar criterios en el diseño de áreas de tecnologías y comunicaciones. Este estándar que en sus orígenes se basa en una serie de especificaciones para comunicaciones y cableado estructurado, avanza sobre los subsistemas de infraestructura, generando los lineamientos que se deben seguir para clasificar estos subsistemas en función de los distintos grados de disponibilidad que se pretende alcanzar. En su anexo G (informativo) y con base en recomendaciones del *UptimeInstitute*, establece cuatro niveles (Tiers) en función de la redundancia necesaria para alcanzar niveles de disponibilidad de hasta el 99.995 % (pp. 15-16).

#### Características de los Tier.

La norma EIA/TIA – 942, describe los cuatro distintos tipos de Tier de acuerdo con

Galván (2013) y de forma resumida tiene las siguientes características:

- Tier I (Datacenter Básico): Un Datacenter Tier I puede ser susceptible a interrupciones tanto planeadas como no planeadas. La carga máxima de los sistemas en situaciones críticas es del 100 %. La tasa de disponibilidad máxima del Datacenter es 99.671 % del tiempo (p. 27).
- Tier II (Componentes Redundantes): Los Datacenter con componentes redundantes son ligeramente menos susceptibles a interrupciones, tanto los planeados como los no planeados (p. 28).
- Tier III (Mantenimiento Concurrente): Las capacidades de un Datacenter de este tipo le permiten realizar cualquier actividad planeada sobre cualquier componente de la infraestructura sin interrupciones en la operación [...] La tasa de disponibilidad máxima del Datacenter es 99.982 % del tiempo (p. 29).
- Tier VI (Tolerante a fallas): este Datacenter provee capacidad para realizar cualquier actividad planeada sin interrupciones en las cargas críticas, pero, además, la funcionalidad tolerante a fallas le permite a la infraestructura continuar operando incluso ante un evento crítico no planeado. Esto requiere dos líneas de distribución simultáneamente activas, típicamente en una configuración “system + system”; eléctricamente esto significa dos sistemas de UPS independientes y cada uno con un nivel de redundancia N+1 [...] La tasa de disponibilidad máxima del Datacenter es 99.995 % del tiempo. No obstante, para la exigencia que demanda un Tier IV algunas empresas u organizaciones manifiestan necesitar una disponibilidad de *cinco nueves*, lo que significa un 99,999 % de disponibilidad. Esto es poco más de cinco minutos anuales sin sistemas (pp. 30-31).



*Ilustración 1 Esquema de un centro de datos.*

Fuente: Galván (2013).

### **Sistemas generales para la implementación de un Datacenter, estándares.**

Para el funcionamiento correcto de un Centro de datos deberá contar con diferentes sistemas que aseguren el funcionamiento de los equipos entre de los sistemas se encuentran, según Galván (2013), algunos de estos sistemas son:

- Los sistemas de aire acondicionado de precisión: tienen el propósito de mantener la temperatura adecuada en el centro de cómputo y obligado a seleccionar la mejor arquitectura de acondicionamiento según las características del recinto y la ubicación geográfica (p. 37).
- Sistema de energía interrumpible: En los países desarrollados se podría asegurar que las redes públicas de distribución de energía tienen un buen nivel de confiabilidad, aunque, está la posibilidad de que se produzcan un tiempo de inactividad sin importar el motivo que fuese (contingencia) y estos fallos no programados ocasionan problemas en el normal funcionamiento del negocio; es así que nace la necesidad de incorporar un sistema que sea tolerante a fallas en lo que respecta a energía, ya que estamos hablando de un sistema UPS (sistema de energía interrumpible), este se ubica entre la red pública de distribución y sus cargas de misión crítica (p. 42).

- Sistema de iluminación automatizado: Se requiere la instalación de un sistema de iluminación para todos los pasillos de equipos y en las áreas aledañas para la iluminación de acuerdo con los requerimientos del Datacenter de 500 luxmen a un metro de altura, de igual forma estos sistemas deben estar controlados automáticamente para que se enciendan solamente las áreas donde haya movimientos de personas. El sistema de iluminación contempla el sistema de emergencia en salas críticas, en caso de cortes de energía no programados (p. 69).
- Sistema eléctrico: Teniendo en cuenta el proyecto se requiere de la implementación de sistemas eléctricos con circuitos principales, circuitos secundarios tanto de corriente normal como regulada con su debida protección e igualmente sistemas de iluminación y control en los diferentes puntos de entrada al Datacenter y acceso principal (p. 69).

### **Sistema redundante y alimentación de equipos de carga crítica.**

Los sistemas redundantes, son sistemas que realizan el mismo proceso, si por algún motivo dejara de funcionar, inmediatamente otro ocuparía su lugar. Una definición de sistema redundante, de acuerdo con Galván (2003) es:

El sistema redundante, significa tener la disponibilidad de que existe otro equipo, dispositivo o elemento que respalde o reemplace en caso de que falle la unidad principal. En el caso de los sistemas eléctricos de respaldo de energía, existen varios puntos que pueden tener alguna posibilidad de falla y, por esto, un buen proyecto debe ser capaz de que la disponibilidad del sistema esté por sobre el 99.99 % de UpTime. Actualmente, podemos contar con redundancia a nivel de generación, distribución y cargas, pero en gran parte los problemas eléctricos suceden, con mayor recurrencia, a nivel de la distribución de la energía, ya que los sistemas de respaldo cada vez son más confiables. Por esto, que existen varios tipos de redundancia (p. 184).

La carga crítica es aquella que al dejar de funcionar o al funcionar de forma inapropiada ocasiona una suspensión total o parcial del servicio, en un Centro de datos existen diferentes configuraciones de cargas críticas, sobre las cargas críticas Galván (2013) menciona:

La nomenclatura que incluye la letra N ejemplifica la necesidad de un equipo de carga crítica. Habitualmente, en el mercado se utilizan nomenclaturas N, N+1, 2N, 2(N+1) para designar las distintas configuraciones de redundancia de los sistemas UPS, cabe aclarar, que no todos los sistemas N+1 o 2N son iguales (p. 44).

## **Características de las configuraciones de cargas críticas y redundancias.**

De acuerdo con Galván (2013) y de forma resumida las configuraciones de los equipos se pueden observar las diferencias características entre cada una de las configuraciones de redundancia:

- (N) Configuración de capacidad: Designa a las instalaciones con un solo sistema de UPS o varios juntos proporcionan capacidad equivalente a la carga total crítica del Datacenter (p. 44).
- (N+1) Redundancia aislada: Esta configuración posee dos (2) UPS capaces de soportar toda la carga crítica, pero únicamente una está operativa y la restante ingresa en operación por alguna falla de la primera (p. 44).
- (N+1) - Redundancia en paralelo: Esta configuración posee dos (2) UPS capaces de soportar toda la carga por completo del Datacenter. Esta es una de las configuraciones más habituales y requiere que los sistemas estén sincronizados y que sean del mismo fabricante (p. 44).
- (2N) Redundancia sistema + sistema: El diseño puede equivaler a dos sistemas de capacidad N alimentado simultáneamente a las PDU, es decir, dos parejas de UPS + generador y tiene varias implementaciones posibles con la ventaja de eliminar varios puntos de fallos, con su consecuente inversión. Tier 4 - Según TIA-942.
- 2(N+1) - Doble redundancia en paralelo: Esta solución corresponde a dos configuraciones de redundancia en paralelo alimentadas simultáneamente a la carga crítica del Datacenter y requiere cuadruplicar la potencia eléctrica necesaria ya que cada uno de los sistemas UPS tiene que ser capaz de proteger la carga crítica. Exige dos generadores capaces de soportar independientemente toda la carga de la instalación. Todo el sistema es tolerante a fallos. Tier 4 - Según TIA-942, siempre y cuando se utilicen dos distribuidores diferentes de energía (p. 45).

### ***Características del sistema de doble redundancia en paralelo 2 (N+1)***

La configuración 2(N+1) es de las más confiables, sin embargo, es de las más costosas que hay en el mercado requiere por lo menos de cuadruplicar la potencia eléctrica necesaria para alimentar los sistemas informáticos conforme con Galván (2013):

Estos sistemas sirven para eliminar todos los puntos de fallas [...] este es el diseño más confiable y el más costoso de la industria. La elección de este sistema depende de la visión que tenga el proyectista de hasta dónde quiere preservar o salvaguardar la carga crítica que maneja el Datacenter, es decir, ponderar en tener operativo un 100 % del tiempo todas las instalaciones que dan soporte a la carga crítica (core bulines) y esto no tiene precio. El negocio no puede permitirse estar fuera de servicio por contingencias y

el costo de mantener Off-line todos los servicios es más alto que el costo de los sistemas redundantes, por lo que la inactividad de un Datacenter con esta envergadura es inaceptable. Muchos Datacenter eligen esta configuración para proteger su negocio (p. 57).

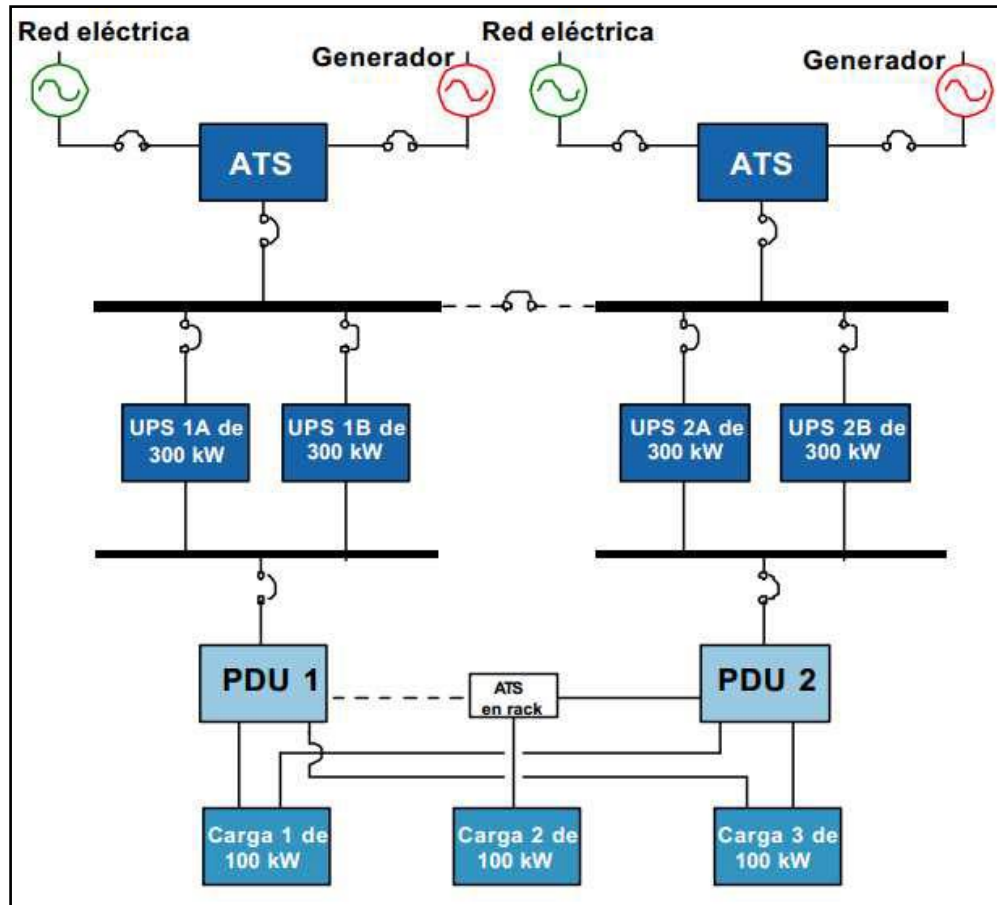
Cada configuración N tiene sus ventajas y sus desventajas en el caso de la configuración 2(N+1) en paralelo algunas de las ventajas y desventajas. Según Galvan (2013) se pueden encontrar:

#### Ventajas

- Los dos caminos de energía hacen que no exista ningún punto de falla único, tienen una alta tolerancia a las fallas
- La configuración ofrece redundancia completa desde la entrada de la red de distribución eléctrica hasta las cargas críticas
- En estos diseños 2(N+1), existe redundancia en el sistema UPS, incluso durante el mantenimiento concurrente.

#### Desventajas

- Alto costo de inversión, debido a la gran cantidad de componentes del sistema UPS
- La eficiencia del sistema UPS disminuye debido al funcionamiento habitual con una carga menor a la completa (pp. 58-59).



*Ilustración 2 Configuración redundante 2(n+1)*

Fuente: Galván (2013).

### **Eficiencia en los centros de datos.**

La eficiencia energética de los centros de datos se relaciona con la disminución de la energía total consumida y la energía utilizada para el procesamiento de datos, de acuerdo con De Ford (s. f.):

Hace unos años, el concepto de eficiencia energética en data centers era muy subjetivo, ya que con frecuencia no se tenía claro cómo se debía medir la energía, dónde se debía medir o qué unidades usar. Ante este inconveniente, los data centers necesitaban una medida como los litros de gasolina por kilómetro recorrido, para medir la eficiencia. Por esta razón, se desarrolló la métrica de eficiencia llamada PUE, la cual es estándar de eficiencia energética en data centers más aceptado internacionalmente. A pesar de que el tema de eficiencia energética va más allá del PUE, este es un buen indicador de cómo

se está manejando la energía en un Datacenter (p. 4).

La compañía *The Green Grid association* es un consorcio industrial que colabora para la mejora de la eficiencia de los recursos de los centros de datos, de acuerdo con De Ford (s. f.), la utilización de la métrica del P.U.E es una relación válida para medir la eficiencia de los centros de datos.

La métrica de PUE explica la eficiencia que tiene un Centro de Datos:

El PUE (Power Usage Effectiveness) es una métrica creada por la organización The Green Grid, que mide la efectividad en el uso de la energía de un Datacenter [...] Actualmente, los data centers más eficientes del mundo tienen valores de PUE de aproximadamente 1.1 y los data centers promedio tienen valores de 1.9 (pp. 4-5).

$$PUE = \frac{\text{Potencia total de todo el equipo del data center (Watts)}}{\text{Potencia total del equipo de TI (Watts)}}$$

*Ilustración 3 Fórmula de P.U.E*

Fuente: De Ford (s. f.).

### **Conceptos de acondicionamiento del aire**

De acuerdo con Pita (2005) el acondicionamiento del aire se define como “el proceso de tratamiento del mismo en un ambiente interior con el fin de establecer y mantener los estándares requeridos de temperatura, humedad limpieza y movimiento” (p. 2). La mayoría de los sistemas de acondicionamiento del aire se utilizan para dar confort, pero también se emplean para obtener condiciones que se requieran en un determinado proceso.

Para el estudio del acondicionamiento del aire se definen algunos parámetros, el primero de definir es el calor. Pita (2005) afirma: “El calor es la forma de energía que se transmite de un cuerpo a otro debido a una diferencia de temperatura” (p. 28). La unidad más común que se usa es el BTU en los Estados Unidos en el sistema internacional se utiliza el Joule.

Cuando el calor agregado a o eliminado de, una sustancia provoca un cambio de temperatura, entonces el cambio de entalpia en la sustancia se llama cambio de calor sensible. Cuando el calor agregado a o eliminado de una sustancia provoca un cambio de estado entonces el cambio de entalpia es la sustancia se llama cambio de calor latente (Pita, 2005, p. 37).

Los efectos del calor latente y sensible en las instalaciones son puntos importantes debido que la selección de equipos depende de estos equipos, de acuerdo con Pita (2005): “Las ganancias de calor sensible ocasionan un aumento de la temperatura del aire y las ganancias calor latente se deben a la adición de vapor de agua y, por lo tanto, aumentan la humedad” (p. 136).

La definición de temperatura, según Pita (2005), se produce por el movimiento de las partículas, este fenómeno es medible mediante un termómetro:

La temperatura es una medida de la actividad térmica del cuerpo esta actividad depende de la velocidad de las moléculas y demás partículas de las cuales se compone toda la materia [...] la escala de unidades que se usa para medir la temperatura en los Estados Unidos es el grado Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ), según la cual el punto de ebullición del agua es de  $212^{\circ}\text{F}$  y el punto de congelación de agua es de  $32^{\circ}\text{F}$  ambos a una presión atmosférica. En el sistema SI de unidades se usa el grado Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) (pp. 28-29).

La temperatura del bulbo seco (BS), es la temperatura del aire, tal como lo indica un termómetro. Las palabras temperatura y temperatura del bulbo seco se emplean para designar lo mismo tratándose del aire.

La temperatura de bulbo húmedo (BH), es la temperatura que indica un termómetro cuyo bulbo este envuelto en una mecha empapada en agua, en el seno de aire rápido en movimiento (Pita, 2005, p. 178).

### **Cálculos de cargas de enfriamiento.**

En el interior de una instalación gana calor debido a varias fuentes, por lo que la temperatura y la humedad se deben mantener a nivel de confort o los requeridos en los procesos la cantidad de calor neta que se retira se denomina carga de enfriamiento.

La ganancia de calor bruta del recinto es la velocidad a la que se recibe calor en cualquier momento en el recinto. Esta ganancia de calor está constituida por partes procedentes de muchas fuentes: radiación solar, alumbrado, conducción y convención, personas equipo infiltración. Todo el calor que se recibe de esas fuentes en general no se emplea en forma inmediata para calentar el aire del recinto... La carga de enfriamiento del recinto, que es la velocidad a la cual se debe eliminar el calor del recinto para mantener las condiciones de diseño, es la suma de las ganancias netas del calor (Pita, 2005, pp. 134-135).

### Ganancias de calor en recintos.

Las ganancias de calor a través de las paredes, techos y vidrios que dan al exterior se calculan con la siguiente ecuación:

$$Q = UxAxDTCE_1$$

Donde:

$Q$  = Ganancia neta del recinto por conducción a través de techo, paredes o vidrios (BTU/h).

$U$  = Coeficiente de transmisión de calor para el techo, paredes o vidrios (BTU/h – ft<sup>2</sup> - °F).

$A$  = Área del techo, pared o vidrio (ft<sup>2</sup>).

$DTCE_1$  = Diferencia de temperatura para carga de enfriamiento.

La  $DTCE_1$  es una diferencia de temperatura que toma en cuenta el efecto de almacenamiento de calor. Las tablas 6.1 y 6.2 presentan una lista de valores  $DTCE$  para algunas formas de construcción de paredes y techo. La tabla 6.3 describe las construcciones de las paredes que se emplean en la tabla 6.2. Los valores de  $DTCE_1$  que se encuentran en las tablas 6.1 y 6.2 se deben corregir (Pita, 2005, pp. 136-137).

La ecuación para calcular el  $DTCE_1$  se encuentra en las tablas 6.1 y 6.2 utilizando la siguiente fórmula, de acuerdo con Pita (2005):

$$DTCE_1 = [(DTCE + LM) \times K + (78 - tr) + (to - 85)] \times f$$

Donde:

$DTCE_1$  = Valor corregido de  $DTCE$ , °F

$DTCE$  = Temperaturas de tablas 6.1 o 6.2, °F

$LM$  = Corrección para latitud al calor y mes tabla 6.4

$K$  = Corrección debido al color de la superficie

$K = 1.0$  para superficies oscuras o áreas industriales

$K = 0.5$  para techos de color claro en zonas rurales

$K = 0.65$  para paredes de color claro en zonas rurales

$t_r$  = Temperatura del recinto, °F

$t_o$  = Temperatura de diseño exterior promedio, °F.

$f$  = Factor de corrección para ventilación del cielo raso (solo para techos)

$f = 0,75$  para ventiladores de entrepiso (techo falso) en los demás casos, usar  $f = 1,0$   
(Pita, 2005, pp. 137-141)

El calor que pasa desde los espacios interiores sin acondicionar hasta los espacios acondicionados a través de divisiones pisos y cielos rasos se pueden calcular con la ecuación:

$$Q = U \times A \times DT$$

Donde:

$Q$  = Ganancia neta del recinto por conducción a través de techo, paredes o vidrios (BTU/h).

$U$  = Coeficiente de transmisión de calor para el techo, paredes o vidrios (BTU/h – ft<sup>2</sup> - °F).

$A$  = Área del techo, pared o vidrio (ft<sup>2</sup>).

$DT$  = Diferencia de temperatura entre los espacios sin acondicionar y los acondicionados (°F).

“Si no se conoce la temperatura del espacio sin acondicionar se emplea con frecuencia una aproximación que consiste es suponer que está a 5°F menos que la temperatura exterior”  
(Pita, 2005, p. 142).

### **Radiación solar a través de vidrios.**

La energía radiante del sol pasa a través de los vidrios se transforma en ganancia de

calor.

Su valor varía con la hora, la orientación, el sombreado y el efecto de almacenamiento. Las ganancias netas de calor se pueden calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Q = FGCS \times A \times CS \times FCE$$

Donde:

Q = Ganancia neta del recinto por radiación solar a través de vidrios (BTU/h).

FGCS = Factor de ganancia máxima de calor solar (BTU/h – ft<sup>2</sup>).

A = Área del vidrio (ft<sup>2</sup>)

CS = Coeficiente de sombreado.

FCE = Factor de carga de enfriamiento para el vidrio (Pita, 2005, p. 142).

### **Alumbrado.**

La ecuación para calcular la ganancia de calor debido al alumbrado es:

$$Q = 3.4 \times W \times FB \times FCE$$

Donde:

Q = Ganancia neta calor por iluminación (BTU/h).

w = Capacidad de alumbrado (w).

FB = Factor de balastro

FCE = Factor de carga de enfriamiento para el alumbrado (Pita, 2005, p. 149).

### **Personas.**

La ganancia de calor debido a las personas se compone de dos partes, el calor latente y el calor sensible, según Pita (2005):

El calor sensible y el calor latente que resulta de la transpiración. Algo del calor sensible

se puede adsorber por el efecto de almacenamiento de calor, pero no el calor latente. Las ecuaciones para la ganancia de calor sensible y latente originado en las personas son:

$$Q_s = q_s \times n \times FCE$$

$$Q_l = q_l \times n$$

Donde:

$Q_s, Q_l$  = Ganancia de calor sensible y latente (BTU/h).

$q_s, q_l$  = Ganancia de calor sensible y latente por persona (BTU/h – ft<sup>2</sup>).

$n$  = Número de personas

FCE = Factor de carga de enfriamiento para las personas.

“La velocidad de ganancia de calor debida a la gente depende de su actividad física. [...] El factor FCE del efecto de almacenamiento de calor se aplica a la ganancia de calor debido a las personas” (Pita, 2005, p. 151).

### **Equipos.**

De acuerdo con Pita (2005): “La ganancia de calor debida al equipo se puede calcular, en ocasiones, en forma directa consultado al fabricante o a los datos de placa, tomando en cuenta si su uso es intermitente” (p. 151).

La primera ley de la energía (primera ley de la termodinámica) es una forma de calcular la ganancia de calor en los equipos. De acuerdo con Pita (2005) “el cambio de energía en un sistema es igual a la energía agregada al sistema menos la energía eliminada del mismo” (p. 30). Con la ley de la conservación de la energía se tienen las siguientes relaciones:

<b>POTENCIA (VALOR DE ENERGÍA)</b>	
2545 BTU/h = 1 HP = 0.746 KW	
= 33,000 ft-lb/min	
3410 BTU/h = 1 KW	
1 ton de refrigeración = 12,000 BTU/h	
= 4.72 HP = 3.52 KW	
La unidad SI es el W	

#### *Ilustración 4 Factores de conversión para equipos*

Fuente: Pita (2005).

De acuerdo con Pita (2005), este principio se puede utilizar para calcular la ganancia de calor en los equipos.

Este principio se utiliza mucho en el campo de la calefacción, ventilación y acondicionamiento del aire, en especial cuando se enuncia como un equilibrio de energía [...] también indican que las unidades que se utilizan son intercambiables, independientemente de la forma de calor que se trate, sea calor, trabajo o entalpia (p. 31).

#### **Infiltración.**

La infiltración del aire a través de fisuras en ventanas o puertas ocasiona ganancia de calor tanto sensible como latente.

Para calcular el efecto del aire de infiltración sobre la pérdida de calor sensible es más cómodo utilizar las unidades de CFM (ft<sup>3</sup>/min) para el flujo de aire. Después de convertir las unidades con el calor específico válido para el aire se produce la siguiente ecuación:

$$Q = 1.1 \times CFM \times CT$$

Donde:

Q = Calor sensible necesario para el aire de infiltración o ventilación (BTU/h)

CFM = Velocidad de infiltración (ft<sup>3</sup>/min)

CT = Cambio de temperatura entre el aire interior y exterior (°F)

Como con frecuencia el aire de infiltración es menos húmedo que el aire interior, el calor

latente se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Q = 0.68 \times CFM \times (W_i - W_p)$$

Donde:

Q = Calor latente necesario para el aire de infiltración o ventilación (BTU/h)

CFM = Velocidad de infiltración (ft<sup>3</sup>/min)

$W_i - W_p$  = Relación de humedad mayor y menor expresado en granos de agua /lb de aire seco (gr w/lb d.a) (Pita, 2005, p. 58).

Para calcular la velocidad de infiltración (CFM) se puede realizar por medio de dos métodos el método de las fisuras y el método de cambio de aire.

El método de las fisuras este método supone que se puede medir o establecer una tasa de infiltración de aire con exactitud por pie de fisura [...] las longitudes y áreas de las figuras se deben determinar mediante los planos de la construcción o mediante mediciones de campo (Pita, 2005, p. 59).

### **Transferencia de calor a los alrededores.**

Una parte del calor sensible se transfiere a través de las paredes hacia los alrededores, lo que produce una disminución en el calor por parte de las cargas sensibles.

Se debe calcular una pérdida de calor y corregir las ganancias de calor sensible al recinto por conducción, radiación solar, alumbrado, personas y equipos. Las siguientes ecuaciones se emplean para calcular la corrección para la transferencia de calor a los alrededores.

$$F_c = 1 - 0.02k$$

$$k = (U_w A_w + U_g A_g) / l$$

Donde

F<sub>c</sub> = Factor para corregir cada ganancia de calor sensible de recinto.

K= Conductancia de la unidad de longitud (BTU/h-ft-°F).

$l$  = longitud de la pared exterior (ft).

$U_w, U_g$  = Coeficiente de transferencia de calor  $w$  = pared,  $g$  = vidrio (BTU/h-ft<sup>2</sup>-°F).

$A_w, A_g$  = Área de pared o del vidrio (ft<sup>2</sup>).

### **Carga de enfriamiento o de refrigeración.**

Según Pita (2005): “La carga de enfriamiento del recinto es la velocidad a la que se debe eliminar el calor de él y es la suma de cada una de las ganancias netas corregidas para el recinto” (p. 157).

La carga de enfriamiento o de refrigeración será mayor a la calculada por una serie de ganancias que pasan desde el exterior hasta el sistema estas ganancias pueden ser: por ventilación, ganancias de calor a ductos, fugas de aire de los ductos (Pita, 2005, p. 159).

### **Ganancia de calor por Ventilación.**

Con respecto a la ganancia de calor por ventilación, Pita (2005), menciona:

En general se admite algo de aire exterior por razones sanitarias y de confort, el calor latente y sensible de este aire es mayor a la del aire del recinto [...] las ecuaciones para calcular las cargas de enfriamiento sensible y latente debido al aire de ventilación son (p. 159):

$$Q_s = 1.1 \times FCM \times CT$$

$$Q_l = 0.68 \times CFM \times (W_e - W_i)$$

$$Q_t = Q_s + Q_l$$

Donde:

$Q_s, Q_l$  = Cargas de calor sensible y latente debido a la ventilación (BTU/h)

FCM = Flujo de ventilación (ft<sup>3</sup>/min)

CT = Cambio de temperatura entre el aire exterior e interior.

We-Wi = Relación de humedad exterior e interior (g de agua/lb aire seco) (Pita, 2005, p. 159)

### Calculo de los requisitos de refrigeración para centros de datos.

Una estimación de la carga de refrigeración para centros de datos es la presentada por el libro blanco de la empresa *APC legendary Reliability*, en este libro el autor Neill Rasmussen, explica cómo se puede estimar la carga de refrigeración para lo centro de datos, según Rasmussen (2003): “La determinación de los requisitos de refrigeración de sistemas de TI puede reducirse a un proceso simple [...] este enfoque funciona bien con salas de red de hasta 372 m<sup>2</sup>” (p. 8). Con esta hoja de cálculo se determinará la carga necesaria para la sala de servidores del centro de datos.

Elemento	Datos necesarios	Cálculo de la energía térmica producida	Subtotal de energía térmica producida
Equipos de TI	Total de alimentación de carga de TI en vatios	Igual al total de alimentación de carga de TI en vatios	_____ vatios
SAI con batería	Potencia nominal del sistema de alimentación en vatios	(0,04 x valor nominal del sistema de alimentación) + (0,06 x total alimentación carga TI)	_____ vatios
Distribución de alimentación	Potencia nominal del sistema de alimentación en vatios	(0,02 x valor nominal del sistema de alimentación) + (0,02 x total alimentación carga TI)	_____ vatios
Iluminación	Superficie del suelo en pies cuadrados o Superficie del suelo en metros cuadrados	2,0 x superficie del suelo (sq ft) o 21,53 x superficie del suelo (m <sup>2</sup> )	_____ vatios
Personas	Nº máximo de personas en el centro de datos	100 x nº máx. personas	_____ vatios
Total	Subtotales de arriba	Suma de subtotales de energía térmica producida	_____ vatios

*Ilustración 5 hoja de cálculo de la energía térmica producida por una sala de centro de datos o de red*

Fuente: Rasmussen (2003).

### **Aire acondicionado en centros de datos.**

De acuerdo con la International Computer Room Expert Association (2011), para cumplir con las normas internacionales para la construcción de centros de datos se debe cumplir con una serie de requisitos en el sistema de aire acondicionado:

- No serán aceptados los equipos de aire acondicionado de confort dentro de un centro de cómputo en el área de procesamiento de datos, almacenamiento de datos y equipos de telecomunicaciones en ningún nivel (p. 76).
- De acuerdo con la clasificación del ambiente de tecnología de la información que se proyecta, se debe contemplar la redundancia específica por ella, incluyendo la capacidad sensible y latente que necesitan los equipos de cómputo para su enfriamiento (p. 78)
- Se deberán tomar consideraciones para el ahorro de energía en los equipos de aire acondicionado para Data center, escogiendo equipos que presenten una clara ventaja energética que lleven la instalación de un PUE menor que 2 (p. 79).

### **Sistemas de iluminación**

Los sistemas de iluminación son un conjunto de elementos que proporcionan una visión clara a un espacio o actividad definida, de acuerdo con Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid (2006):

La iluminación desempeña un papel fundamental en el desarrollo de las actuales actividades sociales, comerciales e industriales. La tecnología ha evolucionado a sistemas de alumbrado capaces de adaptarse a las exigencias actuales y que, a la vez, son más eficientes energéticamente.

La iluminación representa en muchos edificios un porcentaje elevado del consumo eléctrico. Así, el porcentaje de energía eléctrica dedicado a iluminación puede llegar a alcanzar en algunos casos más del 50 %.

Por lo tanto, existe un gran potencial de ahorro, energético y económico, alcanzable mediante el empleo de equipos eficientes, unido al uso de sistemas de regulación y control adecuados a las necesidades del local a iluminar (p. 7)

Algunas magnitudes físicas relacionadas con la iluminación, de acuerdo con la Empresa Westinghouse (1992) son:

- Intensidad lumínica: densidad de luz dentro de un Ángulo solido extremadamente pequeño a una dirección determinada (p. 16).
- Flujo luminoso: Luz emitida por unidad de tiempo (p. 16).

- Iluminación: Densidad de flujo luminoso sobre una superficie (p. 18).
- Lux: Un lux es la iluminación en un punto A sobre una superficie que dista, en dirección perpendicular, un metro de una fuente puntual uniforme de una candela [...] De la definición de lumen uniforme distribuido en metro cuadrado de superficie produce una iluminación de un lux (p. 18).

La fundación de energía de la Comunidad de Madrid (2006) para calcular el consumo energético de una instalación se deben considerar los siguientes factores:

- Potencia Instalada: la potencia instalada se calcula multiplicando el número de lámparas por su potencia unitaria, teniendo en cuenta que en la potencia de la lampara es necesario incluir la potencia del equipo auxiliar
- Horas de uso: las horas de uso de una instalación dependen de los patrones de ocupación del espacio, la luz natural disponible y el sistema de control usado
- Consumo energético: El consumo energético se calcula multiplicando la potencia instalada por las horas de uso (p. 8).

Otras definiciones de La fundación de energía de la Comunidad de Madrid (2006) son:

- Potencia: potencia eléctrica de alimentación(W) necesarias para el funcionamiento de una fuente de luz (p. 13).
- Eficacia luminosa: la eficacia luminosa de una fuente de luz es el flujo de luz que emite dividida por la potencia eléctrica consumida en su obtención (p. 13).
- Rendimiento de la iluminación: es la relación existente entre el flujo luminoso que sale de ella y el flujo luminoso de la lampara (p. 22).

### **Tecnología LED.**

La tecnología LED se basa en la utilización de materiales semiconductores para la generación de un flujo luminoso, de acuerdo con la Fundación de Energía de la Comunidad de Madrid (2006):

Los Diodos Emisores de Luz (LED: Lighting Emitting Diode) están basados en semiconductores que transforman directamente la corriente eléctrica en luz. No poseen filamento, por lo que tiene una elevada vida (hasta 50 000 horas) y son muy resistentes a los golpes. Además, son un 80 % más eficientes que las lámparas incandescentes. Por esta razón están empezando a sustituir a las bombillas incandescentes y a las lámparas de bajo consumo en un gran número de aplicaciones, como escaparates, señalización luminosa, iluminación decorativa, etc. (p. 19).

## **Criterios de diseño de la iluminación.**

De acuerdo con el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) menciona una serie de conceptos que se debe tener en cuenta en el desarrollo de sistemas de iluminación.

### ***Uniformidad.***

DE acuerdo con INTECO (2016):

La uniformidad de la iluminación es la razón del calor mínimo con el promedio, la iluminación debe cambiar en forma gradual... la uniformidad de la iluminación de la tarea no debe ser menor de 0,7. La uniformidad de la iluminancia de las áreas circundantes inmediatas no debe ser menor de 0,5 (p. 11).

### ***Deslumbramiento.***

El deslumbramiento es un fenómeno de la visión que produce molestias o disminución de la capacidad visual. Según INTECO (2016), se define como una sensación molesta.

El deslumbramiento es la sensación visual provocada por áreas brillantes dentro del campo visual y a que puede ser percibida como un deslumbramiento molesto o un deslumbramiento discapacitante. El deslumbramiento puede también ser provocado por reflexiones en superficies especulares, conocidas usualmente como reflexiones velantes o deslumbramiento reflejado (p. 11).

## **Iluminación en los diferentes recintos del centro de datos.**

De acuerdo con la International Computer Room Expert Association (2011), para cumplir con las normas internacionales para la construcción de centros de datos se debe cumplir con un mínimo de lumen por recinto:

- Iluminación de apoyo: Deberá colocarse luminarias alimentadas con baterías.
- En zonas de equipos de apoyo: En las zonas de planta generadora de energía de respaldo y UPS's siempre se instalarán luminarias energizadas con baterías y que proporcionan niveles de iluminación de 450 Lux con una autonomía mínima de 2 horas.
- En Closets, IDF's y cubos de servicio: en estos lugares siempre se instalarán luminarias energizadas con baterías, que proporcionen un nivel de iluminación

- de 450 luxes.
- Cuartos desatendidos: en aquellos lugares en que exista equipos de cómputo que no se requiera estar atendidos en forma permanente, la iluminación deberá permanecer apagada, sin embargo, se requiere una iluminación de emergencia de 50 luxes y otra normal que mantenga un nivel de 450 luxes.
  - Ambientes con terminal o monitoreo: se requiere iluminación normal y de emergencia con un nivel de 300 luxes.
  - Cuarto de máquinas (centro de cómputo): Se requiere normal y de emergencia con un nivel de 450 luxes.
  - En pasillos: se requiere iluminación normal y de emergencia con un nivel de 150 luxes (p. 69).

## **El estudio de proyectos**

Los proyectos surgen como una forma de solucionar un problema o una necesidad, según los autores Nasser y Reinaldo Sapag Chain, la definición de proyecto es:

La búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema tendiente a resolver, entre tantos, una necesidad humana. Cualquiera que sea la idea que se pretende implantar, la inversión, la metodología o la tecnología por aplicar, ella implica necesariamente la búsqueda de proposiciones coherentes destinadas a resolver las necesidades de la persona humana (Sapag y Sapag, 2008, pp. 1-2).

Por definición los proyectos deben ser la mejor solución al problema, esta es la solución más eficiente y viable ante la necesidad humana. Antes de iniciar un proyecto se debe evaluar:

Si se desea evaluar un proyecto de creación de un nuevo negocio, ampliar las instalaciones de una industria o reemplazar su tecnología, cubrir un vacío en el mercado, sustituir importaciones, lanzar un nuevo producto, proveer servicios, crear polos de desarrollo, aprovechar los recursos naturales, sustituir producción artesanal por fabril o por razones de Estado y seguridad nacional, entre otros, ese proyecto debe evaluarse en términos de conveniencia, de manera que se asegure que resolverá una necesidad humana eficiente, segura y rentablemente (Sapag y Sapag, 2008, p. 2).

## **El proceso de preparación y evaluación de los proyectos**

El estudio de viabilidad de los proyectos busca contestar las interrogantes, si es conveniente o no realizar determinada inversión, de acuerdo con Sapag y Sapag R (2008), el objetivo del estudio de viabilidad debe ser el de simular los resultados del proyecto:

El estudio de viabilidad debe simular con el máximo de precisión lo que sucedería con el proyecto si este fuese implementado, aunque difícilmente pueda determinarse con exactitud el resultado que se logrará. De esta manera, se estimarán los beneficios y costos que probablemente ocasionaría y, por lo tanto, pueden evaluarse (2008, p. 18).

Se pueden realizar diferentes evaluaciones de un proyecto, por ejemplo, un estudio de viabilidad comercial, de impacto ambiental, técnica, etc. y cualquier que llegue a conclusiones negativas podrá ser capaz de cancelar el proyecto, sin embargo, de acuerdo con Sapag y Sapag (2008):

Por lo regular, el estudio de una inversión se centra en la viabilidad económica o financiera y toma al resto de las variables únicamente como referencia. Sin embargo, cada uno de los factores señalados puede, de una u otra manera, determinar que un proyecto no se concrete en la realidad (p. 19).

### **El estudio financiero**

Los objetivos del estudio financiero son los de mantener un: ordena y sistematizar la información monetaria que proporcionaron los estudios particulares las etapas anteriores, Así, de elaborar los cuadros analíticos y datos adicionales para la evaluación del proyecto y evaluar los antecedentes para determinar su rentabilidad (Sapag y Sapag, 2008, p. 30).

### **Fundamentos de matemáticas financieras**

Las matemáticas financieras son de utilidad debido a que se basan en el dinero y su valor en el futuro:

Solo porque transcurre el tiempo, debe ser remunerado con una rentabilidad que el inversionista le exigirá por no usarlo hoy y aplazar su consumo a un futuro conocido, lo cual se conoce como valor tiempo del dinero. En la evaluación de un proyecto las matemáticas financieras consideran la inversión como el menor consumo presente y la cuantía de los flujos de caja en el tiempo como la recuperación que debe incluir dicha recompensa. La consideración de los flujos en el tiempo requiere la determinación de una tasa de interés adecuada que represente la equivalencia de dos sumas de dinero en dos periodos diferentes (Sapag y Sapag, 2008, p. 314).

## Flujo de caja descontado.

El flujo de caja descontado es una técnica de evaluación de inversiones, cuyo objetivo es determinar si la inversión rinde mayores beneficios que los usos alternativos de la suma requerida para el proyecto, los principales métodos del flujo de caja descontado son: el valor neto actual (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

### Valor neto actual.

El Valor neto actual (VAN) es definido por los autores Diaz y Aguilar como:

El valor actual neto de un proyecto de inversión es el valor actual de todos los flujos de efectivo relacionados con el proyecto. En otras palabras, es el valor presente de todos sus costos (egresos) y sus ingresos, desde su principio y hasta su terminación (Diaz y Aguilar, 2013, p. 139).

Para decidir si el proyecto es atractivo en términos financieros se utiliza el criterio de la VAN, de acuerdo con Sapag y Sapag (2008), según el resultado será rentable el proyecto:

Al aplicar este criterio, el VAN puede tener un resultado igual a cero, indicando que el proyecto renta justo lo que el inversionista exige a la inversión; si el resultado fuese, por ejemplo, 100 positivos, indicaría que el proyecto proporciona esa cantidad de remanente sobre lo exigido. Si el resultado fuese 100 negativos, debe interpretarse como la cantidad que falta para que el proyecto rente lo exigido por el inversionista (pp. 322-323).

De acuerdo con Sapag y Sapag (2008), el método para calcular el VAN es el siguiente.

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

### *Ilustración 6 Fórmula para calcular el VAN*

Fuente Sapag y Sapag (2008).

Donde:

BTn = Representa el beneficio neto del flujo en el periodo.

$I_0$  = Es la inversión realizada en el momento inicial.

$N$  = Números de periodos de tiempo.

$I$  = Es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

### **Tasa interna de retorno (TIR).**

La tasa interna de retorno (TIR), según Diaz y Aguilar (2013) es:

La TIR es la tasa a la cual el valor actual de los ingresos del proyecto es igual al valor actual de los egresos. El criterio para tomar decisiones con base en este método es emprender el proyecto cuando la TIR sea superior al costo de capital, que es, expresado en forma sencilla, un promedio ponderado de los costos de todos los fondos con los que opera una organización, principalmente cápita y deuda (p. 140).

El criterio de la tasa interna de retorno (TIR) evalúa el proyecto en función de una tasa de rendimiento única por periodo, de acuerdo con Sapag y Sapag (2008), el criterio de la tasa interna de retorno:

Representa la tasa de interés más alta que un inversionista podría pagar sin perder dinero, si todos los fondos para el financiamiento de la inversión se tomaran prestados y el préstamo (principal e interés acumulado) se pagara con las entradas en efectivo de la inversión a medida que se fuesen produciendo. Aunque esta es una apreciación muy particular de estos autores (no incluye los conceptos de costo de oportunidad, riesgo ni evaluación de contexto de la empresa en conjunto), sirve para aclarar la intención del criterio (p. 232)

De acuerdo con Sapag y Sapag (2008), para calcular la tasa interna de retorno se utiliza la siguiente ecuación:

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^t} - I_0 = 0$$

### *Ilustración 7 Fórmula para calcular el TIR*

Fuente Sapag y Sapag (2008).

Donde

$BT_n$  = Representa el beneficio neto del flujo en el periodo.

$I_0$  = Es la inversión realizada en el en el momento inicial.

$n$  = Números de periodos de tiempo.

$r$  = Es la tasa de retorno

### **Periodo de recuperación.**

El periodo de recuperación (PR) se conoce también como periodo de recuperación simple, indica el número de periodos que tarda un proyecto para recuperar su inversión inicial. Diaz y Aguilar (2013) afirman: “La diferencia entre este momento y el momento en el que se inicia el proyecto es lo que se conoce como periodo de recuperación de la inversión” (p. 142). Este método puede dar información adicional para evaluar proyectos. De acuerdo con Sapag y Sapag (2008), el PR es un método difundido para la evaluación de proyectos

Uno de los criterios tradicionales de evaluación bastante difundido es el del periodo de recuperación (PR) de la inversión, mediante el cual se determina el número de periodos necesarios para recuperar la inversión inicial, resultado que se compara con el número de periodos aceptable por la empresa. Si los flujos fuesen idénticos y constantes en cada periodo, el cálculo se simplifica a la siguiente expresión:

$$PR = \frac{I_0}{BN}$$

Donde PR, periodo de recuperación, expresa el número de periodos necesarios para recuperar la inversión inicial  $I_0$  cuando los beneficios netos generados por el proyecto en cada periodo son BN (p. 329).

### **Términos de eléctricos y facturaciones generales**

Para realizar el estudio económico se debe conocer cuál es el costo de la potencia eléctrica que consume el Centro de datos. De acuerdo con la Compañía Nacional de Fuerza y luz (CNFL), algunos términos importantes en el momento de calcular el costo de la potencia eléctrica los siguientes: energía, demanda, máxima demanda y factor de carga.

La Compañía Nacional de Fuerza y Luz (s. f.) define la energía como:

La definición clásica indica que la energía es la capacidad de realizar un trabajo específico, por lo tanto, la energía eléctrica está relacionada directamente con la producción y con las horas de operación de las máquinas de una empresa o los equipos eléctricos en una residencia (p. 5).

La ecuación para calcular la energía es:

$$E = P \times T$$





Donde:

E = energía (kWh).

P = Potencia (kW)

T = tiempo (h)

Ejemplo: Consumo de 1 kWh

	<p>Utilizar una lámpara de 50 W (0,05 kW) por 20 horas.</p> $E = 0,05 \text{ kW} \times 20 \text{ h}$ $E = 1 \text{ kWh}$		<p>Utilizar un motor eléctrico de 746 W (0,746 kW=1Hp) por 78 minutos (1,3 h).</p> $E = 0,746 \text{ kW} \times 1,3 \text{ h}$ $E = 1 \text{ kWh}$
	<p>Utilizar un reloj eléctrico de 2 W (0,002 kW) durante 500 horas consecutivas.</p> $E = 0,002 \text{ kW} \times 500 \text{ h}$ $E = 1 \text{ kWh}$		<p>Utilizar una termoducha de 3.500 W (3,5 kW) por 17 minutos (0,28h).</p> $E = 3,5 \text{ kW} \times 0,28 \text{ h}$ $E = 1 \text{ kWh}$

*Ilustración 8 Ejemplos de cálculo de energía*

*Fuente: CNFL (s. f.).*

La demanda la calcula la CNFL (s. f.): “La demanda eléctrica se determina a partir del consumo de energía de un equipo o máquina y equivale al valor promedio de potencia eléctrica en un intervalo de 15 minutos” (p. 7). La ecuación de la demanda es:

$$Demanda (kW) = \frac{Energia (Kwh)}{Intervalo (h)}$$

El término Demanda máxima (kW) es la mayor demanda de un equipo eléctrico promedio en mediciones realizadas cada 15 minutos, según CNFL (s. f.):

La demanda de un equipo eléctrico corresponde a su potencia promedio en un intervalo de 15 minutos. Los medidores eléctricos toman lecturas cada 15 minutos, es decir, que en una hora hay 4 valores y en 24 horas, 96 valores de demanda. En un mes de 30 días, por lo tanto, hay 2,880 valores de demanda. Para efectos de facturación, el medidor guarda en su memoria interna el valor máximo de demanda registrada entre todos estos 2,880 valores a lo largo del mes (p. 9).

### **Cálculo de costo de la energía eléctrica**

Una vez definidos estos términos calcular el costo del consumo de la potencia eléctrica, se podrá determinar cuál es el costo de la potencia eléctrica. En la siguiente ilustración se puede determinar cómo realizar el cálculo del costo de la potencia eléctrica.

Cálculo del Costo		Según Tarifa General de CNFL, vigente a partir del 01 de abril, 2015.
Energía	$\text{Costo}_{\text{energía}} = \text{Consumo de energía total} \times \text{c}71$ $\text{Costo}_{\text{energía}} = 645 \text{ kWh} \times \text{c}64$ $\text{Costo}_{\text{energía}} = \text{c}41.280$	
Demanda	$\text{Costo}_{\text{demanda}} = \text{Demanda máxima} \times \text{c}11.050$ $\text{Costo}_{\text{demanda}} = 415 \text{ kW} \times \text{c}9.957$ $\text{Costo}_{\text{demanda}} = \text{c}4.132.155$	
Total	$\text{Costo}_{\text{total}} = \text{Costo}_{\text{energía}} + \text{Costo}_{\text{demanda}}$ $\text{Costo}_{\text{total}} = \text{c}41.280 + \text{c}4.132.155$ $\text{Costo}_{\text{total}} = \text{c}4.173.435$	
Unitario (Por cada kWh)	$\text{Costo}_{\text{unitario}} = \text{Costo}_{\text{total}} / \text{Consumo de energía total}$ $\text{Costo}_{\text{unitario}} = \text{c}4.631.545 / 645 \text{ kWh}$ $\text{Costo}_{\text{unitario}} = 6.4701/\text{kWh}$	

*Ilustración 9 Cálculo de Costo de la potencia eléctrica*

Fuente: CNFL (s. f.).

## CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

El marco metodológico es una herramienta fundamental en el desarrollo del trabajo, ya que define un listado de pasos a seguir para la obtención de resultados y que estos sean los más eficientes posibles.

### **Enfoque**

Para desarrollar la investigación se utilizará el método cuantitativo, esto se debe a que se utilizaran datos de mediciones para obtener resultados, según Hernández, Fernández y Baptista (2014) las herramientas del enfoque cuantitativo de la investigación: “Utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación” (p. 7), con este enfoque se descubrirán cuáles son las preguntas de investigación más importantes para poder responderlas.

### **Alcance**

Se define que el trabajo tiene un alcance correlativo, ya que de acuerdo con Hernández *et al.* (2014): “este tipo de estudio tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación de que existen entre dos o más variables en una muestra o contexto particular” (p. 93). Se define el alcance del trabajo es correlativo, porque busca relacionar la necesidad de carga de refrigeración de los diferentes recintos del centro de datos, la capacidad instalada de los equipos y la eficiencia global de centro de datos, en el caso del sistema de refrigeración.

En el caso del sistema de iluminación busca relacionar la capacidad instalada de lúmenes, la capacidad requerida, el correcto nivel de lúmenes para el confort humano y el gasto energético.

### **Definición de la muestra**

Según Hernández *et al.* (2014) la muestra se define como: “subgrupo de interés de la población sobre la cual se recogerán los datos y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además, de ser representativo de la población” (p. 173), la muestra

corresponderá al consumo de energía eléctrica, el consumo de carga de refrigeración actual de los equipos y de lúmenes entregados por las lámparas. Al ser una población pequeña, se considera que la muestra va a ser igual a la población, por lo que se obtendrá el 100 % de las necesidades de los equipos y los lúmenes entregados.

### **Variables.**

El concepto de variable lo define Hernández et al. (2014) como: “Propiedad que tiene una variación que se puede medir u observar” (p. 93).

Las variables dependientes que se necesitan comprobar en el sistema de climatización son la potencia eléctrica de los equipos actuales instalados, así como la carga total de refrigeración necesaria para el funcionamiento correcto del centro de datos. Las variables independientes corresponderían a la carga de refrigeración actual, necesaria para satisfacer el funcionamiento correcto de los equipos.

En el caso del sistema de iluminación, la variable dependiente corresponde a la cantidad de lumen que entrega los equipos instalados y la variable independiente es la cantidad de lúmenes requeridos para el correcto confort de los usuarios, además se valorarán las horas de iluminación del recinto.

En siguiente tabla es un resumen de las variables encontradas en el trabajo:

*Tabla 1*

*Variables a utilizar en el trabajo*

<b>Variable</b>	<b>Concepto</b>	<b>Operacional</b>	<b>Instrumental</b>
<b>Potencia eléctrica</b>	Según Pita (2005) “es la velocidad de tiempo para efectuar el trabajo” (p. 27)	kW	Sistema de monitoreo del centro de datos, Powerlogic PM800
<b>Carga de refrigeración neta</b>	Según Pita (2005) “cantidad neta de calor que se retira se le llama carga de refrigeración” (p. 134)	kW/h, BTU/h, Ton	Manuales de equipos y memorias de cálculo
<b>Ganancia de calor</b>	De acuerdo con Pita (2005) “es la velocidad a la que recibe el calor en cualquier momento en el recito” (p. 134)	kW, BTU	Manuales de equipos y memorias de cálculo
<b>Iluminación</b>	De acuerdo con Westinghouse (1992) densidad del flujo luminoso sobre una superficie (p. 16)	L	Luxómetro

Fuente: elaboración propia.

### **Instrumentos.**

El instrumento es todo aquello que sirve para realizar un trabajo, de acuerdo con Hernández *et al.* (2014):

En toda investigación cuantitativa aplicamos un instrumento para medir las variables contenidas en las hipótesis [...] Esa medición es eficaz cuando el instrumento de recolección de datos en realidad representa las variables que tenemos en la mente (pp. 199-200).

Para el desarrollo del trabajo se utilizará el sistema de monitoreo del centro de datos, este sistema mantiene el registro de temperaturas, humedad, consumo de energía y potencia de todos los equipos. El sistema de monitoreo del centro de datos es la base fundamental del registro de energías consumidas y es la forma en que se mantiene el control del centro de datos.

Este sistema realiza la medición por medio de equipos de la empresa *SQUARE D* denominados Powerlogic PM800, estos medidores son capaces de mantener una serie de medidas eléctricas en cualquier momento.

Además, se utilizarán los manuales de los equipos para la obtención de diferentes datos de ganancia de calor de los equipos ya que son fuente proporcionada por los fabricantes por medio de pruebas.

Para la medición de carga de refrigeración neta se utilizó el método expuesto Pita (2005). Para el sistema de iluminación se utiliza un luxómetro que es capaz de medir la cantidad de lumen que proporciona una lámpara, esta es la forma normal de medición de intensidad lumínica. Para el procesamiento de datos, se utilizarán las herramientas de Microsoft Office 2013 Word y Excel.

*Tabla 2*

*Instrumentos por utilizar en el trabajo*

<b>Indicador</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Beneficio</b>
<b>kW</b>	Sistema de monitoreo de Centro de datos	Sistemas confiables con registros de hasta dos días sobre el consumo de los equipos
<b>kW/h, BTU/h, Ton</b>	Hoja de cálculo basada en el método descrito por Edward Pita	Un método con base en la AHSRAE sobre el cálculo de consumo de carga de refrigeración
<b>Ganancia de calor</b>	Hojas de fabricantes y aproximaciones basadas en el método de Edward Pita	Datos con base en pruebas de los fabricantes. Datos según la AHSRAE
<b>Lumen</b>	Luxómetro Mod: TES1335	Forma normal de medición de intensidad lumínica

Fuente: elaboración propia.

### **Proceso de recolección y análisis de datos.**

Para determinar el consumo potencia (kW) de los sistemas y equipos se procedió a recolectar los datos por medio del sistema de monitoreo del centro de datos, los valores

corresponden del Consumo de potencia eléctrica (kW) del centro de datos del 10/10/2018 a la 8:00 p. m. al 12/10/2018 7:00 a. m. cada 30 minutos en el caso del consumo total del centro de datos y cada 15 minutos los diferentes consumos parciales de los equipos, de esta forma, se podrá determinar cuáles son los equipos de mayor consumo de potencia a través de un promedio.

Para recoger los datos de ganancia de calor neta se procedió a calcular la carga de refrigeración actual necesaria de los diferentes recintos del centro de datos por medio de la guía encontrada en Pita (2005). El autor basa su método en las recomendaciones del ASHRAE (Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado), de acuerdo con Pita (2005):

Los procedimientos de cálculo que se describen son mucho más exactos que los que se empleaban en el pasado. La mayor exactitud conduce con frecuencia a la selección de equipos de menores tamaños y más eficientes en cuanto al uso de energía. Muchos códigos y normas nuevos de construcción piden que se lleven a cabo los cálculos empleando dicho método o métodos semejantes (p. 134).

Para el cálculo de la carga de refrigeración de la sala de servidores se utilizó la recomendación del director técnico general de la American Power Conversión (APC), Neil Rasmussen, esta compañía es la mayor presupuestaria del mundo en infraestructura de alimentación refrigeración y *racks* para redes críticas.

Una vez que se obtuvieron los resultados de los cálculos se procedió a comparar la capacidad de los equipos contra la carga térmica actual para determinar la eficacia de estos y valorar la escogencia de equipos de menor gasto energético.

Para la carga térmica, los datos fueron obtenidos por medio del sistema de monitoreo del centro de datos, los datos se tomaron del 11/10/2018 a las 9:00 p. m. hasta 13/10/2018 a las 9:00 a. m. en intervalos de 20 minutos, del chiller A, esto bajo el entendido que la carga térmica del centro de datos se reparte entre los dos Chillers.

Para el caso del sistema de iluminación se procedió a medir la cantidad de lúmenes instalados actualmente en los recintos y comprarlas con las necesarias para el confort humano, en caso de no satisfacer las necesidades requeridas se propondrá un rediseño a las instalaciones, además de verificar las horas de trabajo del sistema de iluminación.

## CAPÍTULO IV. ANÁLISIS

Hernández, Ezequiel, Flores y Sosa (2014) definen el concepto de desempeño energético como:

El concepto de desempeño energético considera los usos que se dan a la energía (la utilización de energéticos en procesos productivos o prestación de servicios), la forma en que se consume (las cantidades utilizadas de los diferentes energéticos) la intensidad energética (la energía necesaria para obtener una unidad de producto o servicio) y las medidas disponibles para fomentar la eficiencia y el ahorro de energía (p. 28).

Para la parte del análisis del centro de datos se utilizará el modelo que se menciona en Hernández, Ezequiel, Flores y Sosa (2014), ya que se busca mejorar el desempeño energético de los sistemas de iluminación y climatización. Se enfocará en la Etapa 2: evaluar el desempeño energético.



*Ilustración 10 Concepto de desempeño energético para un sistema de gestión energético*

Fuente: Hernández *et al.* (2014).

### Usos de la energía

Para iniciar con el desarrollo del trabajo, se procederá a determinar los usos que se le dan a la energía. Para la tesis, se contemplarán tres tipos de energía, primero el uso de la energía

eléctrica como fuente primaria para el funcionamiento de los equipos en función de los sistemas de iluminación y climatización. La segunda fuente de energía es el calor que es procedente de los equipos, del medioambiente y del personal, esto se debe a que la mayoría de esta energía calórica debe evacuarse para el confort y el debido funcionamiento del centro de datos y tercero la energía luminosa como fuente de confort y calor.

### **Consumo de la energía**

Para el desarrollo del trabajo en el punto de *La forma en la que se consume la energía* es preciso determinar la cantidad de energía que se consume en cada uno de los procesos. Según Hernández *et al.* (2014), la recopilación de datos energéticos traza la ruta a seguir en el trabajo:

Evaluar el desempeño energético requiere información importante fiable y clara sobre cómo, cuándo y dónde la energía está siendo utilizada. La recopilación y seguimiento de esta información es necesario para el establecimiento de la línea de base y la gestión de energía (p. 31).

### **La energía eléctrica.**

Por parte de la energía eléctrica, se procedió primero a determinar cuál es el consumo de potencia eléctrica del centro de datos, para esto se utilizaron las lecturas archivadas del sistema de gestión de centro de datos correspondientes al día 10 de octubre de 2018 iniciando a las 8:00 p. m. hasta 12 del octubre de 2018 a las 7:00 a. m., estas lecturas se miden por medio de una unidad de supervisión de la alimentación o potenciómetro principal del centro de datos, para este caso un Powerlogic ION 7650.

Tabla 3

Consumo de la potencia eléctrica en el Centro de datos

Fecha	Hora	Consumo
10/10/2018	8:00:00 p. m.	217
10/10/2018	8:30:00 p. m.	195
10/10/2018	9:00:00 p. m.	241
10/10/2018	9:30:00 p. m.	210
10/10/2018	10:00:00 p. m.	218
10/10/2018	10:30:00 p. m.	217
10/10/2018	11:00:00 p. m.	244
10/10/2018	11:30:00 p. m.	245
11/10/2018	12:00:00 a. m.	249
11/10/2018	12:30:00 a. m.	244
11/10/2018	1:00:00 a. m.	246
11/10/2018	1:30:00 a. m.	243
11/10/2018	2:00:00 a. m.	237
11/10/2018	2:30:00 a. m.	241
11/10/2018	3:00:00 a. m.	246
11/10/2018	3:30:00 a. m.	212
11/10/2018	4:00:00 a. m.	211
11/10/2018	4:30:00 a. m.	215
11/10/2018	5:00:00 a. m.	249
11/10/2018	5:30:00 a. m.	218
11/10/2018	6:00:00 a. m.	243
11/10/2018	6:30:00 a. m.	242
11/10/2018	7:00:00 a. m.	248
11/10/2018	7:30:00 a. m.	219
11/10/2018	8:00:00 a. m.	225
11/10/2018	8:30:00 a. m.	253
11/10/2018	9:00:00 a. m.	247
11/10/2018	9:30:00 a. m.	220
11/10/2018	10:00:00 a. m.	221
11/10/2018	10:30:00 a. m.	183
11/10/2018	11:00:00 a. m.	252
11/10/2018	11:30:00 a. m.	222
11/10/2018	12:00:00 p. m.	249
11/10/2018	12:30:00 p. m.	261
11/10/2018	1:00:00 p. m.	221
11/10/2018	1:30:00 p. m.	249

Fecha	Hora	Consumo
11/10/2018	2:00:00 p. m.	214
11/10/2018	2:30:00 p. m.	214
11/10/2018	3:00:00 p. m.	251
11/10/2018	3:30:00 p. m.	252
11/10/2018	4:00:00 p. m.	248
11/10/2018	4:30:00 p. m.	215
11/10/2018	5:00:00 p. m.	250
11/10/2018	5:30:00 p. m.	218
11/10/2018	6:00:00 p. m.	248
11/10/2018	6:30:00 p. m.	242
11/10/2018	7:00:00 p. m.	219
11/10/2018	7:30:00 p. m.	219
11/10/2018	8:00:00 p. m.	244
11/10/2018	8:30:00 p. m.	244
11/10/2018	9:00:00 p. m.	240
11/10/2018	9:30:00 p. m.	224
11/10/2018	10:00:00 p. m.	221
11/10/2018	10:30:00 p. m.	221
11/10/2018	11:00:00 p. m.	219
11/10/2018	11:30:00 p. m.	246
12/10/2018	12:00:00 a. m.	192
12/10/2018	12:30:00 a. m.	246
12/10/2018	1:00:00 a. m.	188
12/10/2018	1:30:00 a. m.	221
12/10/2018	2:00:00 a. m.	216
12/10/2018	2:30:00 a. m.	248
12/10/2018	3:00:00 a. m.	187
12/10/2018	3:30:00 a. m.	249
12/10/2018	4:00:00 a. m.	217
12/10/2018	4:30:00 a. m.	193
12/10/2018	5:00:00 a. m.	242
12/10/2018	5:30:00 a. m.	241
12/10/2018	6:00:00 a. m.	189
12/10/2018	6:30:00 a. m.	214
12/10/2018	7:00:00 a. m.	217
<b>Promedio</b>		<b>229,04</b>

Fuente: elaboración propia.

Una vez que se determina cuál es el consumo promedio de energía eléctrica del centro de datos, se procedió a determinar cuáles son los equipos o sistemas de mayor consumo de

potencia eléctrica. Para esto, se utilizaron los datos obtenidos por medio de los potenciómetros Powerlogic 800 de cada uno de los tableros eléctricos del centro de datos, obtenidos por medio del sistema de gestión del centro de datos, para tener coherencia entre las mediciones se tomaron los datos del 10 de octubre del 2018 a las 8:00 p. m. hasta el 12 de octubre de 2018 a las 7:00 a. m. en intervalos de 15 minutos. Las mediciones se encuentran en el apéndice A: Consumo de la energía eléctrica (kW) de los diferentes sistemas y equipos del Centro de Datos

*Tabla 4*

*Resumen de las medidas del consumo de la energía eléctrica (kW) de los diferentes sistemas y equipos del centro de datos*

		G. A	G. B	Ilu	C.C. A	C.C. B	C.F	AAP A	AAP B	T. G	B.A	B. B	Chillers	Total
12/10/2018	3:00:00	4,00	5,00	5,00	65,00	53,00	3,00	2,00	1,00	1,00	7,00	8,00	76,00	230,00
12/10/2018	3:15:00	4,00	5,00	2,00	65,00	53,00	6,00	0,00	1,00	1,00	7,00	8,00	77,50	229,50
12/10/2018	3:30:00	0,00	5,00	3,00	62,00	53,00	6,00	0,00	3,00	1,00	7,00	9,00	80,00	229,00
12/10/2018	3:45:00	0,00	5,00	2,00	62,00	53,00	6,00	2,00	3,00	1,00	7,00	9,00	80,00	230,00
12/10/2018	4:00:00	0,00	5,00	3,00	62,00	53,00	3,00	2,00	1,00	1,00	7,00	8,00	84,50	229,50
12/10/2018	4:15:00	0,00	2,00	2,00	62,00	50,00	2,00	2,00	3,00	1,00	7,00	8,00	90,50	229,50
12/10/2018	4:30:00	4,00	2,00	2,00	65,00	50,00	2,00	2,00	4,00	1,00	7,00	9,00	81,50	229,50
12/10/2018	4:45:00	4,00	2,00	2,00	65,00	50,00	3,00	2,00	3,00	1,00	7,00	8,00	83,00	230,00
12/10/2018	5:00:00	4,00	2,00	2,00	65,00	49,00	6,00	2,00	1,00	1,00	7,00	8,00	82,00	229,00
12/10/2018	5:15:00	4,00	5,00	2,00	65,00	53,00	7,00	0,00	3,00	1,00	7,00	9,00	74,00	230,00
12/10/2018	5:30:00	0,00	5,00	3,00	62,00	53,00	8,00	0,00	4,00	1,00	7,00	9,00	78,00	230,00
12/10/2018	5:45:00	0,00	5,00	4,00	62,00	53,00	6,00	2,00	3,00	1,00	7,00	8,00	81,00	232,00
12/10/2018	6:00:00	0,00	5,00	2,00	62,00	53,00	6,00	2,00	4,00	1,00	7,00	9,00	73,00	224,00
12/10/2018	6:15:00	0,00	5,00	1,00	62,00	53,00	3,00	2,00	4,00	1,00	7,00	9,00	82,50	229,50
12/10/2018	6:30:00	0,00	2,00	1,00	62,00	50,00	5,00	2,00	3,00	1,00	7,00	8,00	88,00	229,00
12/10/2018	6:45:00	4,00	2,00	1,00	65,00	50,00	5,00	2,00	1,00	1,00	7,00	8,00	83,50	229,50
12/10/2018	7:00:00	4,00	2,00	1,00	65,00	50,00	2,00	0,00	3,00	1,00	7,00	9,00	86,00	230,00
<b>Promedio</b>		<b>2,01</b>	<b>3,31</b>	<b>2,22</b>	<b>63,57</b>	<b>51,24</b>	<b>4,80</b>	<b>1,32</b>	<b>2,50</b>	<b>1,00</b>	<b>6,32</b>	<b>8,49</b>	<b>82,85</b>	<b>229,65</b>

Fuente: elaboración propia.

### **La energía calórica.**

Para determinar el uso de la energía calórica primero se procede a determinar cuál es la carga térmica generada por el Centro de datos, para esto se realiza la medición de la carga

térmica de los Chillers. Para el trabajo se obtuvieron los datos del Chiller A, esto debido a que la carga térmica se reparte en ambos Chillers.

La medición se realizó por medio del sistema interno de chiller, este sistema relaciona el caudal, la temperatura del entrada y salida del agua que enfría chiller para realizar el intercambio de calor contra la carga térmica del centro de datos del Chiller, los datos se obtuvieron por medio del sistema de gestión de centro de datos. Las mediciones se realizaron del 11 de octubre de 2018, a las 9:00 p. m. hasta el 13 de octubre de 2018 a las 9:00 a. m. con intervalos de 10 minutos entre las mediciones. Las mediciones se encuentran en el apéndice B: Mediciones de la carga térmica del Chiller A

*Tabla 5*

*Resumen de las mediciones de la carga térmica del Chiller A*

Fecha	Hora	Carga chiller A (kW)
13/10/2018	07:30:00 a. m.	95,22
13/10/2018	07:40:00 a. m.	77,33
13/10/2018	07:50:00 a. m.	103,70
13/10/2018	08:00:00 a. m.	73,77
13/10/2018	08:10:00 a. m.	76,87
13/10/2018	08:20:00 a. m.	-3,61
13/10/2018	08:30:00 a. m.	97,42
13/10/2018	08:40:00 a. m.	99,19
13/10/2018	08:50:00 a. m.	120,78
13/10/2018	09:00:00 a. m.	72,93
Promedio		<b>79,30</b>

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se procedió a calcular cuales son las fuentes de calor en el centro de datos, para esto se procedió a dividir el centro de datos en recintos, cada recinto contiene un equipo para a climatizar la zona. Se realizó el cálculo de la carga térmica en cada recinto por medio del procedimiento expuesto en Pita (2005). El autor basa su método en las recomendaciones de la AHSRAE.

## Ganancias de calor en el cuarto eléctrico B

El cuarto eléctrico B es uno de los dos cuartos encargados de almacenar todos los equipos que garantizan la alimentación eléctrica del centro de datos. Como condiciones iniciales se tienen los siguientes datos:

*Tabla 6*

*Datos iniciales en el cálculo de la carga térmica del cuarto eléctrico B*

DATOS INICIALES	
<b>Ubicación</b>	Cantón Central de San José
<b>Altitud (m.s.n.m)</b>	1100,00
<b>Latitud</b>	10°
<b>Hora solar</b>	14:00:00
<b>Mes de diseño</b>	Abril
<b>Temperatura exterior bulbo seco (°C)</b>	36,6 °C / 97,88 °F
<b>Temperatura exterior bulbo húmedo (°C)</b>	24,4 °C / 75,92 °F
<b>Gramos de agua exterior (gramos agua/kg aire)</b>	20,63 g/kg
<b>Gramos de agua exterior (granos agua/lb aire)</b>	144,41 g/lb
<b>Humedad Exterior</b>	50,14 %
<b>Temperatura diseño bulbo seco (°C)</b>	23,9 °C / 75,02 °F
<b>Temperatura diseño bulbo húmedo (°C)</b>	16,1 °C / 60,98 °F
<b>Gramos de agua interior (gramos agua/kg aire)</b>	9,35 g/kg
<b>Gramos de agua interior (granos agua/lb aire)</b>	65,45 g/lb
<b>Humedad interior</b>	61,98 %

Fuente: elaboración propia.

Las principales fuentes de datos fueron los planos arquitectónicos y estructurales del centro de datos, los valores de ubicación, altitud y latitud se obtuvieron por medio de los planos arquitectónicos del centro de datos, las temperaturas de exterior (bulbo seco y húmedo), por medio de la hoja de referencia del equipo de climatización de aire de confort de las plantas alta y baja, ya que en este documento contiene los datos iniciales.

La temperatura de diseño (bulbo seco y húmedo), se obtuvieron por medio de la hoja de referencia del equipo de climatización correspondiente a cada recinto, ya que contenían los datos

de las condiciones de cada cuarto. Los cálculos de gramos de agua exterior se obtuvieron por medio de la página *web* de la empresa Metas y metrologos asociados (<http://www.metas.com.mx/utilerias/calculohumedadrelativa.php>), que se dedica a la metrología y proporcionar servicios de calibración, entrenamiento y consultoría.

Los gramos de agua en el ambiente se calcularon por medio de la página *web* de la empresa Lenntech, empresa dedicada a la instalación de sistemas de purificación de aire y de agua no dañinos para el medioambiente (<https://www.lenntech.es/calculadoras/humedad/humedad-relativa.htm>).

El mes de diseño se escogió de acuerdo con el cartel de construcción del centro de datos y para la hora se realizó por medio de la tabla del apéndice C: Diferencia de temperatura para carga de enfriamiento (DTCE) para el cálculo de carga de paredes al sol 1°F, esto de acuerdo con el método explicado por Pita (2005) en el método de cálculo de la ganancia de calor.

### **Ganancia de calor a través de la estructura exterior.**

Es la ganancia de calor a través de paredes, techos y vidrios por influencia del exterior, se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Q = UxAxDTCE_1$$

Donde:

Q = Ganancia neta del recinto por conducción a través de techo, paredes o vidrios (BTU/h).

U = Coeficiente de transmisión de calor para el techo, paredes o vidrios (BTU/h – ft<sup>2</sup> - °F).

A = Área del techo, pared o vidrio (ft<sup>2</sup>).

DTCE<sub>1</sub> = Diferencia de temperatura para carga de enfriamiento

Para el cálculo de DTCE<sub>1</sub> utilizan las tablas del apéndice D: Diferencias de temperatura para cargas de enfriamiento (DTCE) para calcular cargas debidas a techos planos, para el tipo de pared se escogió de acuerdo con la tabla del apéndice E: Descripción de grupos de

construcción de paredes, se escogió el tipo B, por ser una pared de concreto de 8 pulgadas de ancho más in aislamiento de 1 pulgada, para el tipo de techo se escogió el tipo 8 al ser de concreto de 8 pulgadas de grueso, estos tipos se escogieron de acuerdo con los memorias de cálculo estructural del centro de datos, el coeficiente de transmisión de calor (U) de las paredes es de acuerdo con la memoria de cálculo estructural y del techo de acuerdo con la tabla del apéndice F: Diferencias de temperaturas para cargas de enfriamiento (DTCE) para techos, por lo tanto, se tiene la siguiente tabla con los datos:

*Tabla 7*

*Datos de paredes, techos y vidrios del cuarto electico B*

<b>Tipos de paredes, techos y vidrios cuarto eléctrico B</b>					
	<b>Clase</b>	<b>Dirección</b>	<b>Color</b>	<b>U</b>	
<b>Pared</b>	Pared 1	Interior	Blanco	0,24	
	Pared 2	Sureste	Blanco	0,24	
	<b>Clase B</b>	Pared 3	Interior	Blanco	0,24
		Pared 4	Interior	Blanco	0,24
<b>Techo (interior)</b>	<b>8</b>	NA	Blanco	0,093	
<b>Vidrios</b>	<b>NA</b>	NA	NA	NA	

Fuente: elaboración propia.

Como el cuarto eléctrico B es un cuarto interior no posee ventanas de vidrio, una vez que se tienen estos datos, por medio de la medición de planos, se pueden obtener las medidas de áreas del recinto, a la vez se realizan las conversiones necesarias para utilizar las fórmulas ya que método utiliza los valores en el sistema inglés:

Tabla 8

Área del cuarto eléctrico B según los planos

Área del cuarto eléctrico B				
	Largo (m)	Alto (m)	Área total	
			m <sup>2</sup>	Pies <sup>2</sup>
Pared 1	9,10	3,50	31,85	342,71
Pared 2	12,20	3,50	42,70	459,45
Pared 3	9,30	3,50	32,55	350,24
Pared 4	12,20	3,50	42,70	459,45
Techo (interior)	Largo (m)	Ancho (m)	111,02	1194,58
	9,10	12,20		
Vidrios	NA	NA	NA	NA

Fuente: elaboración propia.

Se calcula el  $DTCE_1$ , para este cuarto eléctrico la única pared que no era interior es la pared 2 que tiene orientación sureste, por lo tanto, es la única que tiene que aplicarse esta corrección, el factor (DTCE) se toma de la tabla del apéndice C de acuerdo con el tipo de pared (B) y la orientación lo que corresponde a un valor de (21,00).

El factor LM se calculó de acuerdo con la tabla del apéndice G: Corrección de la DTCE para la DTCE por latitud y mes, para aplicar a paredes y techos, latitud norte. °F, en este caso corresponde a (-5), el valor de K corresponde a 0,65 esto debido que la pared es blanca, tr y to corresponde a las temperaturas de diseño del centro de datos y f es igual a 1 según la documentación.

$$DTCE_1 = [(DTCE + LM) \times K + (78 - tr) + (to - 85)] \times f$$

$$DTCE_1 = [(21 + (-5)) \times 0.65 + (78 - 75.02) + (97.88 - 85)] \times 1$$

$$DTCE_1 = 26.26$$

Para las demás paredes (1,3,4 y techo) se tiene una diferencia de temperatura entre los espacios sin acondicionar y los acondicionados (DT) de 5°F, de acuerdo con el libro de texto, esto se debe a que son paredes y techos interiores. Para el cálculo de la ganancia de calor en estas paredes y el techo interior, se utilizó la fórmula:

$$Q = UxAxDT$$

Como ejemplo, se presenta el cálculo de la ganancia de calor (Q) en la pared 1, para las paredes 3,4 y techo simplemente habrá que utilizar los valores de área(A), coeficiente de transmisión de calor (U) y diferencia de calor correspondientes (DT):

$$Q = UxAxDT$$

$$Q (BTU/h) = (0.24)(BTU/h - ft^2 - °F) x (342,71)(ft^2) x 5(°F)$$

$$Q = 411.25 BTU/h$$

Para la pared 2 el cálculo de la ganancia de calor (Q) varia debido a que hay Utilizar el DTCE<sub>1</sub> corregido, esto se debe a que es una pared exterior, el cálculo corresponde a:

$$Q = UxAxDTCE_1$$

$$Q (BTU/h) = (0.24)(BTU/h - ft^2 - °F) x (459,45)(ft^2) x 26.26(°F)$$

$$Q = 2895,65 BTU/h$$

Tabla 9

Ganancia de calor ( $Q$ ) por estructuras externas en el cuarto eléctrico A

Ganancia de calor por estructura exterior									
	Calculo del DTCE Corregido							Diferencia de Temperatura °F	Q (BTU/H)
	DTCE	LM	K	TR	To	F	DTCE <sub>1</sub>		
Pared 1	NA	NA	NA	NA	NA	1,00	NA	5,00	411,25
Pared 2	21,00	5,00	0,65	75,02	97,88	1,00	26,26	NA	2895,65
Pared 3	NA	NA	NA	NA	NA	1,00	NA	5,00	420,29
Pared 4	NA	NA	NA	NA	NA	1,00	NA	5,00	551,34
Techo	NA	NA	NA	NA	NA	1,00	NA	5,00	555,48
Vidrios	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Fuente: elaboración propia.

### Ganancia por alumbrado.

La ecuación para calcular la ganancia de calor debido al alumbrado es:

$$Q = 3.4 \times W \times FB \times FCE$$

Donde:

Q = Ganancia neta calor por iluminación (BTU/h).

w = Capacidad de alumbrado (w).

FB = Factor de balastro

FCE = factor de carga de enfriamiento para el alumbrado

Los datos de capacidad de alumbrado (w) corresponden a valor nominal de potencia de alumbrado de las iluminarias. El valor de FB (factor de Balastra) se considera 1,00 esto se debe a que la iluminación es tipo LED y no presentaría perdidas adicionales. En el caso de factor de enfriamiento para el alumbrado también se escoge el valor de 1,00 esto debido a la literatura, de acuerdo con Pita (2005):

EL factor FCE toma en cuenta el almacenamiento de parte de la ganancia de calor por alumbrado. El efecto de almacenamiento depende de cuánto tiempo está encendido el alumbrado y trabaja el sistema de enfriamiento, así como la construcción del edificio... Para los motivos anteriores las tablas del FCE para el alumbrado no se presentan aquí. Para los casos en que pueden aplicarse, es posible encontrarlos en el AHSRAE Fundamentals Volumen. En los demás casos, use un valor de FCE =1,0 (pp. 149-151).

Por lo que el cálculo de la ganancia de calor por alumbrado de las lámparas

$$Q = 3,4 \times W \times FB \times FCE$$

$$Q = 3,4 \times 40 \times 1,0 \times 1,0$$

$$Q = 136 \text{ BTU/h}$$

Se multiplica por la cantidad de iluminarias presentes en el recinto de igual manera se calcula la ganancia de calor para las lámparas de 50 watts de potencia.

Tabla 10

*Ganancia de calor generada por iluminación en el cuarto eléctrico B.*

Ganancia de calor por alumbrado						
Lámparas	Cantidad	Características	Potencia (w)	FB	FCE	Q (BTU/H)
CREE CR <sup>2</sup> 4-50L 40K	5,00	Tipo LED	40,00	1,00	1,00	680
CREE CR <sup>2</sup> 4-50L 40K	5,00	Tipo LED	50,00	1,00	1,00	850

Fuente: elaboración propia.

### **Ganancia por personas.**

La ganancia de calor debido a las personas se compone de dos partes, el calor latente se calcula de acuerdo con las siguientes ecuaciones

$$Q_s = q_s \times n \times FCE$$

$$Q_l = q_l \times n$$

Donde:

$Q_s, Q_l$  = Ganancia de calor sensible y latente (BTU/h).

$q_s, q_l$  = Ganancia de calor sensible y latente por persona (BTU/h).

$n$  = número de personas

FCE = factor de carga de enfriamiento para las personas.

Los valores de  $q_s$  y  $q_l$  se toman de la tabla del apéndice H: Tasas de ganancia de calor debido a los ocupantes del recinto acondicionado, se toma como referencia la actividad física de las personas, para este caso se escogió el valor de  $q_s = 345$  y  $q_l = 435$ , con la actividad de trabajo ligero en bancos, con una aplicación típica de fábricas, el número de personas corresponde a 5 personas esto debido a que es la cantidad usual que trabajan en el centro de datos. El valor de FCE = 0.21 se obtuvo de la tabla del apéndice I: Factor de carga sensible para cargas de enfriamiento debido a personas, este valor se justifica ya que el centro de datos

contempla horarios de 24 horas diarias por 7 días a la semana.

$$Q_s = q_s \times n \times FCE$$

$$Q_s = (345)(BTU/h) \times 5 \times 0,21$$

$$Q_s = 362,25 \text{ BTU/h}$$

$$Q_l = q_l \times n$$

$$Q_l = 435(BTU/h) \times 5$$

$$Q_l = 2175,00$$

Tabla 11

Ganancia de calor por persona

Ganancia de calor por personas					
	Número de personas	qs (Tabla 6,11)	ql (Tabla 6,11)	FCE (Tabla 6,12)	Q (BTU/H)
Q sensible	5,00	345,00	435,00	0,21	362,25
Q Latente					2175,00

Fuente: elaboración propia.

### Ganancia de calor por equipos.

Para la ganancia de calor por equipos se utilizaron los datos de los manuales de los correspondientes equipos, ya que son mediciones que entregaron los fabricantes y que se realizaron en un laboratorio, en caso del transformador se utilizó el método expuesto por la empresa BOHN (2001) para el calor generado en los transformadores.

Al igual de los motores eléctricos, los transformadores presentan perdidas en su funcionamiento por carga y sin carga. Las pérdidas sin carga en un transformador derivan de la energía necesaria para magnetizar un núcleo o bien perdidas debido al fenómeno de las histéresis. Debido a que los transformadores generalmente permanecen

energizados todo el tiempo y no existe interrupción alguna, las pérdidas sin carga permanecen constantes en 8760 horas por año aproximadamente.

Las pérdidas debido a la carga vienen dadas por la ley de Joules”  $I^2 R$ ” [...] Debido a que estas pérdidas varían con el cuadrado de la corriente las pérdidas debido a la carga (expresada en porcentaje de la carga total) disminuye a medida que la carga disminuye (p. 4).

La empresa BOHN calcula el calor generado por los transformadores de una forma similar a la generada por los motores, en el caso de los motores utiliza la ineficiencia como la forma de calcular el calor generado, de acuerdo con BOHN (2001) “La ineficiencia en motores eléctricos es la diferencia entre la energía que absorbe y la cantidad de energía convertida en trabajo mecánico. Esta ineficiencia llega a ser el calor que se disipa en el espacio refrigerado” (p. 3). Este método calcula la ineficiencia del motor y luego la multiplica por la potencia generada, esta relación será la cantidad de potencia que se transforma en calor.

En el caso del transformador del cuarto eléctrico B la eficiencia es de 97.7 % de acuerdo con los manuales del fabricante por lo que la ineficiencia será de 2.3 % por lo que el calor generado por el transformador será:

$$\text{Ineficiencia} = (1 - \text{eficiencia}) \times 100$$

$$\text{Ineficiencia} = (1 - 97.7) \times 100 = 2.3 \%$$

La potencia del transformador es de 45 kVA de acuerdo con el fabricante, al multiplicarlo por la ineficiencia da como resultado la pérdida de potencia por calor:

$$\text{Pérdida potencia por calor} = (45 \text{ kVA}) \times (2.3 \%) = 1.035 \text{ kVA}$$

Para pasar la pérdida de calor de kVA a kWatts se utiliza un factor de potencia de 97.99 de acuerdo con la medición del potenciómetro general del centro de datos:

$$P_w = S_{VA} \times PF$$

$$P_w = (1.035 \text{ kVA}) \times 0.9799$$

$$P_w = (1.035 \text{ kVA}) \times 0.9799$$

$$P_w = 1.011 \text{ kWatts}$$

Tabla 12

Ganancia de calor por equipos en el cuarto eléctrico B.

Ganancia de calor por equipos					
Equipo	Descripción	Cantidad	Calor latente		Q (BTU/H)
			kW/h	BTU	
Transferencias Automáticas	Asco 7000	3,00	0,97	3309,78	9929,33
Transferencias Automáticas	Asco 7001	1,00	0,97	3309,78	3309,78
UPS A	300 kVA	1,00	12,00	40945,68	40945,68
UPS cargas continuas	90 kVA	1,00	3,60	12283,70	12283,70
Transformador 45 kVA	480/208 Eficiencia 97,7	1,00	1,01	3449,67	3449,67

Fuente: elaboración propia.

### Infiltración.

La infiltración del aire a través de fisuras en ventanas o puertas ocasiona ganancia de calor tanto sensible como latente.

Para calcular la ganancia sensible se utiliza la ecuación:

$$Q = 1.1 \times CFM \times CT$$

Donde:

Q = calor sensible necesario para el aire de infiltración o ventilación (BTU/h).

CFM = Velocidad de infiltración (ft<sup>3</sup>/min).

CT = Cambio de temperatura entre el aire interior y exterior (°F)

Para calcular la infiltración latente se utiliza la ecuación:

$$Q = 0.68 \times CFM \times (W_i - W_p)$$

Donde:

$Q$  = Calor latente necesario para el aire de infiltración o ventilación (BTU/h)

CFM = Velocidad de infiltración (ft<sup>3</sup>/min)

$W_i - W_p$  = Relación de humedad mayor y menor expresado en granos de agua /lb de aire seco (gr w/lb d.a)

En ambas ecuaciones se utiliza el valor de CFM (velocidad de infiltración) este valor se puede calcular por dos métodos: el método de fisuras y el método de cambio de aire. Para el trabajo, se utilizará el método de fisuras esto se debe a que es el método que más se puede ajustar a la realidad del centro de datos.

$$CFM = (\text{longitud de la fisura})(ft) \times (\text{tasa de infiltración}) (CFM/ft)$$

Para la longitud de fisura se utilizaron las medidas de las puertas, según los planos del centro de datos. Para la tasa de infiltración se utilizó la tabla del apéndice J: Tasas máximas recomendables de infiltración para diseño a través de ventanas y puertas exteriores. Como ejemplo, se tiene la puerta 1, la longitud de fisura es igual a:

$$\text{Longitud de fisura} = 2(\text{alto}(ft) + \text{Ancho}(ft))$$

$$\text{Longitud de fisura} = 2(7,87 + 2,95) = 21,65 \text{ ft}$$

Para el cambio de temperatura exterior e interior (CT) en el cálculo de infiltración sensible, se utilizaron los datos de diseño:

$$CT = \text{Temperatura exterior}(^{\circ}F) - \text{Temperatura interior}(^{\circ}F)$$

$$CT = 97.88 - 75.02 = 22.86 \text{ }^{\circ}F$$

Para la relación de humedad mayor y menor ( $W_i - W_p$ ) en el cálculo de la infiltración latente se utilizaron los datos de diseño:

$$(W_i - W_p) = \text{Granos de agua exterior} (g/lb \text{ de aire})$$

$$- \text{Granos de agua interior} (g/ lb \text{ de aire})$$

$$(W_i - W_p) = 144.41 \text{ g/lb aire} - 65.45 \text{ g/lb aire} = 78.96 \text{ g/lb aire}$$

Tabla 13

Calculo de la ganancia por infiltración sensible del cuarto eléctrico B

Ganancia por infiltración sensible									
Puertas	Ubicación	CFM							Q (BTU/H)
		Altura		Ancho		CFM/Ft	CFM	CT °F	
		m	Ft	m	Ft				
Puerta 1	Interior noroeste	2,40	7,87	0,90	2,95	1,00	21,65	22,86	544,30
Puerta 2	Interior sureste	2,40	7,87	1,80	5,90	1,00	27,54	22,86	692,52
Puerta 3	Interior suroeste	2,40	7,87	1,80	5,90	1,00	27,54	22,86	692,52

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14

Cálculo de la ganancia por infiltración latente del cuarto eléctrico B

Ganancia por infiltración latente									
Puertas	Ubicación	CFM							Q (BTU/H)
		Altura		Ancho		CFM/Ft	CFM	Wi-Wp	
		m	Ft	m	Ft				
Puerta 1	Interior noroeste	2,40	7,87	0,90	2,95	1,00	21,65	78.96	1162.20
Puerta 2	Interior sureste	2,40	7,87	1,80	5,90	1,00	27,54	78.96	1478.70
Puerta 3	Interior suroeste	2,40	7,87	1,80	5,90	1,00	27,54	78.96	1478.70

Fuente: elaboración propia.

### Transferencia de calor a los alrededores.

Una parte del calor sensible se transfiere a través de las paredes hacia los alrededores, lo que produce una disminución en el calor por parte de las cargas sensibles. Para calcular se utiliza la ecuación:

$$F_c = 1 - 0.02k$$

$$k = (U_w A_w + U_g A_g) / l$$

Donde:

$F_c$  = Factor para corregir cada ganancia de calor sensible de recinto.

$K$  = Conductancia de la unidad de longitud (BTU/h-ft-°F).

$l$  = longitud de la pared exterior (ft).

$U_w, U_g$  = Coeficiente de transferencia de calor  $w$  = pared,  $g$  = vidrio (BTU/h-ft<sup>2</sup>-°F).

$A_w, A_g$  = Área de pared o del vidrio (ft<sup>2</sup>).

Para este cálculo los valores de coeficiente de transferencia de calor en la pared ( $U$ ), se utilizó el valor de acuerdo con la memoria de cálculo estructural del edificio en el caso del vidrio se utilizó la tabla del apéndice K: Coeficiente de sombreado para vidrios con o sin sombreado interior por persianas venecianas enrollables el valor de (0,46) con un tipo de vidrio claro de adsorbente al calor de ¼ pulgada, de acuerdo con la memoria estructural del edificio, en el caso del cuarto eléctrico B no hay vidrio. La solución de la ecuación es para el caso de Conductancia de la unidad de longitud ( $k$ ):

$$k = (U_w A_w + U_g A_g) / l$$

$$k = (0.24)(\text{BTU/h} - \text{ft}^2 - \text{°F})(1611,85)(\text{ft}^2) + 0) / 120.72 \text{ ft}$$

$$k = 3,20(\text{BTU/h} - \text{ft} - \text{°F})$$

La solución de la ecuación es para el caso de Factor para corregir cada ganancia de calor sensible de recinto ( $F_c$ ):

$$F_c = 1 - 0.02k$$

$$F_c = 1 - 0.02(3,20)((\text{BTU/h} - \text{ft} - \text{°F}))$$

$$F_c = 0.94$$

Tabla 15

Resumen de la transferencia de calor hacia los alrededores

Transferencia de calor a los alrededores									
Longitud exterior				Uw	Ug	Área total (Ft <sup>2</sup> )		K	F
	m	Ft	Total (Ft)			pared	Ventana		
Interior norte	9,10	29,85	120,73	0,24	0,64	1611.85	NA	0,30	0,94
Interior este	9,30	30,51							
Interior sur	9,30	30,51							
Interior oeste	9,10	29,85							

Fuente: elaboración propia.

**Ganancia de calor por ventilación.**

Para calcular las cargas de enfriamiento sensible y latente debido al aire de ventilación son:

$$Q_s = 1.1 \times FCM \times CT$$

$$Q_l = 0.68 \times CFM \times (W_e - W_i)$$

$$Q_t = Q_s + Q_l$$

Donde:

$Q_s, Q_l$  = Cargas de calor sensible y latente debido a la ventilación (BTU/h)

FCM = Flujo de ventilación (ft<sup>2</sup>/min)

CT = Cambio de temperatura entre el aire exterior e interior.

$W_e - W_i$  = Relación de humedad exterior e interior (g de agua/lb aire seco)

Para el cálculo de la ganancia de calor por ventilación se utiliza el valor de flujo de

ventilación (FCM) es este caso se utiliza la tabla del Apéndice L: Requisitos de ventilación para ocupantes, para oficinas el cual corresponde a 15 ft<sup>2</sup>/min, para el cambio de temperatura (CT) se utilizaron los valores de diseño (CT = 97,88 -75,02 = 22,85 °F) y la relación de humedad exterior e interior (We-Wi) se calcula también con los valores de diseño (We-Wi = 144,41 g/lb - 65,45 g/lb = 78.96g/lb).

Tabla 16

*Ganancia por ventilación en el cuarto eléctrico B*

Ganancia de calor por ventilación					
	FCM		CT (°F)	We - Wi	Q
Q sensible	15,00	Tabla 6,15 oficinas	22,86	NA	377,19
Q Latente	15,00		NA	78,96	805,39

Fuente: elaboración propia.

### **Radiación solar a través de vidrios.**

En el caso del cuarto eléctrico B, no hay radiación solar a través de los vidrios, sin embargo, en otros recintos esta ganancia de calor toma mucho interés debido a su magnitud, se presenta, a continuación, la forma de realizar el cálculo de la ganancia de calor a través de los vidrios de la planta alta del edificio.

Se realiza el cálculo de la ganancia de calor a través de vidrios para la planta alta, ya que presenta la mayor cantidad de ganancia. La ecuación para calcular la ganancia de calor solar a través de los vidrios es:

$$Q = FGCS \times A \times CS \times FCE$$

Donde:

Q = Ganancia neta del recinto por radiación solar a través de vidrios (BTU/h).

FGCS = Factor de ganancia máxima de calor solar (BTU/h – ft<sup>2</sup>).

A = área del vidrio (ft<sup>2</sup>)

CS = coeficiente de sombreado.

FCE = factor de carga de enfriamiento para el vidrio (Pita, 2005, p. 142).

En el caso de factor de ganancia máxima de calor solar (FGCS), corresponde a la tabla del apéndice M: Factos solar (s. f.) a través del vidrio (BTU/hr\*pie de área), para las condiciones de Costa Rica, con el mes y hora de diseño de abril, 2:00 p. m. El valor de coeficiente de sombra (CS) se utiliza la tabla del apéndice K, se utiliza el valor de 0,46 que corresponde a Vidrio Adsorbente de calor de 1/4 pulgadas, ya que el tipo de vidrio se especifica en la memoria de cálculo de edificio y, por último, el valor de Factor de carga de enfriamiento del vidrio se obtuvo de la tabla del Apéndice N: Factores de carga de enfriamiento para vidrios sin sombreado interior (lo que incluye vidrio reflector y absorbente de calor). Para trabajar esta tabla se utilizó la hora solar de 14 y el tipo de construcción pesada, conforme a la memoria de cálculo del edificio.

El cálculo quedaría de esta manera

$$Q = FGCS \left( \left( \frac{\text{BTU}}{\text{h}} - \text{ft}^2 \right) \right) \times A(\text{ft}^2) \times CS \times FCE$$

$$Q = 60 \left( \left( \frac{\text{BTU}}{\text{h}} - \text{ft}^2 \right) \right) \times 1258,92(\text{ft}^2) \times 0,46 \times 0,44$$

$$Q = 15\,288,32 \text{ BTU/h}$$

Tabla 17

Calculo de la carga térmica por radiación solar a través de vidrios

	Clase	Dirección	Color	U	Área			
					Largo (m)	Alto (m)	Área total	
							m <sup>2</sup>	Pies <sup>2</sup>
<b>Vidrios</b>	<b>NA</b>	Suroeste	NA	0,46	23,40	5,00	117,00	1258,92

Calculo del DTCE Corregido (Tabla 6,2_ 6,4,)							Diferencia de Temperatura °F	Q (BTU/H)
DTCE	Tabla 4	CS		FCE		DTCE corregido		
FGCS			Tabla 6,7		tabla 6,8		NA	15288,32
60,00			0,46		0,44	NA		

Fuente: elaboración propia.

### Carga térmica del cuarto de servidores.

Para el cálculo de la carga de refrigeración de la sala de servidores se utilizó la recomendación del director técnico general de la American Power Conversión (APC), Neil Rasmusse, del apéndice Ñ: Hoja de cálculo de la energía térmica producida por una sala de centro o de red, se utiliza este método es una forma rápida de determinar la carga térmica del cuarto de cuarto de servidores.

Tabla 18

## Carga térmica de la sala de servidores

Elemento	Datos		Factor	Subtotal de energía térmica producida
Equipos de TI	Alimentación de carga de TI en Vatios	83000,00	1,00	83000,00
SAI con batería	Valor nominal de sistema de alimentación	0,00	0,04	0,00
	Total, de alimentación de carga TI	0,00	0,06	0,00
Distribución de alimentación	Valor nominal de sistema de alimentación	135000,00	0,02	2700,00
	Total, de alimentación de carga TI	83000,00	0,02	1660,00
Iluminación	Superficie del suelo en metros cuadrados	217,62	21,53	4685,36
Personas	Nº máximo de personas en el centro de datos	5,00	100,00	500,00

**Total (vatios)** 92545,36  
**Total (kW/h)** 92,55

**Carga de enfriamiento (BTU/h)** 315861,95  
**Carga de enfriamiento máxima (toneladas de refrigeración)** 26,32

Fuente: elaboración propia.

Los cálculos de los demás recintos se obtienen de la siguiente tabla.

Tabla 19

*Ganancias de calor de los recintos del Centro de datos (BTU/h).*

	Ganancia de paredes	Vidrio	Techo	Alumbrado total
Cintoteca	524,22	0	41,63	272
Cuarto de equipos 1	650,78	0	63,04	340
Cuarto de equipos 2	533,28	0	43,43	340
Cuarto de equipos 3	578,44	0	51,23	340
Cuarto eléctrico A	5434,81	0	423,44	1530
Cuarto eléctrico B	4278,53	0	555,48	1530
Monitoreo	614,62	0	56,59	408
Planta alta	12466,89	15288,32	3512,95	994,84
Planta Baja	9557,56	3045,15	583,2	807,5
Cuarto de servidores	NA			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 20

*Ganancias de calor de los recintos del Centro de datos (BTU/h).*

	Personas		Equipos	Infiltración		Ganancia de calor por ventilación	
	Sensible	Latente		sensible	Latente	sensible	Latente
Cintoteca	72,45	435	0	425,4	984,99	294,69	682,5
Cuarto de equipos 1	144,9	870	1126,00	425,4	876,8	209,55	607,61
Cuarto de equipos 2	144,9	870	8189,13	425,4	876,8	294,36	607,61
Cuarto de equipos 3	144,9	870	1774,31	425,4	876,8	294,96	607,61
Cuarto eléctrico A	362,25	2175	69338,1	1929,34	4119,6	377,19	805,39
Cuarto eléctrico B	362,25	2175	69918,16	1929,34	4119,6	377,19	805,39
Monitoreo	217,35	1305	17344,96	425,4	876,66	294,69	607,51
Planta alta	217,35	1305	614,37	425,25	876,8	294,69	607,51
Planta Baja	144,9	870	948,68	1371,12	3109,79	294,69	607,51
Cuarto de servidores	NA						

Fuente: elaboración propia.

Tabla 21

Calor en los recintos del centro de datos ((BTU/h))

	Guanacia de calor total bruto		Transferencia de calor a los alrededores	Calor neto	
	Sensible	Latente		Sensible	Latente
Cintoteca	1630,39	2102,49	0,94	1532,56	2102,49
Cuarto de equipos 1	1833,67	3480,41	0,94	1723,64	3480,41
Cuarto de equipos 2	1781,37	10543,54	0,94	1674,48	10543,54
Cuarto de equipos 3	1834,93	4128,72	0,94	1724,83	4128,72
Cuarto eléctrico A	10057,03	76438,09	0,99	9956,45	76438,09
Cuarto eléctrico B	9032,79	77018,15	0,99	8942,46	77018,15
Monitoreo	2016,65	20134,13	0,94	1895,65	20134,13
Planta alta	33200,29	3403,68	0,89	29548,25	3403,68
Planta Baja	15804,12	5535,98	0,9	14223,71	5535,98
Cuarto de servidores	NA				

Fuente: elaboración propia.

Tabla 22

Carga máxima de enfriamiento del Centro de datos

	Carga máxima de enfriamiento		
	BTU/h	kW	Ton
Cintoteca	3635,05	1,06	0,30
Cuarto de equipos 1	5204,05	1,52	0,43
Cuarto de equipos 2	12218,02	3,58	1,01
Cuarto de equipos 3	5853,55	1,71	0,48
Cuarto eléctrico A	86394,55	25,32	7,20
Cuarto eléctrico B	85960,61	25,19	7,16
Monitoreo	22029,78	6,46	1,84
Planta alta	32951,94	9,66	2,75
Planta Baja	19759,69	5,79	1,65
Cuarto de servidores	315793,70	92,55	26,32
Total	589800,97	172,85	49,15

Fuente: elaboración propia.

*Tabla 23*

*Asignación de Carga térmica para cada Chiller*

Chiller A	BTU/h	kW/h
Cuarto de servidores	157896,85	46,27
Cuarto de equipos 1	20456,36	6,00
Cuarto eléctrico A	86394,55	25,32
Monitoreo	22029,78	6,46
Planta alta	32951,94	9,66
Total	319729,48	93,70

Chiller B	BTU/h	kW/h
Cuarto de servidores	157896,85	46,27
Cintoteca	20013,33	5,87
Cuarto de equipos 2	20407,20	5,98
Cuarto de equipos 3	20457,51	6,00
Cuarto eléctrico B	85960,61	25,19
Planta Baja	19759,69	5,79
Total	324495,19	95,10

Fuente: elaboración propia.

### La energía luminosa.

La última energía que se evaluará en el centro de datos es la energía lumínica, para esto se medirá en los diferentes recintos del centro de datos, esto con el fin de evaluar si la cantidad de luxen es la recomendada.

Tabla 24

*Cantidad de Luxes en los recintos del centro de datos*

Recinto	Máximos	Mínimos
	(Lux)	(Lux)
Pasillo 1 parte baja	162	158
Pasillo 2 parte baja	162	159
Gradas	165	165
Pasillo 1 parte Alta	180	179
Pasillo 2 Parte Alta	183	182
Pasillo 3 parte Alta	184	184
Escaleras emergencia 1	164	164
Escaleras emergencia 2	165	165
Cuarto equipos 1	510	508
Cuarto equipos 2	511	507
Cuarto equipos 3	515	505

Recinto	Máximos	Mínimos
	(Lux)	(Lux)
Cintoteca	516	516
Monitoreo	515	515
Escusa	505	505
Cuarto electico 1	524	519
Cuarto electico 2	530	521
Baños hombre	226	226
Baños mujeres	226	226
Subestación	512	510
Bodega	213	213

Fuente: elaboración propia.

Además, se calcula cual es el consumo de potencia eléctrica (kW) de cada uno de los recintos que componen el centro de datos, para esto se multiplicó la cantidad de potencia eléctrica de cada uno de los recintos por la cantidad de 8760 horas que tiene el año.

Ejemplo:

$$\text{Escusa} = 35(\text{kW}) \times 8760 (h) = 306600 \text{ kWh}$$

Tabla 25

*Potencia consumida por año de las lámparas en cada recinto, si permanecen encendida todo el tiempo*

Recinto	Cantidad de potencia instalada de las lámparas (kW)	Potencia consumida por año (kWh)
Pasillo 1 parte baja	140	1226400
Pasillo 2 parte baja	90	788400
Gradas	140	1226400
Pasillo 1 parte Alta	50	438000
Pasillo 2 Parte Alta	125	1095000
Pasillo 3 parte Alta	35	306600
Escaleras emergencia 1	140	1226400
Escaleras emergencia 2	140	1226400
Cuarto equipos 1	180	1576800
Cuarto equipos 2	70	613200
Cuarto equipos 3	50	438000
Cintoteca	70	613200
Monitoreo	70	613200
Escusa	35	306600
Cuarto servidores	1800	15768000
Cuarto eléctrico 1	450	3942000
Cuarto eléctrico 2	500	4380000
Baños hombre	35	306600
Baños mujeres	35	306600
Subestación	190	1664400
Bodega	35	306600

Fuente: elaboración propia.

### **La intensidad energética**

La intensidad energética se define como la cantidad energía necesaria para obtener una unidad de producto o servicio.

## La intensidad energética de la energía eléctrica

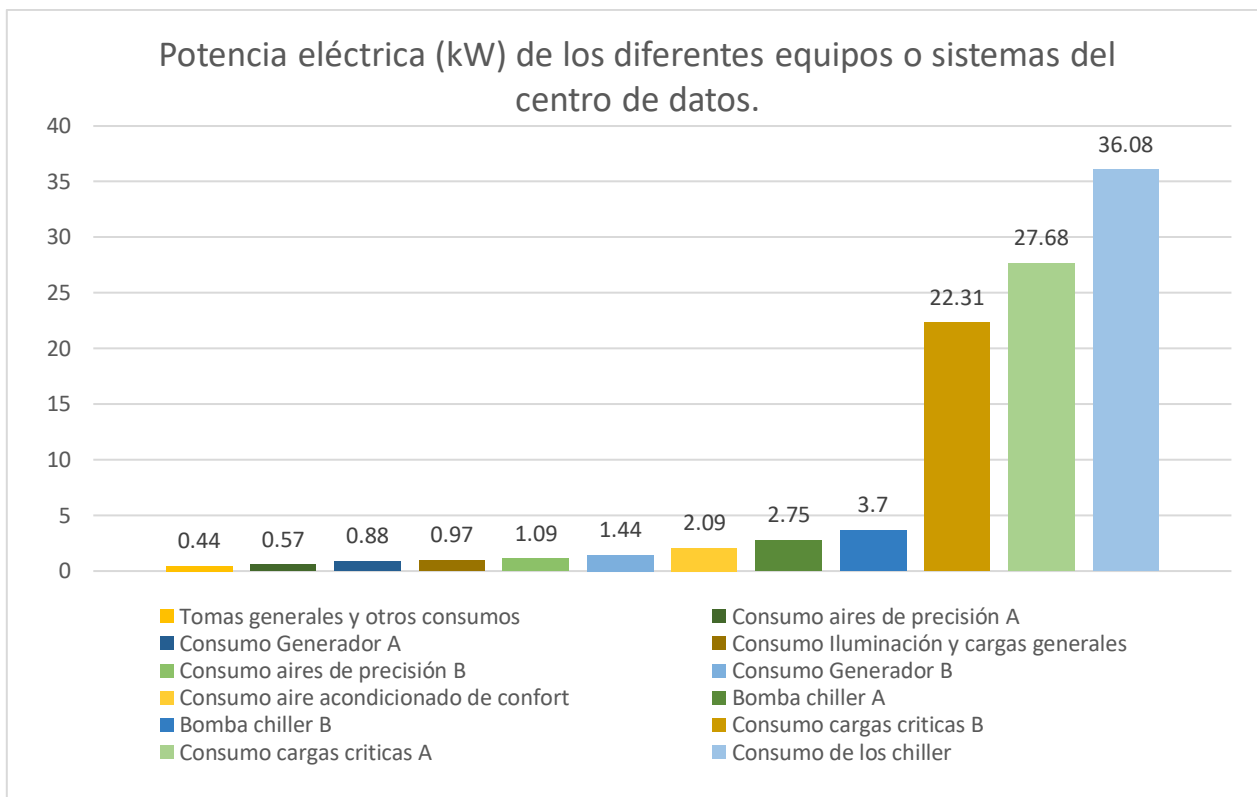
En el caso de la energía eléctrica se utilizó la potencia de los diferentes elementos del Centro de datos y por medio de la recolección de datos expresada en la tabla 4, se determinó cuál es el sistema o equipo donde se consume la mayor parte de la potencia eléctrica para realizar su trabajo.

*Tabla 26*

*Consumo de los sistemas o equipos del Centro de Datos*

Simbología	Descripción	Consumo (kW)	Porcentaje de consumo
T. G	Tomas generales y otros consumos	1,00	0,44
AAP A	Consumo aires de precisión A	1,32	0,57
G. A	Consumo Generador A	2,01	0,88
Ilu	Consumo Iluminación y cargas generales	2,22	0,97
AAP B	Consumo aires de precisión B	2,50	1,09
G. B	Consumo Generador B	3,31	1,44
C.F	Consumo aire acondicionado de confort	4,80	2,09
B. A	Bomba chiller A	6,32	2,75
B. B	Bomba chiller B	8,49	3,70
C.C. B	Consumo cargas críticas B	51,24	22,31
C.C. A	Consumo cargas críticas A	63,57	27,68
Chillers	Consumo de los chiller	82,85	36,08

Fuente: elaboración propia.



*Ilustración 11 Potencia consumida por los equipos del centro de datos.*

Fuente elaboración propia

### **La intensidad energética de la energía calórica**

En el caso de la energía calórica se determinó cuál es el recinto que producía más carga termina por medio de los cálculos expuestos por Edward G. Pita y por Neil Rasmusse, de esta forma, se determina cuál recinto produce más aporte de carga de enfriamiento.

Tabla 27

## Porcentaje de aporte a la carga de enfriamiento

	Carga máxima de enfriamiento	Porcentaje de aporte a la carga de enfriamiento
	BTU/h	%
Cintoteca	20013,33	3,11
Cuarto de equipos 1	20456,36	3,18
Cuarto de equipos 2	20407,2	3,17
Cuarto de equipos 3	20457,51	3,18
Cuarto eléctrico A	86394,55	13,41
Cuarto eléctrico B	85960,61	13,34
Monitoreo	22029,78	3,42
Planta alta	32951,94	5,11
Planta Baja	19759,69	3,07
Cuarto de servidores	315793,7	49,02
Total	644224,67	

Fuente: elaboración propia.

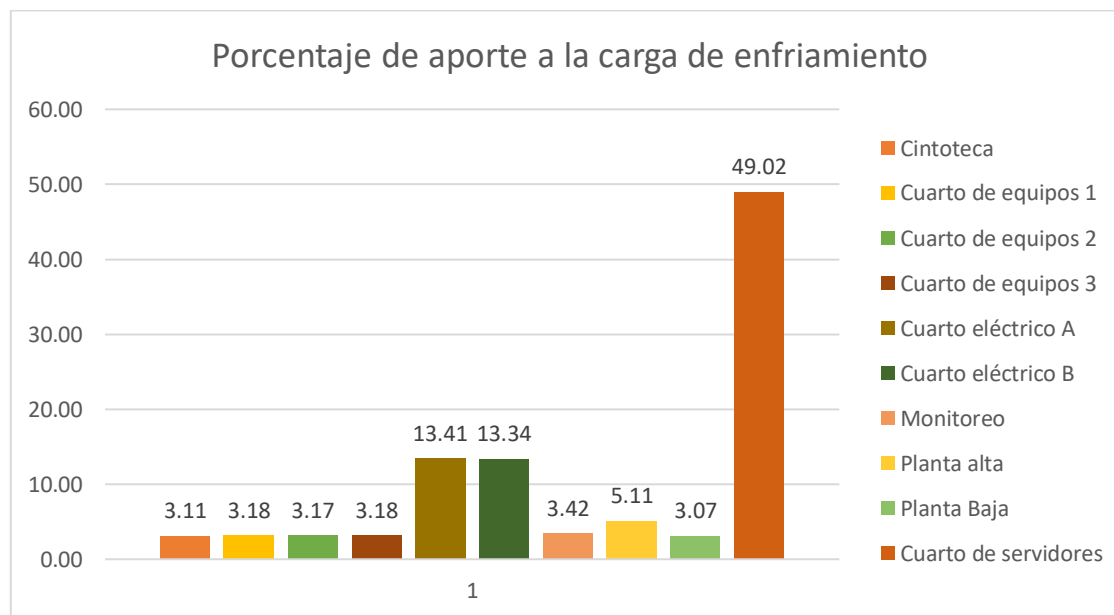
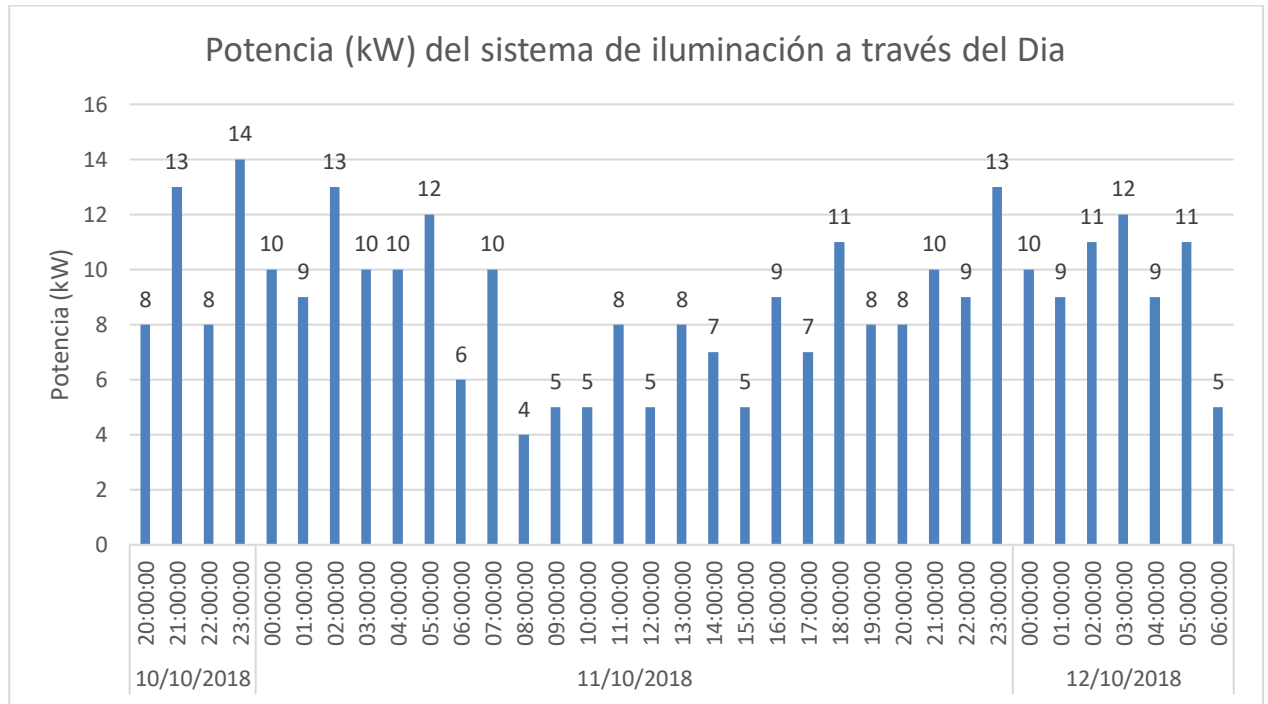


Ilustración 12 Aporte de carga térmica de los diferentes recintos.

Fuente: elaboración propia

## La intensidad energética de la energía lumínica

En el caso de la energía lumínica se utilizó las mediciones de la tabla # 4 en la columna *Ilu* que corresponde a Consumo Iluminación y cargas generales, para graficar la potencia de consumida a través del día, de esta forma, se obtuvo el siguiente gráfico:



*Ilustración 13 Comportamiento del sistema de iluminación durante el día.*

Fuente: elaboración propia.

## Eficiencia de la energía

Se define como eficiencia energética al uso eficiente de la energía de manera de optimizar los procesos productivos y el empleo de la energía, en el caso del trabajo se analizará la eficiencia de los equipos con las condiciones actuales del Centro de datos.

REQUISITOS REFERENTES AL USO, CONSUMO DE ENERGÉTICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA	
USO	La utilización de energéticos en procesos productivos o prestación de servicios.
CONSUMO	Las cantidades permisibles de utilización de energéticos.
EFICIENCIA ENERGÉTICA	Restricción en cuanto al desempeño de procesos/equipos/sistemas.

*Ilustración 14 Requisitos referentes al uso, consumo de energéticos y eficiencia energética.*

Fuente: Hernández *et al.* (2014).

### **Eficiencia de la energía eléctrica**

Se considera a los chiller como los equipos más relevantes por consumo en el centro de datos por lo que se realizaron una serie de mediciones para identificar su eficiencia.

Primero, se comparó las necesidades actuales del Centro de datos contra la capacidad de los Chiller, para esto cabe destacar que la carga total de enfriamiento producida por el edificio se reparte entre ambos Chiller, por lo que solo se procedió a analizar el Chiller A.

*Tabla 28*

*Comparación de los Chillers instalados contra las necesidades actuales calculadas*

	EQUIPOS INSTALADOS			Requerimientos calculados		
	Capacidad total de enfriamiento (kW)	Flujo de aire a través de la unidad (CFM)	EER	Capacidad total de enfriamiento calculada (kW)	Capacidad total de enfriamiento calculada (BTU/h)	Capacidad de enfriamiento de calculada para cada Chiller (kW)
CHILLER A	407,20	407,20	2,83	172,85	589800,97	86,43
CHILLER B	407,20	407,20	2,83			86,43

Fuente: elaboración propia.

El Chiller A se evaluó también por medio de la carga térmica entregada, se evaluó cuánta carga térmica extraía el Chiller del Centro de datos contra la capacidad total que puede ofrecer el equipo, el equipo es capaz de entregar 407,20 kW de carga térmica, mientras con las medidas de la tabla 5 (Anexos), carga térmica del chiller, se evaluó con de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Utilización = \frac{\text{carga térmica chiller (kW)}}{\text{carga máxima generada por el chiller (kW)}} \times 100$$

Los datos se utilizaron desde el 11 de octubre de 2018 a las 9:00 p. m. hasta el 13 de octubre de 2018 a las 9:00 a. m.

Como ejemplo esta sería la medición del 11 de octubre de 2018 a las 9:10 a. m.:

$$Utilización = \frac{94.71(kW)}{407.20(kW)} \times 100 = 23.68 \%$$

Tabla 29

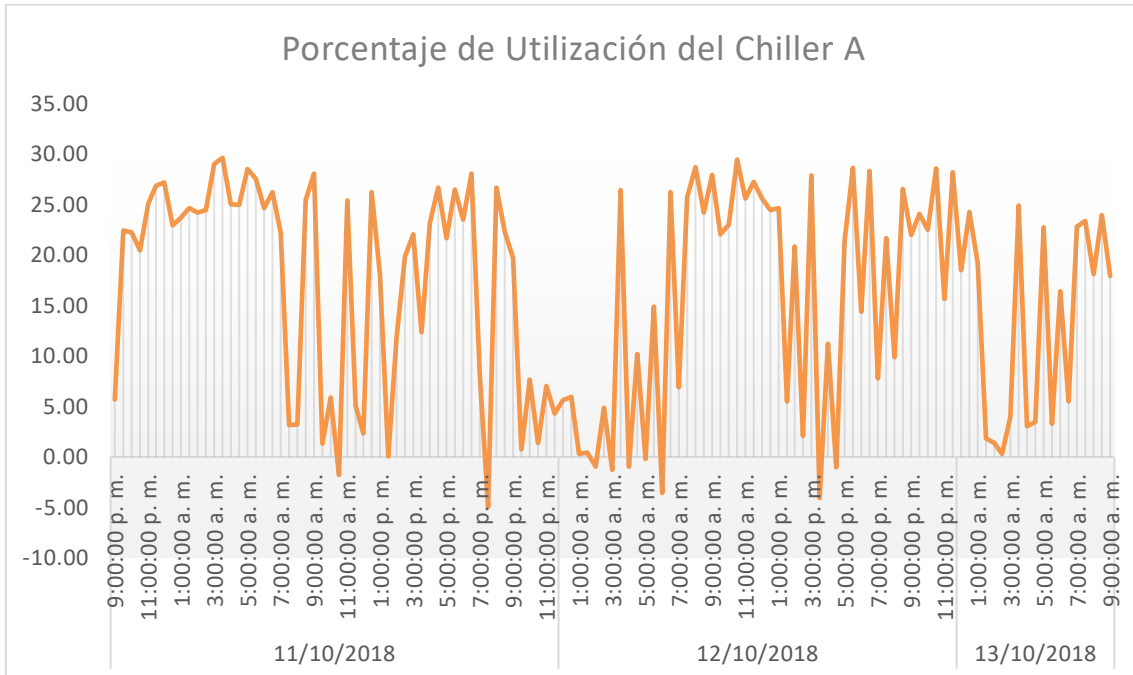
Ejemplo del cálculo de la utilización del Chiller A

Fecha	Hora	Carga térmica Chiller A (kW)	Utilización del Chiller A %
11/10/2018	8:40:00 a. m.	102,26	25,11
11/10/2018	8:50:00 a. m.	113,94	27,98
11/10/2018	9:00:00 a. m.	114,13	28,03
11/10/2018	9:10:00 a. m.	96,42	23,68
11/10/2018	9:20:00 a. m.	42,22	10,37
11/10/2018	9:30:00 a. m.	5,47	1,34
11/10/2018	9:40:00 a. m.	100,50	24,68

Fuente: elaboración propia.

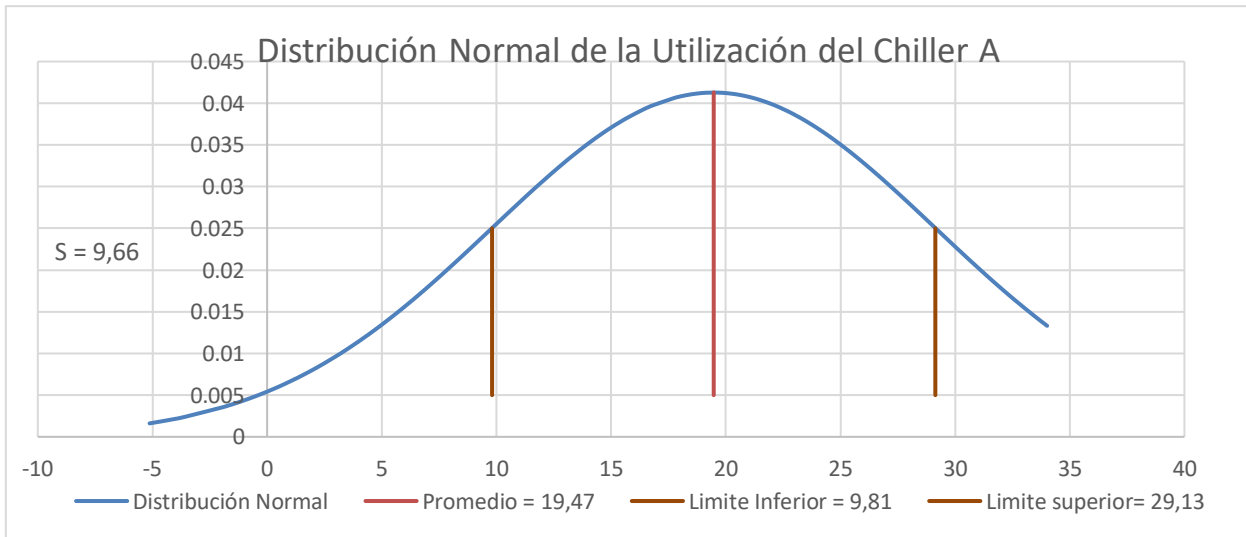
Los datos fueron graficados por dos métodos, primero, se graficó el porcentaje de Utilización del Chiller A contra el tiempo, de esta forma, se podrá apreciar como es el comportamiento de la Utilización durante el muestreo, la segunda forma es mediante distribución normal de la Utilización, de esta forma, se podrá determinar cuál es la tendencia de

la Utilización.



*Ilustración 15 Porcentaje de utilización del Chiller A*

Fuente: elaboración propia.



*Ilustración 16 Distribución normal de la utilización del Chiller A*

Fuente: elaboración propia.

### Eficiencia energética de la energía calórica

Para el análisis de la energía calórica se comparan las capacidades de los equipos de climatización instalados con la carga calculada.

$$Utilización = \frac{Capacida\ total\ de\ enfriamiento\ (kW)}{capacidad\ total\ de\ enfriamiento\ calculada\ (kW)} \times 100$$

Tabla 30

Comparación de los equipos de climatización instalados contra las necesidades actuales

	EQUIPOS INSTALADOS			Requerimientos calculados			Utilización
	Capacidad total de enfriamiento (kW)	Capacidad sensible de enfriamiento (kW)	Flujo de aire a través de la unidad (CFM)	Capacidad total de enfriamiento calculada (kW)	Capacidad sensible de enfriamiento calculada (BTU/h)	Capacidad sensible de enfriamiento calculada (kW)	%
Cuarto de equipos 1	6,67	5,07	750,00	1,52	1723,64	0,51	22,79
Cuarto de equipos 2	6,67	5,07	750,00	3,58	1674,48	0,49	53,67
Cuarto de equipos 3	6,67	5,07	750,00	1,71	1724,83	0,51	25,64
Monitoreo	6,67	5,07	270,00	6,46	1723,64	0,51	96,85
Cintoteca	4,32	3,96	1018,83	1,06	1532,56	0,45	24,54
Cuarto eléctrico A	50,20	49,70	9012,30	25,32	9956,45	2,92	50,44
Cuarto eléctrico B	50,20	49,70	9012,30	25,19	8942,46	2,62	50,18
Planta alta	11,00	NA	1200,00	9,66	NA	NA	87,82
Planta Baja	11,00	NA	1200,00	5,79	NA	NA	52,64

Fuente: elaboración propia.

### Incremento del consumo de los equipos de TI

Actualmente, los equipos de TI consumen aproximadamente 83 kW de potencia eléctrica, sin embargo, el centro de datos puede ampliar su capacidad de equipos hasta 200 kW, lo que aumentaría la carga de enfriamiento del cuarto de servidores, para un incremento la carga de enfriamiento en el cuarto de servidores. De acuerdo con el método del apéndice Ñ, la nueva carga térmica quedaría de la siguiente forma:

Tabla 31

*Carga térmica de la sala de servidores con capacidad aumentada*

Elemento	Datos		Factor	Subtotal de energía térmica producida
Equipos de TI	Alimentación de carga de TI en Vatios	200000	1	200000
SAI con batería	Valor nominal de sistema de alimentación	0	0,04	0
	Total, de alimentación de carga TI	0	0,06	0
Distribución de alimentación	Valor nominal de sistema de alimentación	300000	0,02	6000
	Total, de alimentación de carga TI	200000	0,02	4000
Iluminación	Superficie del suelo en metros cuadrados	217,62	21,53	4685,36
Personas	Nº máximo de personas en el centro de datos	5	100	500

**Total (vatios)** 215185,36  
**Total (kW/h)** 215,18

Fuente: elaboración propia.

Debido al aumento de la carga de enfriamiento del cuarto de servidores la carga térmica del centro de datos calculada con el incremento es:

*Tabla 32*

*Carga máxima de enfriamiento del Centro de datos con el máximo aumento de los equipos de TI.*

	Carga máxima de enfriamiento		
	BTU/h	kW	Ton
Cintoteca	3635,05	1,06	0,30
Cuarto de equipos 1	5204,05	1,52	0,43
Cuarto de equipos 2	12218,02	3,58	1,01
Cuarto de equipos 3	5853,55	1,71	0,48
Cuarto eléctrico A	86394,55	25,32	7,20
Cuarto eléctrico B	85960,61	25,19	7,16
Monitoreo	22029,78	6,46	1,84
Planta alta	32951,94	9,66	2,75
Planta Baja	19759,69	5,79	1,65
Cuarto de servidores	734670,53	215,18	60,94
Total	1008677,77	275,47	83,76

Fuente: elaboración propia.

### **Eficiencia energética de la energía luminosa**

En el caso de la energía luminosa, se comparan los valores de lúmenes instalados con los que recomienda la norma INTE/ISO 8995-1:2016 de *Iluminación de los lugares de trabajo* de la INTECO, además con los valores recomendados por International Computer Room Expert Association (2011).

*Tabla 33*

*Comparación de la cantidad de lux de los diferentes recintos del Centro de datos.*

Recinto	Instalados (LUX)	INTECO (LUX)	International Computer Room Expert Association (LUX)
Pasillo 1 parte baja	162	100	150
Pasillo 2 parte baja	162	100	150
Gradas	165	150	NA
Pasillo 1 parte Alta	180	100	150
Pasillo 2 Parte Alta	183	100	150
Pasillo 3 parte Alta	184	100	150
Escaleras emergencia 1	164	150	NA
Escaleras emergencia 2	165	150	NA
Cuarto equipos 1	510	200	450
Cuarto equipos 2	511	200	450
Cuarto equipos 3	515	200	450
Cintoteca	516	200	450
Monitoreo	515	200	300
Escusa	505	200	450
Cuarto electico 1	524	500	450
Cuarto electico 2	530	500	450
Baños hombre	226	200	NA
Baños mujeres	226	200	NA
Subestación	512	500	NA
Bodega	213	200	NA

Fuente: elaboración propia.

## Ahorro de energía

Para aplicar medidas para fomentar la eficiencia y el ahorro es necesario realizar un análisis de los datos energéticos obtenidos, según Hernández *et al.* (2014), el análisis de los datos energéticos permite llegar a las medidas de ahorro y aumento de eficiencia.

El análisis de datos contribuye a la comprensión de las tendencias de consumo de energía y de las variables que afectan el desempeño energético. Este análisis, a la vez, permite identificar la reducción del consumo energético y de los usos significativos de la energía (USEN), dentro de los cuales incluidos los procesos, sistemas o equipos considerados como relevantes por el equipo de gestión de energía (p. 34).

## **Calculo de paneles solares para cargas no críticas**

En la búsqueda de soluciones de ahorro para las cargas no críticas, se podrá diseñar un sistema de paneles solares capaz de alimentar el consumo de estas cargas, de acuerdo con la tabla 26 el consumo de cargas no criticas es de 28,15 kW lo que incluyen las cargas de tomas generales, Consumo de generadores, iluminación y cargas generales, aires de confort y bombas de los chillers.

### **Radiación solar en el cantón de San José (HPS)**

De acuerdo con el Instituto Costarricense de electricidad (2006) para evaluar el potencial solar en el país se utilizaron las siguientes pautas.

En la evaluación del potencial de la energía solar en el país se utilizaron los datos de las 80 estaciones radiométricas previamente seleccionados de los archivos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y de algunas mediciones experimentales realizadas en la Universidad Nacional (UNA). La Tabla 6 detalla la latitud, la longitud y la altitud sobre el nivel del mar de cada estación. Asimismo, la Figura 8 muestra la ubicación geográfica de estas estaciones asociadas a la tabla 6. La Tabla 7 muestra los valores diarios medios mensuales y anuales para cada estación de la radiación global diaria media mensual en MJ/m<sup>2</sup> día. Estos datos corregidos fueron utilizados en la generación de los mapas de radiación solar utilizando el programa computacional surfer 8. (p.26)

De acuerdo con el apéndice U la radiación solar global (MJ/m<sup>2</sup> día) mínima anual en el Cantón de San José es de 11 MJ/m<sup>2</sup> día, correspondiente a los meses de noviembre y diciembre, al realizar la conversión que da como resultado:

$$11 \text{ MJ/m}^2/\text{dia} = 3,055\text{kWh/m}^2/\text{dia}$$

### **Datos de las celdas fotovoltaicas a evaluar**

Para el cálculo de los paneles solares se utilizaron los datos de los paneles de alta eficiencia de la empresa Trinasolar, debido a que fueron los paneles que producían mayor potencia nominal con la mayor eficiencia 17,3%, de acuerdo con el apéndice V.

### Calculo de la energía requerida para las cargas críticas

Para el cálculo de la energía necesaria para las cargas críticas se calculará a un rendimiento de 82,7% como referencia, este cálculo no contempla las pérdidas generadas por el rendimiento del acumulador, perdidas del inversor, perdidas de auto descarga diaria de las baterías entre otras perdidas

$$E = \frac{\text{energía real}}{\text{eficiencia}} = \frac{28,15kW}{82,7\%} = 34,32 kW$$

### Calculo de los módulos (Np) necesarios

Para el cálculo de los módulos necesarios se determinará con la siguiente ecuación

$$Np = \frac{\text{energía real}}{(wp)(HPS)} = \frac{34,32 kW}{(320w)(3,055kwh/m^2/dia)} = 35,10$$

Donde:

Wp = Potencia del panel

HPS = Radiación solar en el sitio

Como la cantidad de paneles es fraccionaria se deben colocar 36 módulos.

### Calculo del área necesaria para la instalación de los paneles

De acuerdo con los datos del fabricante las dimensiones del módulo son de 1,956 m x 0,992 m lo que significa que cada módulo requiere un área mínima de 1,949 m<sup>2</sup> para la colocación del módulo.

El cálculo del área mínima de los módulos estaría dado en la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} A_{\text{paneles}} &= (\text{área del módulos})(\text{Cantidad de módulos}) = (1,949m^2)(36 \text{ modulos}) \\ &= 117,73 m^2 \end{aligned}$$

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

De acuerdo con la compañía *The Green Grid association* la eficiencia de un centro de datos se calcula por medio de PUE (Power Usage Effectiveness), esta métrica divide la *Potencia total de todo el equipo del centro de datos* entre la *potencia total de equipo de TI*, para mejorar la eficiencia de un Centro de Datos se debe disminuir el consumo de las cargas que componen la *Potencia total del equipo del centro de datos*, que funge como numerador de la ecuación del PUE. Esto se debe a que denominador que corresponde a las cargas de TI que son cargas *críticas* por los que su ausencia afectaría el funcionamiento correcto de Centro de datos, todo esto en referencia a la Ilustración 3: cálculo de eficiencia de centro de datos. De acuerdo la tabla del anexo T: *Medición de P.U.E del Centro de datos del 11/24/2018 a las 7: 00 a.m hasta 11/26/2018 a las 06:30 a.m*, el P.U.E del Centro de datos tienen un promedio de 2,528 y de acuerdo con la International Computer Room Expert Association (2011) Se deberán tomar consideraciones para el ahorro de energía en los equipos de aire acondicionado para Data center, escogiendo equipos que presenten una clara ventaja energética que lleven la instalación de un PUE menor que 2 (p. 79).

Para disminuir *La potencia total de los equipos del centro de datos* se debe conocer cómo se compone esta potencia, de acuerdo con la tabla 26, los mayores consumos de potencia eléctrica son los Chillers. Los siguientes rubros son la carga crítica A con un 27,68 % y la carga crítica B con un 22.31 %, que son cargas críticas que no se pueden modificar ya que pertenecen a la *Potencia de equipos de TI*, Por lo tanto, se puede concluir que los equipos que más consumen potencia eléctrica sin tomar en cuenta las cargas críticas son: los Chillers (36,08 %), seguidos del consumo de aires de confort(2,09 %), aires de precisión B (1,09 %) y aires de precisión A (0,88).

Las cargas que no pertenecen a las cargas críticas ni a los Chillers se pueden agrupar como cargas no críticas. Para la carga no críticas se valoró el uso de paneles solares como forma de disminuir el consumo de potencia de la red comercial, sin embargo, el Centro de datos solo tiene un área de 58,73 m<sup>2</sup> de azotea, las áreas aledañas al edificio son utilizadas como parqueos

y para la instalación de equipos de para soporte del edificio principal de la empresa propietaria del Centro de datos. De acuerdo con el cálculo de los paneles solares se requiere de un mínimo de 117,73 m<sup>2</sup> para la instalación, acotando que este cálculo no contempla las pérdidas generadas por el rendimiento del acumulador, perdidas del inversor, perdidas de auto descarga diarias de las baterías entre otras perdidas, al contemplar estas pérdidas aumentaría la cantidad de módulos necesarios para cumplir con la potencia de estas cargas y el área para la instalación.

Una vez delimitado como se compone *La potencia total de los equipos del centro de datos*, se puede determinar cuáles equipos son los más relevantes y buscar métodos de ingeniería, como trabajar en la potencia de los equipos, para disminuir el consumo de potencia eléctrica. De acuerdo con las tablas 28 y 30, hay equipos cuya capacidad de enfriamiento sobrepasa la carga térmica calculada para las condiciones actuales, lo que produce que estos equipos estén sobredimensionados. Por lo tanto, con equipos de menor capacidad de enfriamiento y de menor potencia se podrá cumplir con la climatización del recinto y así disminuir la potencia que consumen por los equipos que componen la *Potencia total de todo el equipo del centro de datos*.

Con respecto a los Chillers se empieza a analizar la tabla 28 que corresponde a la *Comparación de los chiller instalados contra las necesidades actuales calculadas* la capacidad de los chiller es de 407,2 kW de enfriamiento, mientras que la carga total de enfriamiento actual calculada es de 172,85 kW, por lo que se puede determinar que un solo Chiller es capaz de soportar 2,35 veces la carga de enfriamiento actual total de edificio, con un porcentaje de utilización de 42.45 %.

Como el Centro de datos es Tier IV, se debe garantizar que haya redundancia entre los equipos críticos, por lo tanto, el centro de datos cuenta con dos chiller que se dividen la carga térmica total del Centro de datos, en consecuencia, se debe dividir la carga térmica del centro de datos en los dos chiller. Como se puede apreciar en la Ilustración 15, en la se compara el porcentaje de utilización del chiller A con el tiempo, el porcentaje de utilización de chiller A no sobrepasa el 30 %, durante el muestreo y los datos de utilización negativos son consecuencia de la falta de carga térmica asignada al Chiller A, ya que significa que, en un determinado momento, la temperatura de retorno del agua del Centro de datos era más fría que la temperatura de salida del Chiller A.

Al realizar el análisis de la *Ilustración 16: Distribución normal del porcentaje de Utilización del Chiller A*, se puede concluir 38,15 % de las mediciones de la muestra corresponden a porcentajes de utilización menores a 9,81 %, un 49.39 % de las mediciones van desde 9.81 % hasta 29.13 % y un 38.15 % de las mediciones corresponden a porcentajes de 29,13 % hasta 34 %. De manera que se puede concluir que en un 87.55 % de las veces que se mida el porcentaje de utilización del Chiller A, el Chiller A puede soportar hasta 3,41 veces la carga de enfriamiento asignada, mientras que en un 12.47 % de las veces que se realice la medición el Chiller A, este puede soportar hasta 2,94 veces la carga asignada.

En una manera muy similar se encontraría el Chiller B, con la diferencia de que el Chiller B tiene mayor ganancia de carga térmica calculada que el Chiller A, según la tabla 23 el Chiller A tiene una ganancia térmica calculada de 93,70 kW, mientras que el Chiller B tiene una ganancia de carga térmica calculada de 95,70 kW, lo que significa una diferencia de tan solo 2 kW.

Como conclusión se puede decir que los Chillers están capacitados para eliminar una carga térmica mucho mayor a la que el Centro de datos genera, por lo que se puede plantear un trabajo de ingeniería para cambiar los Chillers con equipos de menor consumo que satisfagan las necesidades actuales del Centro de datos.

En un menor porcentaje de consumo de potencia eléctrica se encuentran los aires de climatización de confort y de precisión, de acuerdo con la tabla 26, los aires de confort consumen un 2,09 %, los aires de precisión A un 0.57 % y los aires de precisión B un 1,09 % de la potencia eléctrica total del centro de datos, lo que suma un total de 3,75 % de uso de la potencia eléctrica en equipos de aire acondicionado.

Si se analizan los datos de la *Tabla 30 Comparación de los equipos de climatización instalados contra las necesidades actuales* se puede ver equipos con porcentajes de utilización bajos (menores a un 30 %) como los casos de los equipos instalados en Cuarto de equipos 1 con una capacidad de enfriamiento de 6.67kW; cuarto de equipos 3 una capacidad de enfriamiento de 6.67kW y Cintoteca con una capacidad de enfriamiento de 4,32 kW. En este caso significa que los equipos pueden soportar alrededor de 3,33 veces la carga de enfriamiento total instalada. Otros equipos como los aires de los cuartos eléctricos A y B pueden soportar 1,98 veces la carga instalada, sobre estos equipos cabe destacar que son los equipos de mayor capacidad con 50,20

kW de capacidad de enfriamiento.

Por lo tanto, una forma de reducir la potencia consumida por los equipos de climatización es buscar oportunidades de conservación de la energía, para disminuir la carga térmica generada por el Centro de datos y así cambiar equipos con poco porcentaje de utilización con equipos de menor capacidad, con un porcentaje de utilización mayor, de menor consumo eléctrico que cumplan con las necesidades de Centro de Datos.

Otra forma de energía en el Centro de datos es la energía calórica. Esta energía calórica es la que se denomina *Carga de enfriamiento* y tiene que eliminarse. Se genera por el medioambiente, equipos y personas por lo al analizar los datos de la *Tabla 27 porcentaje de aporte a la carga de enfriamiento*, los recintos que aportan mayor carga son el cuarto de servidores con un 49.02 %, este aporte es de equipos críticos por lo que no se puede variar ya que ponen el riesgo el funcionamiento del Centro de datos.

El segundo mayor aporte es el de Cuarto eléctrico B con un 13,34 % y el Cuarto eléctrico A con un 13,41 %, los equipos de estos cuartos también se pueden tomar como críticos ya que la ausencia o el mal funcionamiento de algún equipo de estos compromete el funcionamiento del Centro de datos. Más abajo se encuentran el aporte de carga de enfriamiento de la planta alta (5,11 %) y la planta baja (3,07 %), en estos aportes no hay equipos críticos por lo que se puede valorar alguna medida para disminuir este aporte.

Para disminuir el aporte de carga de enfriamiento de estos recintos se toma como punto de partida los datos de la *Tabla 17 Cálculo de la carga termina por radiación solar a través de vidrios* el factor de Coeficiente de sombreado (CS) e 0,46 ya que era valor correspondiente a la descripción de la memoria de cálculo de edificio contra la literatura del Marco teórico. Debido a que la ganancia neta del recinto (Q) es proporcional a factor de sombra, una disminución de este factor podrá disminuir la ganancia neta de calor.

La última forma de energía para analizar en el trabajo es la energía lumínica, para esto se ven los datos de la tabla 26, en esta tabla, se puede determinar que el consumo del sistema de iluminación es de apenas un 0,97 % del consumo total del centro de datos, en comparación con otros consumos, por ejemplo, de los Chillers (36,08 %), este ítem se ve minimizado y al analizar su aporte a la eficiencia del centro de datos no pareciera que fuera relevante, si se dice que las

cargas críticas A y B suma entre ellas un 49,99 % del consumo de potencia del Centro de datos, en comparación de 0.97 % del sistema de iluminación, se calcula que las cargas críticas son 51,63 veces más altas que la carga por iluminación. Por lo tanto, una fuerte inversión en disminuir el consumo de potencia en el sistema de iluminación no se vería reflejado en el rendimiento del centro de datos de acuerdo con la métrica de PUE.

Por otro lado, si lo que se busca es la reducción del consumo de la potencia eléctrica consumida del centro de datos se podrá determinar formas de conservación de la energía para este sistema, por lo tanto, se analizan los datos de la *Ilustración 13 Comportamiento del sistema de iluminación durante el día*, si en este grafico se dividiera en tres tramos, el tramo A desde 20:00 del 10/10/2018 hasta 06:00 del 11/10/2018, el tramo B desde 06:00 del 11/10/2018 hasta 17:00 del 11/10/2018 y, por último, el tramo C desde 17:00 del 11/10/2018 hasta 06:00 del 12/10/2018, se podrá sacar el promedio de kW consumidos por hora, en el tramo A el promedio es de 10,02 kW/h, en el tramo B es de 6,63 kW/h y en el C es de 9,69 kW/h.

Tanto el tramo A como el C corresponden a horarios nocturnos en la que disminuye la iluminación natural, por lo es comprensible que aumente el consumo de potencia en iluminación. En el tramo B se tiene un promedio de 6,63 kW/h, incluso en presencia de la iluminación natural, para este consumo debería poderse aplicar un método de conservación de la energía, esto debido a que el edificio consta de una pared totalmente de vidrio en la planta alta y muchos tramos de vidrio en la parte baja, de acuerdo con los cálculos de la carga térmica de la planta alta y baja.

Por último, un punto importante en el análisis de los datos de las tres energías que se han desarrollado, es la interrelación que tiene la energía eléctrica, la calórica y la iluminación, por ejemplo, se determina que hay equipos de aire acondicionado que tienen un factor de utilización bajo de acuerdo con las tablas 29 y 30. Si se lograra mejorar este porcentaje de utilización, por ejemplo, al cambiar el equipo por otro de mejor capacidad, pero de menor consumo energético, sin afectar el funcionamiento correcto del Centro de datos, se podría disminuir el consumo de la potencia eléctrica. Una medida asignable a la conservación de la energía calórica también tendrá una repercusión en la energía eléctrica.

Otra repercusión en las energías sería la disminución de la energía lumínica, si se logra reducir el consumo de energía lumínica en el sistema de iluminación sin disminuir el confort, se

podrá disminuir el consumo de energía eléctrica, además de disminuir la ganancia de calor generada por iluminación como en la *Tabla 10 Calor generado por iluminación en el cuarto eléctrico B*, esta reducción será más evidente en recintos como planta alta y planta baja, ya que cuentan con la mayor capacidad de tener iluminación natural debido a sus ventanales.

### **Recomendaciones**

- Reducir el consumo de potencia eléctrica el sistema o equipo que más consume, sin poner en riesgo el funcionamiento correcto del Centro de datos, en este caso los Chillers y equipos de climatización. En el caso de los Chillers se recomienda la sustitución de los chillers por otros de menor capacidad de carga térmica y de menor consumo eléctrico. El cambio se debe realizar con chillers capaz de soportar la carga térmica actual y un posible aumento en la carga máxima de equipos de TI, esto debido a que el recinto de cuarto de servidores es el mayor generador de carga térmica, de acuerdo con la tabla 32 la carga calculada con un aumento máximo de equipos de TI es de 275,47 kW por tanto se debe escoger Chiller de una capacidad mayor a 275,47 kW. A la hora de realizar la sustitución se podrá aprovechar el sistema de redundancia del Centro de datos, de esta forma se podrá sacar de funcionamiento todos los equipos de climatización asociados al Chiller que se está sustituyendo, una vez estabilizado el nuevo Chiller se podrá realizar el cambio del siguiente Chiller, de esta forma no se podrá es riesgo el funcionamiento del Centro de datos.
- Realizar el cambio de los equipos con bajo factor de utilizada, por otros de menor capacidad y menor consumo, sin poner en riesgo el funcionamiento correcto del Centro de datos o el confort. En el caso de los estos equipos se recomienda el cambio de los equipos con un factor de utilización menor a 30% debido a que este porcentaje implica que el equipo actual es capaz de soportar hasta tres veces la capacidad actual, las tareas de sustitución se deberán realizar coordinando con las fechas de mantenimiento de los equipos, de esta forma no se pondrá en riesgo el funcionamiento del Centro de datos.
- Disminuir la carga térmica generada por los recintos de parte alta y parte baja,

por medio de una disminución del factor Coeficiente de sombra (CS). En el mercado se encuentran películas para vidrios con Coeficiente de sombra (CS) menores a 0,46, una disminución de este factor disminuiría la ganancia de calor en todo el Centro de datos provocando que algunos equipos de climatización queden subutilizados de esta forma se podrá valorar realizar el cambio por equipos más eficientes.

- Implementar un sistema de conservación de la energía lumínica. Para el sistema de iluminación no se recomienda invertir grandes esfuerzos debido a que no afectaría el PUE del Centro de datos, la medida de conservación de la energía será orientada a realizar normas para el uso eficiente del sistema de iluminación en horario diurno por medio de charlas y comunicados.

## CAPÍTULO VI. PROPUESTA

### Propuesta 1: Cambio de los Chillers del Centro de datos

De acuerdo con lo expuesto en el capítulo anterior, los equipos más relevantes en el Centro de datos son los chiller, por lo tanto, para disminuir el consumo de potencia del Centro de datos, se debe buscar la manera de disminuir el consumo de potencia de los chiller, para garantizar el funcionamiento correcto del Centro de datos.

Se determinó de acuerdo con la *Tabla 22 Carga máxima de enfriamiento del centro de datos* que la carga máxima de enfriamiento del Centro de datos es de 172,85 kW (589 800,97 BTU), sin embargo, el centro de datos está diseñado para una mayor capacidad de los equipos de TI, de acuerdo con la *tabla 32 Carga máxima de enfriamiento del Centro de datos con el máximo aumento de los equipos de TI* la carga máxima de enfriamiento del Centro de datos es de 275,47 kW, por lo que se buscara un equipo de una capacidad no menor de esta capacidad.

Debido a que el centro de datos actualmente cuenta con Chillers Liebert HPC-M CQ4046 (hoja de características en el apéndice Ñ) se escogerá un nuevo Chiller de la marca Liebert. El Chiller que se escogió fue HPC-M CQ4031 con una capacidad neta de enfriamiento de 310 kW (Hoja de características en el apéndice Ñ). Además, hay que tomar en cuenta otras características como el nivel de sonido, que en ambos casos son parecidos, esto se debe a que su ubicación geográfica, dimensiones para valorar la condición del lugar donde se instalaría.

En la comparación de los equipos (en la hoja de apéndice en verde es el equipo actual y en rojo la propuesta) se puede comparar la diferencia de potencia de los dos equipos, la potencia del equipo instalado es de 124 kW, mientras que la propuesta es de 92Kw, para una diferencia de 32 kW. Se realiza comparación de los equipos en la siguiente tabla, si los equipos trabajaran 24 horas al día:

Tabla 34

*Comparación entre los Chillers Actual y propuesta*

		Potencia (kW)	Consumo diario	Anual
HPC-M CQ4046	Actual	124	2976	1086240
HPC-M CQ4031	Propuesta	92	2208	805920
	Diferencia (kW)	32	768	280320

Fuente: elaboración propia.

Una vez que se determina la diferencia de potencia entre los dos chiller, se procedió a calcular cuál era el ahorro en el costo de la energía eléctrica al cambiar la potencia de los equipos. Debido a que la compañía que suministra la potencia eléctrica es la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) se utilizaron las tarifas de acuerdo con la página *web* (Apéndice O).

Tabla 35

*Costo y horario de la energía eléctrica en Costa Rica*

Tarifas eléctricas CNFL				
		Horario		Cantidad de horas
Energía Punta	¢61,96	10:00 a 12:30	17:30:00 a 20:00	5
Energía Valle	¢30,99	6:00 a 10:00	12:30 a 17:30	9
Energía Noche	¢22,31	20:00 a 6:00		10

Fuente: CNFL, elaboración propia.

Con las tarifas y el método explicado por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) se procedió a calcular cuál es el costo de la energía eléctrica de ambos Chiller (Actual y propuesta) para determinar cuál es el ahorro que se puede obtener.

Tabla 36

Comparación del costo de la energía entre Chillers (Actual y propuesta)

Costo de la Energía					
Chiller Actual	Potencia (kW)	Tiempo (h)	Costo (colones)	Total (Diario)	Mensual
Costo de la energía Punta	124	5	₡61,96	₡38 415,20	₡1 152 456,00
Costo de la energía valle	124	9	₡30,99	₡34 584,84	₡1 037 545,20
Costo de la energía noche	124	10	₡22,31	₡27 664,40	₡829 932,00
<b>Total</b>				<b>₡100 664,44</b>	<b>₡3 019 933,20</b>

Chiller Propuesta	Potencia (kW)	Tiempo (h)	Costo (colones)	Total (Diario)	Mensual
Costo de la energía Punta	92	5	₡61,96	₡28 501,60	₡855 048,00
Costo de la energía valle	92	9	₡30,99	₡25 659,72	₡769 791,60
Costo de la energía noche	92	10	₡22,31	₡20 525,20	₡615 756,00
<b>Total</b>				<b>₡74 686,52</b>	<b>₡2 240 595,60</b>

Fuente: elaboración propia.

Mensualmente, se puede obtener un ahorro de ₡779 337,6 lo que significa que en la actualidad produciría un ahorro de ₡9 352 051,2, este ahorro correspondería a un solo Chiller si se hace el cambio en los dos Chiller se obtendría un ahorro de ₡18 704 102,4 anuales, solo en costo de la energía.

De acuerdo con el registro de costos de la obra en construcción y equipamiento de Centros de datos el costo de un chiller HPC-M CQ4031 es de \$109 718,57 y el monto de instalación y puesta en marcha asciende a \$24 342,50 por lo que la instalación de ambos Chillers por lo que la puesta en marcha de ambos chiller sería de \$243 779, 64.

Tabla 37

## Costo de compra e instalación de dos Chiller HPC-M

Construcción y equipamiento Centro de Datos	
Partida	Chiller Emerson HPC-M CQ4031
Modelo	CQ4031/f/1/4/0/3/20/c/O/O/3/SFA
Cantidad	2
Unitario Materiales	\$109 718,57
Subtotal	\$219 437,14
Instalación	\$24 342,47
Total	\$243 779,61

Fuente: Tomos de obra de construcción e instalación de equipos centro de datos.

De acuerdo con el tipo de cambio del Banco Central de Costa Rica para el día 3 de noviembre de 2018 el precio de venta del dólar es de ₡ 622,08 (Apéndice P) por lo que la compra e instalación de los equipos del centro de datos es de ₡ 151 650 419,78.

### Criterios de evaluación de proyectos

Para la evaluación del proyecto de cambio de Chiller del Centro de datos se utilizarán tres criterios de toma de decisiones: Periodo de recuperación de la inversión (PR), Valor actual Neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR)

El primer criterio que se aplicará es el Periodo de recuperación de la inversión (PR), de esta forma, se determinará cuántos periodos se necesitan para recuperar la inversión. Con los siguientes datos  $I_0$  = inversión inicial, BN = beneficios netos generados por la inversión, el resultado es el siguiente:

$$PR = \frac{I_0}{BN}$$

$$PR = \frac{₡ 151 650 419,78}{₡ 18 704 102,4} = 8,10 \text{ años}$$

El segundo criterio que se aplicará para determinar si el proyecto es viable o no, es el Valor Neto actual (VAN), con el VAN se determinará el valor total del proyecto que se

extenderá por varios años y cómo cambia los ingresos y los costos.

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

Donde:

$BNt = \text{C} 18\,704\,102,4$  (Beneficios netos generados)

$I_0 = \text{C} 151\,650\,519,78$  (Inversión Inicial)

$N = 20$  (años de vida útil del chillers con una depreciación acumulada del 5% del valor)

$I = 9\%$  (tasa de interés estimada si se solicitara un préstamo para la inversión)

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{BNt}{(1+i)^t} - I_0 = \sum_{t=1}^{20} \frac{\text{C} 18\,704\,102,4}{(1+0,9)^t} - \text{C} 151\,650\,519,78$$

$$VAN = \text{C} 19\,090\,733,2$$

Al determinar que los cambios de los Chillers son con recursos propios, se utilizó una tasa de interés estimada de un 9% como si se solicitara algún préstamo a una identidad bancaria en Costa Rica. En caso de ser por medio de un préstamo, se debería utilizar el porcentaje de interés del préstamo, también se utilizó 20 como la cantidad de periodos ya que se estimó que es la vida útil de los Chillers.

El tercer Criterio que se aplica es la tasa interna de retorno (TIR), al aplicar la TIR lo que se busca es el porcentaje de beneficios o pérdidas que se tiene en una inversión cuando el VAN es igual a cero, con ello se obtendrá el valor mínimo de (I) para que la inversión sea rentable.

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{BNt}{(1+r)^t} - I_0 = 0 \rightarrow TIR = \sum_{t=1}^{20} \frac{\text{C} 18\,704\,102,4}{(1+r)^t} - \text{C} 151\,650\,519,78 = 0$$

$$\rightarrow TIR = 10,72652\%$$

Con los datos del estudio financiero se concluye que si se realiza la inversión de cambiar los Chillers actuales de 407 kW por otros de 310 kW, con el valor positivo del VAN el proyecto genera ganancia a pesar de la inversión inicial, con el cálculo de TIR se determina que el interés

mínimo es de 10,72% para no tener pérdidas en la inversión

**Propuesta 2: Disminución de la carga térmica de la planta de abajo y arriba del centro de datos para próximamente cambiar los equipos aires acondicionados de estos recintos**

Una forma de disminuir el consumo de potencia eléctrica del centro de datos es disminuir la potencia de los equipos instalados lo que da prioridad a los equipos más relevantes, de acuerdo con la Ilustración 11 los equipos de aire acondicionado de confort tienen un porcentaje de consumo de 2,09 % de la potencia total del Centro de datos, estos equipos corresponden a los instalados en la planta alta y baja del Centro de datos. De acuerdo con la Ilustración 12 la planta alta aporta un 5,11 % y la planta baja 3,07 % de la carga térmica total del centro de datos, lo que suma un 8,18 % en total.

Una forma de disminuir la carga térmica generada en la planta alta y baja del centro de datos es disminuir el factor de sombra de los vidrios, de acuerdo con la tabla 17, el factor de sombra utilizado es 0,46 ya que corresponde a vidrio absorbente de calor de 1,4 pulgadas, según la literatura, en el mercado existen películas de seguridad y control solar para ventanas con factores de sombra mucho menor. Para la propuesta se realizarán los cálculos con la película RE15SIXL de la empresa 3M, de acuerdo con la ficha técnica (Apéndice Q y Apéndice R) esta película los rayos ultravioletas y tiene un factor de sombra de 0,22.

Al aplicar el nuevo factor de sombra la ganancia de calor generada por los vidrios de planta alta queda de la siguiente manera:

*Tabla 38*

*Nuevo cálculo de la carga térmica generada por filtración solar Parte Alta*

Conducción a través de la estructura exterior									
Vidrios	Dirección	Área				FGCS Tabla 4	CS	FCE tabla 6,8	Q (BTU/H)
		Largo (m)	Alto (m)	Área total					
		Sureste	23,40	5,00	117,00 m	1258,92ft	60,00	0,22	0,44

Fuente: elaboración propia.

Si se compara con la tabla 17 hay una diferencia de 7976,19 BTU/h, lo que implica una reducción de la carga térmica del recinto, por lo tanto, la carga térmica de la parte alta quedaría de la siguiente forma:

Tabla 39

Resumen del nuevo cálculo de la carga de enfriamiento máxima de la Planta Alta

	Grupo	Orientación	U	Q	F	Calor sensible	Calor Latente
Vidrio	NA	Suroeste	NA	7311,81	0,89	6507,51	NA
Pared	Grupo B	NA	0,24	12466,89	0,89	11095,53	NA
Techo	Concreto 8 in	NA	0,09	3512,95	0,89	3126,53	NA
Alumbrado	NA	NA	NA	994,84	0,89	885,41	NA
Equipos	NA	NA	NA	Q		NA	614,37
				Máxima	actual		
				614,37	614,37		
Personas	# personas	NA	qs	ql	0,89	193,44	1305
Infiltración	NA	NA	NA	425,52	0,89	378,71	876,8
Ganancia por ventilación	NA	NA	NA	294,69	0,89	262,27	607,61

Calor neto	22449,4	3403,78
Carga de enfriamiento (BTU/h)		25853,18
Carga de enfriamiento máxima (toneladas de refrigeración)		2,1544
Carga de enfriamiento máxima (kW)		7,57

Fuente: elaboración propia.

Al aplicar el nuevo factor de sombra la ganancia de calor generada por los vidrios de planta baja queda de la siguiente manera:

Tabla 40

Resumen del nuevo cálculo de la carga de enfriamiento máxima de la Planta baja

Conducción a través de la estructura exterior									
	Dirección	Área				FGCS Tabla 4	CS	FCE tabla 6,8	Q (BTU/H)
		Largo (m)	Alto (m)	Área total					
				m <sup>2</sup>	Pies <sup>2</sup>				
Vidrios	Sureste	4,00	5,20	20,80	223,81	14,00	0,22	0,36	248,16
	Suroeste	1,80	2,40	4,32	46,48	60,00	0,22	0,44	269,97
	Noroeste 1	1,80	2,40	4,32	46,48	80,00	0,22	0,22	179,98
	Noroeste 2	3,50	5,20	18,20	195,83	80,00	0,22	0,22	758,26

Fuente: elaboración propia.

Al realizar la sumatoria de las ganancias de calor a través de los vidrios da como resultado 1456,38 BTU/h, lo que si se compara con el Apéndice se obtendría una diferencia de 1588,62 BTU/h, por lo que la nueva ganancia de calor en la Parte Baja del centro de datos quedaría de la siguiente forma.

Tabla 41

Resumen del nuevo cálculo de la carga de enfriamiento máxima de la Planta Alta

	Grupo	Orientación	U	Q	F	Calor sensible	Calor Latente
Vidrio	NA	NA	NA	1456,38	0,9	1310,742	NA
Pared	Grupo B	NA	0,24	9557,56	0,9	8601,804	NA
Techo	Concreto 8 in	NA	0,09	583,2	0,9	524,88	NA
Alumbrado	NA	NA	NA	807,5	0,9	726,75	NA
Equipos	NA	NA	NA	Q		NA	614,37
				Máxima	actual		
				948,68	614,37		
Personas	# personas	NA	qs	ql	0,9	130,41	870
	3		144,9	870			
Infiltración	NA	NA	NA	1371,12	0,9	1234,008	3109,8
Ganancia por ventilación	NA	NA	NA	294,69	0,9	265,221	607,61

<b>Calor neto</b>	12793,815	5201,78
<b>Carga de enfriamiento (BTU/h)</b>		17995,595
<b>Carga de enfriamiento máxima (toneladas de refrigeración)</b>		<b>1,50</b>
<b>Carga de enfriamiento máxima (kW)</b>		<b>5,27</b>

Fuente: elaboración propia.

En resumen, después de aplicar una película RE15SIXL de la empresa 3M cuyo coeficiente de sombra es de 0,22 y comparar los valores de carga de enfriamiento máxima instalada de acuerdo con la tabla 30 con los nuevos valores, se sugieren los siguientes equipos:

Tabla 42

## Equipos sugeridos propuesta # 2

Equipo Instalado			
	Modelo	Carga de refrigeración	Potencia de abanico
Planta Alta	MHCCW 12	11 kW / 3 Ton	1/2 HP, (0,372 kW)
Planta Baja	MHCCW 12	11 kW / 3 Ton	1/2 HP, (0,372 kW)

Equipo Propuesto			
	Modelo	Carga de refrigeración	Potencia de abanico
Planta Alta	MHCCW 12	11 kW / 3 Ton	1/2 HP, (0,372 kW)
Planta Baja	MHCCW 8	7,02 kW / 2 Ton	1/4 HP, (0,186 kW)

Fuente: elaboración propia.

Para la planta alta no se sugiere ningún equipo, esto se debe a que se considera que lo mejor es no realizar cambios en la instalación del Centro de datos, ya que encarecería el proyecto, además, la carga calculada es de 7,57 kW y el equipo tiene la capacidad de 11 kW por lo que se obtiene un rendimiento de utilización de equipo de 68 %.

Para la planta baja se tiene una carga de 5,27 kW y el equipo tiene una capacidad de 11 kW por lo que se tiene un factor de utilización de 47,90 % si se reemplaza por la propuesta MHCCW 8 se obtendría un factor de utilización de 78.34 %, lo que mejoraría la eficacia del equipo, sin embargo, al ver la hoja técnica de los aires de confort (Apéndice T) se obtienen los datos de consumo de potencia. Para el caso del modelo MHCCW 12 es de ½ HP, mientras que en el caso del WHCCW utiliza una potencia de abanico de ¼ HP, al calcular cuál sería el ahorro mensual del cambio de equipos y se toma como referencia la tabla 35 da como resultado los siguientes datos:

Tabla 43

Comparación del costo de la energía entre equipo de aire acondicionado de confort (Actual y propuesta)

Costo de la Energía					
Equipo Actual	Potencia (kW)	Tiempo (h)	Costo (colones)	Total (Diario)	Mensual
Costo de la energía Punta	0,372	5	¢61,96	¢115,25	¢3 457,37
Costo de la energía valle	0,372	9	¢30,99	¢103,75	¢3 112,64
Costo de la energía noche	0,372	10	¢22,31	¢82,99	¢2 489,80
<b>Total</b>				¢301,99	¢9 059,80

Equipo Propuesta	Potencia (kW)	Tiempo (h)	Costo (colones)	Total (Diario)	Mensual
Costo de la energía Punta	0,186	5	¢61,96	¢57,62	¢1 728,68
Costo de la energía valle	0,186	9	¢30,99	¢51,88	¢1 556,32
Costo de la energía noche	0,186	10	¢22,31	¢41,50	¢1 244,90
<b>Total</b>				¢151,00	¢4 529,90

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la tabla 43 el ahorro mensual al cambiar los equipos es de ¢ 4 529,9 lo que equivale a un ahorro anual de ¢ 54 358,8.

Según las tablas 38 y 40 el área total de vidrio que hay en el Centro de datos es 117,00 m<sup>2</sup> en la parte alta y 47,64 m<sup>2</sup> en la parte baja por lo que en total hay un área de 164,64 m<sup>2</sup> de superficie de ventana que se debe cubrir con la película RE15SIXL de la empresa 3M, debido que la gerencia del mantenimiento realiza estos tipos de trabajos la instalación de la película no tendría costo alguno y el costo de cada metro cuadrado de película de este tipo es de \$45,75 (Según departamento de ingeniería) por lo que se tiene el siguiente cálculo:

Tabla 44

Costo de instalar película protectora en el Centro de datos

	Área (m <sup>2</sup> )	(Costo por m <sup>2</sup> )	Subtotal
Parte Alta	117,00	\$45,75	\$5 352,75
Parte Baja	47,64	\$45,75	\$2 179,53
		Total	\$7 532,28

Fuente: Departamento de Mantenimiento e Ingeniería, elaboración propia

Por ende, con solo instalar la película para disminuir el factor de sombra tiene un costo de \$ 7 532,28 lo que correspondería a ₡ 4 685 680,74 de acuerdo tipo de cambio del con el apéndice P.

### Criterios de evaluación

Al igual que en la propuesta # 1 se utilizarán los tres criterios de evaluación de proyectos: Periodo de recuperación de la inversión (PR), Valor actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Periodo de recuperación de la inversión.

El Periodo de recuperación de la inversión, tiene como fin saber en cuantos periodos se recuperaría la inversión, en el caso de solo implantar la película protectora quedaría de la siguiente forma:

$$PR = \frac{I_0}{BN}$$

$$PR = \frac{₡ 4 685 680,74}{₡ 54 358,8} = 86,19 \text{ años}$$

Donde:

$I_0$  = Inversión inicial (₡ 4 685 680,74)

$B_n$  = Beneficios Netos del proyecto (₡ 54 358,8)

Valor Actual Neto

El valor Actual Neto (VAN), permite es un criterio que permite conocer cuánto se ganará o perder en una determinada inversión.

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

Donde

$BNt = \text{C} 54\,358,8$  (Beneficios netos generados)

$I_0 = \text{C} 4\,685\,680,74$  (Inversión Inicial)

$N = 5$  (años esperados de duración de la película)

$I = 9\%$  (tasa de interés estimada si se solicitara un préstamo para la inversión)

$$VAN = \sum_{t=1}^5 \frac{\text{C} 54\,358,8}{(1+0,05)^t} - \text{C} 4\,685\,680,74$$

$$VAN = -4\,450\,335,58$$

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es un porcentaje que mide la viabilidad de un proyecto, determina la rentabilidad de los cobros y pagos por una inversión.

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{BNt}{(1+r)^t} - I_0 = 0$$

$$TIR = \sum_{t=1}^5 \frac{\text{C} 54\,358,8}{(1+r)^t} - \text{C} 4\,685\,680,74 = 0$$

$$TIR = \sum_{t=1}^5 \frac{\text{C} 54\,358,8}{(1+r)^t} - \text{C} 4\,685\,680,74 = -53,77\%$$

Donde

$BNt = \text{C} 54\,358,8$  (Beneficios netos generados).

$I_0 = \text{C} 4\,685\,680,74$  (Inversión Inicial)

$n = 5$  (años estimados de duración de la película debido a las condiciones del recinto).

$r$  = Es la tasa de retorno

En el caso de la propuesta #2 tanto el TIR como el VAN son negativos por lo que la propuesta no es viable, ya que produciría pérdidas a la inversión.

### **Recomendación de la propuesta**

La propuesta de cambio de los Chillers es el método de conservación de la energía que más afectara la eficiencia del Centro de datos de una forma positiva, sin embargo es un método costoso debido a la inversión inicial que se tienen que realizar, además los Chillers actuales aún tiene una vida útil de más de 16 años por lo que su cambio no parece una opción agradable, por tanto, aunque financieramente tiene valores positivos no se recomendara como una forma de mejorar la eficiencia del Centro de datos, pero, si como una recomendación ante una posible necesidad de cambia los equipos, ya sea por deterioro o por finalización de su vida útil.

## REFERENCIAS

- Belfort, Y. (2016). Evaluación financiera de la compra de maquinaria para la empresa Neo Pórticos de Asunción S. A. Trabajo final de graduación para optar al grado y título de Maestría Profesional en Finanzas. Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Recuperado de: <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/28890/EVALUACION%20FINANCIERA%20DE%20LA%20COMPRA%20DE%20MAQUINARIA%20PARA%20LA%20EMPRESA%20NEO%20PORTICOS%20DE%20ASUNCION%20S.A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Briones, C. (2010). Diseño del Centro de datos del Banco Central de Ecuador, sucursal de Cuenca. Tesis de ingeniería de sistemas. Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/664/1/ts178.pdf>
- Castillo, J. (2009). Lineamientos para el diseño de ingeniería de las instalaciones eléctricas para el Data Center de la terminal 2 del aeropuerto internacional de la ciudad de México (Tesis ingeniería eléctrica). Instituto Politécnico nacional, México. Recuperado de: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/5469/LINEAMIENTOSDISENO.pdf>.
- Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) (s. f.). Términos eléctricos y de facturación generales. Recuperado de: [https://www.cnfl.go.cr/documentos/eficiencia/terminos%20electricos\\_y\\_de\\_facturacion.pdf](https://www.cnfl.go.cr/documentos/eficiencia/terminos%20electricos_y_de_facturacion.pdf)
- De Ford (s. f.). White paper # 04 Eficiencia energética en Data Centers. Recuperado de: [https://www.grupoelectrotecnica.com/sites/default/files/private/white-papers/whitepaper\\_4\\_0.pdf](https://www.grupoelectrotecnica.com/sites/default/files/private/white-papers/whitepaper_4_0.pdf)
- Diaz, A. y Aguilera, V. (2013). Matemáticas financieras. México: Editorial MC Graw Hill.
- Escobar, J. (2015). Diseño de infraestructura de un Data Center Tier IV de acuerdo con las

- especificaciones técnicas de la norma TIA-942. Tesis de Maestría en redes de comunicación). Pontifica Universidad Católica del Ecuador, Ecuador. Recuperado de: [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8457/CASO\\_ESTUDIO\\_COMPLETO\\_V7\\_JOSE\\_ESCOBAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8457/CASO_ESTUDIO_COMPLETO_V7_JOSE_ESCOBAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Fundación de la energía de la comunidad de Madrid (2006). Guía técnica de iluminación eficiente. España: Graficas Arias Montano S. A.
- Galván, G. (2013). DATACENTER Una mirada por dentro. Argentina: Editorial Ediciones Índigo.
- Hernández, A., Ezequiel G., Flores L. y Sosa R. (2014). Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía. México: Instituciones editoras: Conuee / GIZ
- Instituto Costarricense de Electricidad (2006). Estudio del potencial Solar en Costa Rica. Recuperado de <http://www.acesolar.org/wp-content/uploads/2016/03/INFORME-FINAL-CONSULTORIA-SOLAR.pdf>
- International Computer Room Experts Association (2011). Norma internacional para la construcción de centros de procesamiento de datos. México.
- López, M., Huedo E. y Gabajosa J. (2008). Green IT: Tecnologías para la eficiencia energética en los sistemas de TI. España: Editorial Fundación madri+d para el conocimiento.
- Pita, E. (2005). Acondicionamiento de aire principios y sistemas. México: Editorial Grupo GEO impresores S. A. de C. V. Nautla.
- Rasmussen, Neil (2003). Cálculo de los requisitos totales de refrigeración para centro de datos. Recuperado de: [http://www.apc.com/salestools/NRAN-5TE6HE/NRAN-5TE6HE\\_R1\\_ES.pdf](http://www.apc.com/salestools/NRAN-5TE6HE/NRAN-5TE6HE_R1_ES.pdf)
- Sapag, N. y Sapag, R. (2008). Preparación y evaluación de proyectos. Colombia: Editorial McGraw Hill.

Westinghouse Electric Corporation. (1992). Manual de alumbrado. España: Editorial Dossat S.

## APÉNDICES

### Apéndice A: Consumo de la energía eléctrica (kW) de los diferentes sistemas y equipos del Centro de Datos.

		G. A	G. B	llu	C.C. A	C.C. B	C.F	AAP A	AAP B	T. G	B.A	B. B	Chillers	Total
10/10/2018	20:00:00	0	5	2	62	53	3	2	3	1	6	9	84	230
10/10/2018	20:15:00	4	5	2	65	53	6	2	1	1	6	8	76,5	229,5
10/10/2018	20:30:00	4	5	2	65	53	6	2	3	1	6	9	73	229
10/10/2018	20:45:00	4	2	2	65	49	6	2	3	1	6	9	80,5	229,5
10/10/2018	21:00:00	4	2	2	65	49	6	0	1	1	6	9	85	230
10/10/2018	21:15:00	4	2	2	65	50	6	0	3	1	6	8	82,5	229,5
10/10/2018	21:30:00	0	2	6	62	49	7	2	3	1	6	9	82	229
10/10/2018	21:45:00	0	2	3	61	49	3	2	3	1	6	9	91	230
10/10/2018	22:00:00	0	5	2	62	53	3	2	1	1	6	8	86,5	229,5
10/10/2018	22:15:00	0	5	2	61	53	3	2	3	1	6	8	85,5	229,5
10/10/2018	22:30:00	0	5	2	62	53	6	0	3	1	6	9	82,5	229,5
10/10/2018	22:45:00	4	5	2	65	53	6	0	1	1	6	9	78	230
10/10/2018	23:00:00	4	2	3	65	49	6	2	3	1	6	8	80	229
10/10/2018	23:15:00	4	2	2	65	49	6	2	3	1	6	8	82	230
10/10/2018	23:30:00	4	2	4	65	49	5	2	1	1	6	9	82	230
10/10/2018	23:45:00	0	2	5	61	49	5	2	3	1	6	9	89	232
11/10/2018	00:00:00	0	5	3	61	53	4	0	3	1	6	8	86	230
11/10/2018	00:15:00	0	5	2	61	53	3	0	3	1	6	9	86,5	229,5
11/10/2018	00:30:00	0	5	3	62	53	7	0	1	1	6	9	82	229
11/10/2018	00:45:00	0	5	2	62	53	6	2	3	1	6	8	76,5	224,5
11/10/2018	01:00:00	4	5	2	65	53	6	2	3	1	6	8	75	230
11/10/2018	01:15:00	4	2	2	65	50	6	2	3	1	6	9	79,5	229,5
11/10/2018	01:30:00	4	2	3	65	49	7	2	1	1	6	9	80	229
11/10/2018	01:45:00	4	2	2	65	50	3	0	3	1	6	8	86	230
11/10/2018	02:00:00	4	2	3	65	49	3	0	3	1	6	8	85,5	229,5
11/10/2018	02:15:00	0	5	2	62	53	3	2	1	1	6	9	85,5	229,5
11/10/2018	02:30:00	0	5	3	62	53	7	2	3	1	6	9	79	230

		G. A	G. B	llu	C.C. A	C.C. B	C.F	AAP A	AAP B	T. G	B.A	B. B	Chillers	Total
11/10/2018	02:45:00	0	5	5	62	53	8	2	3	1	6	8	77	230
11/10/2018	02:45:00	0	5	5	62	53	8	2	3	1	6	8	77	230
11/10/2018	03:00:00	0	5	3	62	53	7	2	3	1	6	8	79	229
11/10/2018	03:15:00	4	2	2	65	50	6	2	1	1	6	9	82	230
11/10/2018	03:30:00	4	2	3	65	49	3	0	3	1	6	9	84,5	229,5
11/10/2018	03:45:00	4	2	2	65	49	3	0	3	1	6	8	86	229
11/10/2018	04:00:00	4	2	3	65	49	7	2	3	1	6	8	79,5	229,5
11/10/2018	04:15:00	4	5	2	65	53	6	2	1	1	6	9	76	230
11/10/2018	04:30:00	0	5	3	61	53	7	2	3	1	6	9	79,5	229,5
11/10/2018	04:45:00	0	5	2	61	53	6	2	3	1	6	8	82	229
11/10/2018	05:00:00	0	5	3	62	53	3	0	3	1	6	9	85	230
11/10/2018	05:15:00	0	5	2	61	53	3	0	1	1	6	9	88,5	229,5
11/10/2018	05:30:00	0	2	2	62	49	3	2	3	1	6	8	91,5	229,5
11/10/2018	05:45:00	4	2	5	65	49	9	2	3	1	6	8	75,5	229,5
11/10/2018	06:00:00	4	2	3	65	49	6	2	3	1	6	9	80	230
11/10/2018	06:15:00	4	2	1	65	50	5	2	1	1	6	9	83	229
11/10/2018	06:30:00	4	5	1	65	53	2	0	3	1	6	8	80	228
11/10/2018	06:45:00	4	5	1	65	53	2	0	3	1	6	8	81	229
11/10/2018	07:00:00	0	5	5	62	53	5	0	3	1	6	9	81	230
11/10/2018	07:15:00	0	5	1	62	53	2	2	1	1	6	9	88	230
11/10/2018	07:30:00	0	5	2	62	53	6	2	1	1	6	8	86	232
11/10/2018	07:45:00	0	2	2	62	49	6	2	3	1	6	8	89	230
11/10/2018	08:00:00	0	2	1	62	50	5	2	3	1	6	9	88,5	229,5
11/10/2018	08:15:00	4	2	1	65	50	2	2	1	1	6	9	86	229
11/10/2018	08:30:00	4	2	1	65	50	2	0	3	1	6	8	87,5	229,5
11/10/2018	08:45:00	4	5	1	65	53	5	0	3	1	6	9	78	230
11/10/2018	09:00:00	4	5	1	65	53	5	0	3	1	6	9	77,5	229,5
11/10/2018	09:15:00	0	5	1	62	53	5	2	1	1	6	8	85	229
11/10/2018	09:30:00	0	5	1	62	53	5	2	3	1	6	8	84	230
11/10/2018	09:45:00	0	2	2	62	50	3	2	3	1	6	9	89,5	229,5
11/10/2018	10:00:00	0	2	1	62	50	2	2	1	1	6	8	94,5	229,5
11/10/2018	10:15:00	0	2	1	62	50	5	0	3	1	6	8	91,5	229,5
11/10/2018	10:30:00	4	2	1	66	50	5	0	3	1	6	9	83	230
11/10/2018	10:45:00	4	2	2	66	50	6	0	1	1	6	9	82,5	229,5

		G. A	G. B	llu	C.C. A	C.C. B	C.F	AAP A	AAP B	T. G	B.A	B. B	Chillers	Total
11/10/2018	11:00:00	4	2	1	66	50	5	2	3	1	6	8	81	229
11/10/2018	11:15:00	4	2	4	66	50	5	2	3	1	6	8	79	230
11/10/2018	11:30:00	4	2	1	66	50	2	2	1	1	6	9	85	229
11/10/2018	11:45:00	0	2	2	62	50	6	2	1	1	6	8	90	230
11/10/2018	12:00:00	0	2	1	62	50	5	2	3	1	6	8	90	230
11/10/2018	12:15:00	0	2	1	62	50	5	0	3	1	6	9	90	229
11/10/2018	12:30:00	0	2	1	62	50	5	0	1	1	6	8	93,5	229,5
11/10/2018	12:45:00	0	2	2	62	50	3	2	3	1	6	9	90	230
11/10/2018	13:00:00	4	2	4	65	50	4	2	3	1	6	9	79,5	229,5
11/10/2018	13:15:00	4	2	2	65	50	2	2	1	1	6	8	86	229
11/10/2018	13:30:00	4	2	1	66	50	5	2	3	1	6	8	82	230
11/10/2018	13:45:00	4	2	1	66	50	5	2	3	1	6	9	80,5	229,5
11/10/2018	14:00:00	0	2	1	62	50	5	0	1	1	6	8	93,5	229,5
11/10/2018	14:15:00	0	2	1	62	50	5	0	3	1	6	8	91	229
11/10/2018	14:30:00	0	2	1	62	50	2	0	3	1	6	9	94	230
11/10/2018	14:45:00	0	2	4	62	50	8	2	1	1	6	8	85	229
11/10/2018	15:00:00	0	2	2	62	50	2	2	3	1	6	8	92	230
11/10/2018	15:15:00	4	2	1	66	50	5	2	3	1	6	9	81	230
11/10/2018	15:30:00	4	5	1	66	53	6	2	1	1	6	9	78	232
11/10/2018	15:45:00	4	5	1	66	53	5	2	3	1	6	8	76	230
11/10/2018	16:00:00	4	5	1	66	53	5	0	3	1	6	9	76,5	229,5
11/10/2018	16:15:00	0	5	2	62	53	6	0	1	1	6	9	84	229
11/10/2018	16:30:00	0	2	4	62	50	8	0	3	1	6	8	86	230
11/10/2018	16:45:00	0	2	2	62	50	2	2	3	1	6	7	96	233
11/10/2018	17:00:00	0	2	1	62	50	2	2	1	1	6	8	97	232
11/10/2018	17:15:00	0	1	2	62	50	2	2	3	1	5	7	95	230
11/10/2018	17:30:00	4	1	2	66	49	4	2	3	1	6	8	83,5	229,5
11/10/2018	17:45:00	4	5	2	65	53	7	0	1	1	7	9	75	229
11/10/2018	18:00:00	4	5	2	65	53	6	0	3	1	7	9	75	230
11/10/2018	18:15:00	4	5	4	65	53	8	0	3	1	7	8	72	230
11/10/2018	18:30:00	0	5	3	62	53	6	2	1	1	7	8	84	232
11/10/2018	18:45:00	0	1	2	62	50	6	2	3	1	6	9	88	230
11/10/2018	19:00:00	0	1	2	62	50	6	2	4	1	6	9	86,5	229,5
11/10/2018	19:15:00	0	1	2	62	50	6	2	3	1	6	8	88	229

		G. A	G. B	llu	C.C. A	C.C. B	C.F	AAP A	AAP B	T. G	B.A	B. B	Chillers	Total
11/10/2018	19:30:00	4	1	2	66	50	6	0	3	1	6	8	83	230
11/10/2018	19:45:00	4	5	2	65	53	3	0	3	1	6	9	79	230
11/10/2018	20:00:00	4	5	2	65	53	3	0	3	1	6	8	79,5	229,5
11/10/2018	20:15:00	4	5	2	65	53	3	2	3	1	7	8	76	229
11/10/2018	20:30:00	4	5	2	65	53	6	2	3	1	6	9	74	230
11/10/2018	20:45:00	0	5	2	62	53	6	2	3	1	6	9	80,5	229,5
11/10/2018	21:00:00	0	1	2	62	49	7	2	3	1	7	8	87,5	229,5
11/10/2018	21:15:00	0	1	2	62	50	6	2	1	1	7	8	89,5	229,5
11/10/2018	21:30:00	0	1	2	62	50	6	2	3	1	7	9	87	230
11/10/2018	21:45:00	4	1	4	65	50	4	0	4	1	7	9	80	229
11/10/2018	22:00:00	4	5	3	65	53	3	0	1	1	7	8	80	230
11/10/2018	22:15:00	4	5	2	65	53	3	2	4	1	7	9	74,5	229,5
11/10/2018	22:30:00	4	5	2	66	53	6	2	3	1	7	9	71	229
11/10/2018	22:45:00	4	5	2	66	53	3	2	1	1	7	8	77,5	229,5
11/10/2018	23:00:00	0	5	3	62	53	3	2	3	1	7	8	83	230
11/10/2018	23:15:00	0	5	2	62	53	3	2	3	1	7	9	82,5	229,5
11/10/2018	23:30:00	0	2	3	62	50	4	0	3	1	7	9	88	229
11/10/2018	23:45:00	0	2	5	62	50	8	0	1	1	7	8	86	230
12/10/2018	00:00:00	4	2	3	65	50	6	2	4	1	7	9	76,5	229,5
12/10/2018	00:15:00	4	2	2	65	50	6	2	4	1	7	9	77,5	229,5
12/10/2018	00:30:00	4	5	3	66	53	6	2	1	1	7	8	73,5	229,5
12/10/2018	00:45:00	4	5	2	66	53	3	2	3	1	7	8	76	230
12/10/2018	01:00:00	4	5	3	65	53	3	2	4	1	7	9	73	229
12/10/2018	01:15:00	0	5	2	62	53	3	0	1	1	7	9	87	230
12/10/2018	01:30:00	0	5	2	62	53	6	0	3	1	7	8	82	229
12/10/2018	01:45:00	0	2	2	62	50	6	0	3	1	7	9	88	230
12/10/2018	02:00:00	0	2	3	62	50	6	2	4	1	7	9	84	230
12/10/2018	02:15:00	4	2	2	65	50	6	2	1	1	7	8	84	232
12/10/2018	02:30:00	4	2	3	65	50	3	2	3	1	7	8	82	230
12/10/2018	02:45:00	4	5	3	65	53	4	2	4	1	7	9	72,5	229,5
12/10/2018	03:00:00	4	5	5	65	53	3	2	1	1	7	8	76	230
12/10/2018	03:15:00	4	5	2	65	53	6	0	1	1	7	8	77,5	229,5
12/10/2018	03:30:00	0	5	3	62	53	6	0	3	1	7	9	80	229
12/10/2018	03:45:00	0	5	2	62	53	6	2	3	1	7	9	80	230

		G. A	G. B	llu	C.C. A	C.C. B	C.F	AAP A	AAP B	T. G	B.A	B. B	Chillers	Total
12/10/2018	04:00:00	0	5	3	62	53	3	2	1	1	7	8	84,5	229,5
12/10/2018	04:15:00	0	2	2	62	50	2	2	3	1	7	8	90,5	229,5
12/10/2018	04:30:00	4	2	2	65	50	2	2	4	1	7	9	81,5	229,5
12/10/2018	04:45:00	4	2	2	65	50	3	2	3	1	7	8	83	230
12/10/2018	05:00:00	4	2	2	65	49	6	2	1	1	7	8	82	229
12/10/2018	05:15:00	4	5	2	65	53	7	0	3	1	7	9	74	230
12/10/2018	05:30:00	0	5	3	62	53	8	0	4	1	7	9	78	230
12/10/2018	05:45:00	0	5	4	62	53	6	2	3	1	7	8	81	232
12/10/2018	06:00:00	0	5	2	62	53	6	2	4	1	7	9	73	224
12/10/2018	06:15:00	0	5	1	62	53	3	2	4	1	7	9	82,5	229,5
12/10/2018	06:30:00	0	2	1	62	50	5	2	3	1	7	8	88	229
12/10/2018	06:45:00	4	2	1	65	50	5	2	1	1	7	8	83,5	229,5
12/10/2018	07:00:00	4	2	1	65	50	2	0	3	1	7	9	86	230
<b>Promedio</b>		<b>2,01</b>	<b>3,3</b>	<b>2,2</b>	<b>63,57</b>	<b>51,24</b>	<b>4,8</b>	<b>1,32</b>	<b>2,5</b>	<b>1</b>	<b>6,3</b>	<b>8,5</b>	<b>82,85</b>	<b>229,7</b>

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice B: Mediciones de la carga térmica del Chiller A

Fecha	Hora	Carga térmica Chiller A kW	Eff del Chille A %
11/10/2018	9:00:00 p. m.	23,08	5,67
11/10/2018	9:10:00 p. m.	106,51	26,16
11/10/2018	9:20:00 p. m.	90,23	22,16
11/10/2018	9:30:00 p. m.	91,28	22,42
11/10/2018	9:40:00 p. m.	59,61	14,64
11/10/2018	9:50:00 p. m.	113,48	27,87
11/10/2018	10:00:00 p. m.	90,53	22,23
11/10/2018	10:10:00 p. m.	95,66	23,49
11/10/2018	10:20:00 p. m.	98,07	24,08
11/10/2018	10:30:00 p. m.	83,2	20,43
11/10/2018	10:40:00 p. m.	81,28	19,96
11/10/2018	10:50:00 p. m.	102,55	25,18
11/10/2018	11:00:00 p. m.	102,1	25,07
11/10/2018	11:10:00 p. m.	101,82	25,00
11/10/2018	11:20:00 p. m.	100,59	24,70
11/10/2018	11:30:00 p. m.	109,41	26,87
11/10/2018	11:40:00 p. m.	114,81	28,19
11/10/2018	11:50:00 p. m.	91,62	22,50
11/10/2018	12:00:00 a. m.	110,62	27,17
11/10/2018	12:10:00 a. m.	95,6	23,48
11/10/2018	12:20:00 a. m.	98,77	24,26
11/10/2018	12:30:00 a. m.	93,41	22,94
11/10/2018	12:40:00 a. m.	80,19	19,69
11/10/2018	12:50:00 a. m.	104,28	25,61
11/10/2018	1:00:00 a. m.	96,43	23,68
11/10/2018	1:10:00 a. m.	60,06	14,75
11/10/2018	1:20:00 a. m.	93,4	22,94
11/10/2018	1:30:00 a. m.	100,22	24,61
11/10/2018	1:40:00 a. m.	97,29	23,89
11/10/2018	1:50:00 a. m.	100,3	24,63

Fecha	Hora	Carga térmica Chiller A kW	Eff del Chille A %
11/10/2018	2:00:00 a. m.	98,54	24,20
11/10/2018	2:10:00 a. m.	114,95	28,23
11/10/2018	2:20:00 a. m.	88,64	21,77
11/10/2018	2:30:00 a. m.	99,47	24,43
11/10/2018	2:40:00 a. m.	101,78	25,00
11/10/2018	2:50:00 a. m.	110,33	27,09
11/10/2018	3:00:00 a. m.	118,21	29,03
11/10/2018	3:10:00 a. m.	104,1	25,56
11/10/2018	3:20:00 a. m.	90	22,10
11/10/2018	3:30:00 a. m.	120,57	29,61
11/10/2018	3:40:00 a. m.	97,82	24,02
11/10/2018	3:50:00 a. m.	115,41	28,34
11/10/2018	4:00:00 a. m.	101,81	25,00
11/10/2018	4:10:00 a. m.	90,41	22,20
11/10/2018	4:20:00 a. m.	0,74	0,18
11/10/2018	4:30:00 a. m.	101,64	24,96
11/10/2018	4:40:00 a. m.	81,87	20,11
11/10/2018	4:50:00 a. m.	113,55	27,89
11/10/2018	5:00:00 a. m.	115,95	28,47
11/10/2018	5:10:00 a. m.	109,43	26,87
11/10/2018	5:20:00 a. m.	110,75	27,20
11/10/2018	5:30:00 a. m.	112,23	27,56
11/10/2018	5:40:00 a. m.	112,47	27,62
11/10/2018	5:50:00 a. m.	105,09	25,81
11/10/2018	6:00:00 a. m.	100,33	24,64
11/10/2018	6:10:00 a. m.	84,74	20,81
11/10/2018	6:20:00 a. m.	108,52	26,65
11/10/2018	6:30:00 a. m.	106,8	26,23
11/10/2018	6:40:00 a. m.	110,85	27,22
11/10/2018	6:50:00 a. m.	72,32	17,76

Fecha	Hora	Carga térmica Chiller A kW	Eff del Chille A %
11/10/2018	7:00:00 a. m.	90,12	22,13
11/10/2018	7:10:00 a. m.	29,35	7,21
11/10/2018	7:20:00 a. m.	2,08	0,51
11/10/2018	7:30:00 a. m.	12,78	3,14
11/10/2018	7:40:00 a. m.	-0,55	-0,14
11/10/2018	7:50:00 a. m.	77,87	19,12
11/10/2018	8:00:00 a. m.	13,08	3,21
11/10/2018	8:10:00 a. m.	89,39	21,95
11/10/2018	8:20:00 a. m.	104,66	25,70
11/10/2018	8:30:00 a. m.	103,67	25,46
11/10/2018	8:40:00 a. m.	102,26	25,11
11/10/2018	8:50:00 a. m.	113,94	27,98
11/10/2018	9:00:00 a. m.	114,13	28,03
11/10/2018	9:10:00 a. m.	96,42	23,68
11/10/2018	9:20:00 a. m.	42,22	10,37
11/10/2018	9:30:00 a. m.	5,47	1,34
11/10/2018	9:40:00 a. m.	100,5	24,68
11/10/2018	9:50:00 a. m.	85,1	20,90
11/10/2018	10:00:00 a. m.	24	5,89
11/10/2018	10:10:00 a. m.	102,62	25,20
11/10/2018	10:20:00 a. m.	101,6	24,95
11/10/2018	10:30:00 a. m.	-7,25	-1,78
11/10/2018	10:40:00 a. m.	83,77	20,57
11/10/2018	10:50:00 a. m.	84,02	20,63
11/10/2018	11:00:00 a. m.	103,49	25,42
11/10/2018	11:10:00 a. m.	85,2	20,92
11/10/2018	11:20:00 a. m.	85	20,87
11/10/2018	11:30:00 a. m.	20,63	5,07
11/10/2018	11:40:00 a. m.	108,2	26,57
11/10/2018	11:50:00 a. m.	106,23	26,09

Fecha	Hora	Carga térmica Chiller A kW	Eff del Chille A %
11/10/2018	12:00:00 p. m.	9,42	2,31
11/10/2018	12:10:00 p. m.	107,85	26,49
11/10/2018	12:20:00 p. m.	90,44	22,21
11/10/2018	12:30:00 p. m.	106,79	26,23
11/10/2018	12:40:00 p. m.	99,77	24,50
11/10/2018	12:50:00 p. m.	98,8	24,26
11/10/2018	1:00:00 p. m.	73,45	18,04
11/10/2018	1:10:00 p. m.	98,15	24,10
11/10/2018	1:20:00 p. m.	83,01	20,39
11/10/2018	1:30:00 p. m.	0,18	0,04
11/10/2018	1:40:00 p. m.	67,69	16,62
11/10/2018	1:50:00 p. m.	90,11	22,13
11/10/2018	2:00:00 p. m.	48,08	11,81
11/10/2018	2:10:00 p. m.	88,68	21,78
11/10/2018	2:20:00 p. m.	33,47	8,22
11/10/2018	2:30:00 p. m.	80,69	19,82
11/10/2018	2:40:00 p. m.	22,93	5,63
11/10/2018	2:50:00 p. m.	87,06	21,38
11/10/2018	3:00:00 p. m.	89,72	22,03
11/10/2018	3:10:00 p. m.	45,95	11,28
11/10/2018	3:20:00 p. m.	104,66	25,70
11/10/2018	3:30:00 p. m.	50,28	12,35
11/10/2018	3:40:00 p. m.	92,67	22,76
11/10/2018	3:50:00 p. m.	104,65	25,70
11/10/2018	4:00:00 p. m.	94,33	23,17
11/10/2018	4:10:00 p. m.	95,09	23,35
11/10/2018	4:20:00 p. m.	99,35	24,40
11/10/2018	4:30:00 p. m.	108,5	26,65
11/10/2018	4:40:00 p. m.	110,81	27,21
11/10/2018	4:50:00 p. m.	111,68	27,43

Fecha	Hora	Carga térmica Chiller A kW	Eff del Chille A %
11/10/2018	5:00:00 p. m.	88,28	21,68
11/10/2018	5:10:00 p. m.	46,86	11,51
11/10/2018	5:20:00 p. m.	107,34	26,36
11/10/2018	5:30:00 p. m.	107,7	26,45
11/10/2018	5:40:00 p. m.	123,71	30,38
11/10/2018	5:50:00 p. m.	96,65	23,74
11/10/2018	6:00:00 p. m.	95,65	23,49
11/10/2018	6:10:00 p. m.	52,44	12,88
11/10/2018	6:20:00 p. m.	95,38	23,42
11/10/2018	6:30:00 p. m.	114,22	28,05
11/10/2018	6:40:00 p. m.	29,52	7,25
11/10/2018	6:50:00 p. m.	109,35	26,85
11/10/2018	7:00:00 p. m.	32,86	8,07
11/10/2018	7:10:00 p. m.	106,15	26,07
11/10/2018	7:20:00 p. m.	13,07	3,21
11/10/2018	7:30:00 p. m.	-20,14	-4,95
11/10/2018	7:40:00 p. m.	104,34	25,62
11/10/2018	7:50:00 p. m.	106,26	26,10
11/10/2018	8:00:00 p. m.	108,47	26,64
11/10/2018	8:10:00 p. m.	95,02	23,33
11/10/2018	8:20:00 p. m.	115,6	28,39
11/10/2018	8:30:00 p. m.	90,77	22,29
11/10/2018	8:40:00 p. m.	83,72	20,56
11/10/2018	8:50:00 p. m.	8,21	2,02
11/10/2018	9:00:00 p. m.	80,07	19,66
11/10/2018	9:10:00 p. m.	109,32	26,85
11/10/2018	9:20:00 p. m.	119,67	29,39
11/10/2018	9:30:00 p. m.	3,13	0,77
11/10/2018	9:40:00 p. m.	116,47	28,60
11/10/2018	9:50:00 p. m.	9,92	2,44

Fecha	Hora	Carga térmica Chiller A kW	Eff del Chille A %
11/10/2018	10:00:00 p. m.	31,18	7,66
11/10/2018	10:10:00 p. m.	109,23	26,82
11/10/2018	10:20:00 p. m.	127,91	31,41
11/10/2018	10:30:00 p. m.	5,56	1,37
11/10/2018	10:40:00 p. m.	109,38	26,86
11/10/2018	10:50:00 p. m.	12,71	3,12
11/10/2018	11:00:00 p. m.	28,48	6,99
11/10/2018	11:10:00 p. m.	107,15	26,31
11/10/2018	11:20:00 p. m.	110,98	27,25
11/10/2018	11:30:00 p. m.	17,58	4,32
11/10/2018	11:40:00 p. m.	100,62	24,71
11/10/2018	11:50:00 p. m.	16,1	3,95
12/10/2018	12:00:00 a. m.	22,83	5,61
12/10/2018	12:10:00 a. m.	100,83	24,76
12/10/2018	12:20:00 a. m.	106,35	26,12
12/10/2018	12:30:00 a. m.	24,13	5,93
12/10/2018	12:40:00 a. m.	100,71	24,73
12/10/2018	12:50:00 a. m.	41,04	10,08
12/10/2018	1:00:00 a. m.	1,19	0,29
12/10/2018	1:10:00 a. m.	111,63	27,41
12/10/2018	1:20:00 a. m.	121,08	29,73
12/10/2018	1:30:00 a. m.	1,75	0,43
12/10/2018	1:40:00 a. m.	91,63	22,50
12/10/2018	1:50:00 a. m.	53,99	13,26
12/10/2018	2:00:00 a. m.	-3,85	-0,95
12/10/2018	2:10:00 a. m.	100,11	24,58
12/10/2018	2:20:00 a. m.	136,15	33,44
12/10/2018	2:30:00 a. m.	19,73	4,85
12/10/2018	2:40:00 a. m.	113,56	27,89
12/10/2018	2:50:00 a. m.	56,63	13,91

Fecha	Hora	Carga térmica Chiller A kW	Eff del Chille A %
12/10/2018	3:00:00 a. m.	-5,33	-1,31
12/10/2018	3:10:00 a. m.	103,15	25,33
12/10/2018	3:20:00 a. m.	118,96	29,21
12/10/2018	3:30:00 a. m.	107,5	26,40
12/10/2018	3:40:00 a. m.	47,35	11,63
12/10/2018	3:50:00 a. m.	119,1	29,25
12/10/2018	4:00:00 a. m.	-4,05	-0,99
12/10/2018	4:10:00 a. m.	93,09	22,86
12/10/2018	4:20:00 a. m.	129,36	31,77
12/10/2018	4:30:00 a. m.	41,59	10,21
12/10/2018	4:40:00 a. m.	36,95	9,07
12/10/2018	4:50:00 a. m.	107,26	26,34
12/10/2018	5:00:00 a. m.	-0,9	-0,22
12/10/2018	5:10:00 a. m.	114,97	28,23
12/10/2018	5:20:00 a. m.	114	28,00
12/10/2018	5:30:00 a. m.	60,53	14,86
12/10/2018	5:40:00 a. m.	8,59	2,11
12/10/2018	5:50:00 a. m.	138,5	34,01
12/10/2018	6:00:00 a. m.	-14,64	-3,60
12/10/2018	6:10:00 a. m.	104,39	25,64
12/10/2018	6:20:00 a. m.	124,1	30,48
12/10/2018	6:30:00 a. m.	106,86	26,24
12/10/2018	6:40:00 a. m.	26,75	6,57
12/10/2018	6:50:00 a. m.	132,52	32,54
12/10/2018	7:00:00 a. m.	28	6,88
12/10/2018	7:10:00 a. m.	106,97	26,27
12/10/2018	7:20:00 a. m.	98,99	24,31
12/10/2018	7:30:00 a. m.	104,7	25,71
12/10/2018	7:40:00 a. m.	25,99	6,38
12/10/2018	7:50:00 a. m.	104,57	25,68

Fecha	Hora	Carga térmica Chiller A kW	Eff del Chille A %
12/10/2018	8:00:00 a. m.	116,71	28,66
12/10/2018	8:10:00 a. m.	116,25	28,55
12/10/2018	8:20:00 a. m.	106,03	26,04
12/10/2018	8:30:00 a. m.	98,4	24,17
12/10/2018	8:40:00 a. m.	106,02	26,04
12/10/2018	8:50:00 a. m.	33,19	8,15
12/10/2018	9:00:00 a. m.	113,62	27,90
12/10/2018	9:10:00 a. m.	14,4	3,54
12/10/2018	9:20:00 a. m.	91,47	22,46
12/10/2018	9:30:00 a. m.	89,7	22,03
12/10/2018	9:40:00 a. m.	104,01	25,54
12/10/2018	9:50:00 a. m.	109,83	26,97
12/10/2018	10:00:00 a. m.	93,47	22,95
12/10/2018	10:10:00 a. m.	96,14	23,61
12/10/2018	10:20:00 a. m.	91,09	22,37
12/10/2018	10:30:00 a. m.	119,81	29,42
12/10/2018	10:40:00 a. m.	99,86	24,52
12/10/2018	10:50:00 a. m.	83,29	20,45
12/10/2018	11:00:00 a. m.	104,19	25,59
12/10/2018	11:10:00 a. m.	112,34	27,59
12/10/2018	11:20:00 a. m.	91,47	22,46
12/10/2018	11:30:00 a. m.	110,8	27,21
12/10/2018	11:40:00 a. m.	27,23	6,69
12/10/2018	11:50:00 a. m.	95,97	23,57
12/10/2018	12:00:00 p. m.	104,17	25,58
12/10/2018	12:10:00 p. m.	94,65	23,24
12/10/2018	12:20:00 p. m.	95,18	23,37
12/10/2018	12:30:00 p. m.	99,55	24,45
12/10/2018	12:40:00 p. m.	-20,87	-5,13
12/10/2018	12:50:00 p. m.	-6,35	-1,56

Fecha	Hora	Carga térmica Chiller A kW	Eff del Chille A %
12/10/2018	1:00:00 p. m.	100,18	24,60
12/10/2018	1:10:00 p. m.	13,86	3,40
12/10/2018	1:20:00 p. m.	113,61	27,90
12/10/2018	1:30:00 p. m.	22,47	5,52
12/10/2018	1:40:00 p. m.	118,66	29,14
12/10/2018	1:50:00 p. m.	8,99	2,21
12/10/2018	2:00:00 p. m.	84,85	20,84
12/10/2018	2:10:00 p. m.	-4,12	-1,01
12/10/2018	2:20:00 p. m.	94,6	23,23
12/10/2018	2:30:00 p. m.	8,37	2,06
12/10/2018	2:40:00 p. m.	98,65	24,23
12/10/2018	2:50:00 p. m.	-2,28	-0,56
12/10/2018	3:00:00 p. m.	113,49	27,87
12/10/2018	3:10:00 p. m.	5,54	1,36
12/10/2018	3:20:00 p. m.	101,19	24,85
12/10/2018	3:30:00 p. m.	-16,51	-4,05
12/10/2018	3:40:00 p. m.	109,01	26,77
12/10/2018	3:50:00 p. m.	10,2	2,50
12/10/2018	4:00:00 p. m.	45,58	11,19
12/10/2018	4:10:00 p. m.	99,67	24,48
12/10/2018	4:20:00 p. m.	68,41	16,80
12/10/2018	4:30:00 p. m.	-4,16	-1,02
12/10/2018	4:40:00 p. m.	103,06	25,31
12/10/2018	4:50:00 p. m.	120,96	29,71
12/10/2018	5:00:00 p. m.	87,1	21,39
12/10/2018	5:10:00 p. m.	98,05	24,08
12/10/2018	5:20:00 p. m.	80,54	19,78
12/10/2018	5:30:00 p. m.	116,53	28,62
12/10/2018	5:40:00 p. m.	50,58	12,42
12/10/2018	5:50:00 p. m.	101,44	24,91

Fecha	Hora	Carga térmica Chiller A kW	Eff del Chille A %
12/10/2018	6:00:00 p. m.	58,39	14,34
12/10/2018	6:10:00 p. m.	105,38	25,88
12/10/2018	6:20:00 p. m.	37,18	9,13
12/10/2018	6:30:00 p. m.	115,37	28,33
12/10/2018	6:40:00 p. m.	24,63	6,05
12/10/2018	6:50:00 p. m.	102	25,05
12/10/2018	7:00:00 p. m.	31,7	7,78
12/10/2018	7:10:00 p. m.	107,65	26,44
12/10/2018	7:20:00 p. m.	79,78	19,59
12/10/2018	7:30:00 p. m.	88,26	21,67
12/10/2018	7:40:00 p. m.	56,63	13,91
12/10/2018	7:50:00 p. m.	123,63	30,36
12/10/2018	8:00:00 p. m.	40,13	9,86
12/10/2018	8:10:00 p. m.	107,86	26,49
12/10/2018	8:20:00 p. m.	-7,81	-1,92
12/10/2018	8:30:00 p. m.	108,04	26,53
12/10/2018	8:40:00 p. m.	90,01	22,10
12/10/2018	8:50:00 p. m.	119,07	29,24
12/10/2018	9:00:00 p. m.	89,53	21,99
12/10/2018	9:10:00 p. m.	94,71	23,26
12/10/2018	9:20:00 p. m.	56,17	13,79
12/10/2018	9:30:00 p. m.	97,84	24,03
12/10/2018	9:40:00 p. m.	-3,87	-0,95
12/10/2018	9:50:00 p. m.	106,36	26,12
12/10/2018	10:00:00 p. m.	91,43	22,45
12/10/2018	10:10:00 p. m.	104,14	25,57
12/10/2018	10:20:00 p. m.	60,44	14,84
12/10/2018	10:30:00 p. m.	116,38	28,58
12/10/2018	10:40:00 p. m.	50,82	12,48
12/10/2018	10:50:00 p. m.	120,2	29,52

Fecha	Hora	Carga térmica Chiller A kW	Eff del Chille A %
12/10/2018	11:00:00 p. m.	63,53	15,60
12/10/2018	11:10:00 p. m.	104,04	25,55
12/10/2018	11:20:00 p. m.	109,59	26,91
12/10/2018	11:30:00 p. m.	114,83	28,20
12/10/2018	11:40:00 p. m.	57,93	14,23
12/10/2018	11:50:00 p. m.	119,04	29,23
13/10/2018	12:00:00 a. m.	75,33	18,50
13/10/2018	12:10:00 a. m.	95,3	23,40
13/10/2018	12:20:00 a. m.	116,9	28,71
13/10/2018	12:30:00 a. m.	98,83	24,27
13/10/2018	12:40:00 a. m.	107,13	26,31
13/10/2018	12:50:00 a. m.	109,31	26,84
13/10/2018	1:00:00 a. m.	78,01	19,16
13/10/2018	1:10:00 a. m.	110,15	27,05
13/10/2018	1:20:00 a. m.	129,97	31,92
13/10/2018	1:30:00 a. m.	7,38	1,81
13/10/2018	1:40:00 a. m.	90,96	22,34
13/10/2018	1:50:00 a. m.	125,41	30,80
13/10/2018	2:00:00 a. m.	5,58	1,37
13/10/2018	2:10:00 a. m.	81,1	19,92
13/10/2018	2:20:00 a. m.	121,27	29,78
13/10/2018	2:30:00 a. m.	1,29	0,32
13/10/2018	2:40:00 a. m.	109,71	26,94
13/10/2018	2:50:00 a. m.	113,92	27,98
13/10/2018	3:00:00 a. m.	16,1	3,95
13/10/2018	3:10:00 a. m.	81,46	20,00
13/10/2018	3:20:00 a. m.	116,83	28,69
13/10/2018	3:30:00 a. m.	101,21	24,86
13/10/2018	3:40:00 a. m.	92,39	22,69
13/10/2018	3:50:00 a. m.	119,38	29,32

Fecha	Hora	Carga térmica Chiller A kW	Eff del Chille A %
13/10/2018	4:00:00 a. m.	12,41	3,05
13/10/2018	4:10:00 a. m.	86,86	21,33
13/10/2018	4:20:00 a. m.	120,51	29,59
13/10/2018	4:30:00 a. m.	14,09	3,46
13/10/2018	4:40:00 a. m.	85,83	21,08
13/10/2018	4:50:00 a. m.	107,69	26,45
13/10/2018	5:00:00 a. m.	92,65	22,75
13/10/2018	5:10:00 a. m.	56,64	13,91
13/10/2018	5:20:00 a. m.	112,84	27,71
13/10/2018	5:30:00 a. m.	13,34	3,28
13/10/2018	5:40:00 a. m.	72,65	17,84
13/10/2018	5:50:00 a. m.	101,24	24,86
13/10/2018	6:00:00 a. m.	66,85	16,42
13/10/2018	6:10:00 a. m.	34,06	8,36
13/10/2018	6:20:00 a. m.	121,91	29,94
13/10/2018	6:30:00 a. m.	22,5	5,53
13/10/2018	6:40:00 a. m.	35,72	8,77
13/10/2018	6:50:00 a. m.	-3,6	-0,88
13/10/2018	7:00:00 a. m.	92,7	22,77
13/10/2018	7:10:00 a. m.	95,51	23,46
13/10/2018	7:20:00 a. m.	18,23	4,48
13/10/2018	7:30:00 a. m.	95,22	23,38
13/10/2018	7:40:00 a. m.	77,33	18,99
13/10/2018	7:50:00 a. m.	103,7	25,47
13/10/2018	8:00:00 a. m.	73,77	18,12
13/10/2018	8:10:00 a. m.	76,87	18,88
13/10/2018	8:20:00 a. m.	-3,61	-0,89
13/10/2018	8:30:00 a. m.	97,42	23,92
13/10/2018	8:40:00 a. m.	99,19	24,36
13/10/2018	8:50:00 a. m.	120,78	29,66
13/10/2018	9:00:00 a. m.	72,93	17,91

Fuente: elaboración propia.

Apéndice C: Diferencia de temperatura para carga de enfriamiento (DTCE) para cálculo de carga de paredes al sol, 1 °F.

Latitud norte, orientación de pared	Hora solar, h																								Hora de la DTCE máxima	DTCE mínima	DTCE máxima	Diferencia de DTCE
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
<b>Paredes grupo A</b>																												
N	14	14	14	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	2	10	14	4
NE	19	19	19	18	17	17	16	15	15	15	15	15	16	16	17	18	18	18	19	19	20	20	20	20	22	15	20	5
E	24	24	23	23	22	21	20	19	19	18	19	19	20	21	22	23	24	24	25	25	25	25	25	25	22	18	25	7
SE	24	23	23	22	21	20	20	19	18	18	18	18	18	19	20	21	22	23	23	24	24	24	24	22	18	24	6	
S	20	20	19	19	18	18	17	16	16	15	14	14	14	14	14	15	16	17	18	19	19	20	20	23	14	20	6	
SW	25	25	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	17	17	17	17	18	19	20	22	23	24	25	24	17	25	8	
W	27	27	26	26	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	18	18	18	19	20	22	23	25	26	1	18	27	9	
NW	21	21	21	20	20	19	19	18	17	16	16	16	15	15	14	14	15	15	16	17	18	19	20	1	14	21	7	
<b>Paredes grupo B</b>																												
N	15	14	14	13	12	11	11	10	9	9	9	8	8	9	9	10	11	12	13	14	14	15	15	24	8	15	7	
NE	19	18	17	16	15	14	13	12	12	13	14	15	16	17	18	19	19	20	20	21	21	21	20	21	12	21	9	
E	23	22	21	20	18	17	16	15	15	15	17	19	21	22	24	25	26	26	27	27	26	26	25	20	15	27	12	
SE	23	22	21	20	18	17	16	15	14	14	15	16	18	20	21	23	24	25	26	26	26	26	25	23	14	26	12	
S	21	20	19	18	17	15	14	13	12	11	11	11	11	12	14	15	17	19	20	21	22	22	22	21	11	22	11	
SW	27	26	25	24	22	21	19	18	16	15	14	14	13	13	14	15	17	20	22	25	27	28	28	24	13	28	15	
W	28	28	27	26	24	23	21	19	18	17	16	15	14	14	14	15	17	19	22	25	27	29	30	24	14	30	16	
NW	23	22	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	12	11	12	13	15	17	19	21	22	23	23	24	11	23	12	
<b>Paredes grupo C</b>																												
N	15	14	13	12	11	10	9	8	8	7	7	8	8	9	10	12	13	14	15	16	17	17	16	22	7	17	10	
NE	19	17	16	14	13	11	10	10	11	13	15	17	19	20	21	22	23	23	23	23	22	21	20	18	10	23	13	
E	22	21	19	17	15	14	12	12	14	16	19	22	25	27	29	29	30	30	30	29	28	27	26	19	12	30	18	
SE	22	21	19	17	15	14	12	12	13	16	19	22	24	26	28	29	29	29	29	29	28	27	26	20	9	29	17	
S	21	19	18	16	15	13	12	10	9	9	9	10	11	14	17	20	22	24	25	26	25	24	22	20	9	26	17	
SW	29	27	25	22	20	18	16	15	13	12	11	11	11	13	15	18	22	26	29	32	33	33	32	22	11	33	22	
W	31	29	27	25	22	20	18	16	14	13	12	12	12	13	14	16	20	24	29	32	35	35	33	22	12	35	23	
NW	25	23	21	20	18	16	14	13	11	10	10	10	10	11	12	13	15	18	22	25	27	27	26	22	10	27	17	
<b>Paredes grupo D</b>																												
N	15	13	12	10	9	7	6	6	6	6	6	7	8	8	10	12	13	15	17	18	19	19	18	21	6	19	13	
NE	17	15	13	11	10	8	7	8	10	14	17	20	22	23	23	24	24	25	25	24	23	22	20	19	7	25	18	
E	19	17	15	13	11	9	8	9	12	17	22	27	30	32	33	33	32	32	31	30	28	26	24	16	8	33	25	
SE	20	17	15	13	11	10	8	8	10	13	17	22	26	29	31	32	32	32	31	30	28	26	24	17	8	32	24	
S	19	17	15	13	11	9	8	7	6	6	7	9	12	16	20	24	27	29	29	29	27	26	24	19	6	29	23	
SW	28	25	22	19	16	14	12	10	9	8	8	8	10	12	16	21	27	32	36	38	38	37	34	21	8	38	30	
W	31	27	24	21	18	15	13	11	10	9	9	9	10	11	14	18	24	30	36	40	41	40	38	21	9	41	32	
NW	25	22	19	17	14	12	10	9	8	7	7	8	9	10	12	14	18	22	27	31	32	32	30	22	7	32	25	
<b>Paredes grupo E</b>																												
N	12	10	8	7	5	4	3	4	5	6	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	20	16	20	3	22	19	
NE	13	11	9	7	6	4	5	9	15	20	24	25	25	26	26	26	26	26	25	24	22	19	17	16	4	26	22	
E	14	12	10	8	6	5	6	11	18	26	33	36	38	37	36	34	33	32	30	28	25	22	20	13	5	38	33	
SE	15	12	10	8	7	5	5	8	12	19	25	31	35	37	37	36	34	33	31	28	26	23	20	15	5	37	32	
S	15	12	10	8	7	5	4	3	4	5	9	13	19	24	29	32	34	33	31	29	26	23	20	17	3	34	31	
SW	22	18	15	12	10	8	6	5	5	6	7	9	12	18	24	32	38	43	45	44	40	35	30	19	5	45	40	
W	26	21	17	14	11	9	7	6	6	6	7	9	11	14	20	27	36	43	49	49	45	40	34	20	6	49	43	
NW	20	17	14	11	9	7	6	5	5	5	6	8	10	13	16	20	26	32	37	38	36	32	28	20	5	38	33	
<b>Paredes grupo F</b>																												
N	8	6	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	23	20	16	13	19	1	24	23	
NE	9	7	5	3	2	1	5	14	23	28	30	29	28	27	27	27	27	26	24	22	19	16	13	11	1	30	29	
E	10	7	6	4	3	2	6	17	28	38	44	45	43	39	36	34	32	30	27	24	21	17	15	12	2	45	43	
SE	10	7	6	4	3	2	4	10	19	28	36	41	43	42	39	36	34	31	28	25	21	18	15	13	2	43	41	
S	10	8	6	4	3	2	1	1	3	7	13	20	27	34	38	39	38	35	31	26	22	18	15	16	1	39	38	
SW	15	11	9	6	5	3	2	2	4	5	8	11	17	26	35	44	50	53	52	45	37	28	23	18	2	53	51	
W	17	13	10	7	5	4	3	3	4	6	8	11	14	20	28	39	49	57	60	54	43	34	27	19	3	60	57	
NW	14	10	8	6	4	3	2	2	3	5	8	10	13	15	21	27	35	42	46	43	35	28	22	19	2	46	44	
<b>Paredes grupo G</b>																												
N	3	2	1	0	-1	2	7	8	9	12	15	18	21	23	24	24	25	26	22	15	11	9	7	18	-1	26	27	
NE	3	2	1	0	-1	9	27	36	39	35	30	26	26	27	27	26	25	22	18	14	11	9	7	9	-1	39	40	
E	4	2	1	0	-1	11	31	47	54	55	50	40	33	31	30	29	27	24	19	15	12	10	8	10	-1	55	56	
SE	4	2	1	0	-1	5	18	32	42	49	51	48	42	36	32	30	27	24	19	15	12	10	8	11	-1	51	52	
S	4	2	1	0	-1	0	1	5	12	22	31	39	45	46	43	37	31	25	20	15	12	10	8	14	-1	46	47	
SW	5	4	3	1	0	0	2	5	8	12	16	26	38	50	59	63	61	52	37	24	17	13	10	16	0	63	63	
W	6	5	3	2	1	1	2	5	8	11	15	19	27	41	56	67	72	67	48	29	20	15	11	17	1	72	71	
NW	5	3	2	1	0	0	2	5	8	11	15	18	21	27	37	47	55	55	41	25	17	13	10	18	0	55	55	

Fuente: Pita (2005).

**Apéndice D: Diferencias de temperatura para cargas de enfriamiento (DTCE) para calcular cargas debidas a techos planos**

Orden No.	Descripción de la construcción	Hora Peso, lb/ft <sup>3</sup>	Valor de U, BTU/h Ft <sup>2</sup> ·°F	Hora solar, h																							
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
				<b>Sin cielo raso suspendido</b>																							
1.	Lámina de metal con aislamiento de 1 o 2 in (8)	7	0.213 (0.124)	1	-2	-3	-3	-5	-3	6	19	34	49	61	71	78	79	77	70	59	45	30	18	12	8	5	3
2.	Madera de 1 in con aislamiento de 1 in	8	0.170	6	3	0	-1	-3	-3	-2	4	14	27	39	52	62	70	74	74	70	62	51	38	28	20	14	9
3.	Concreto ligero de 4 in	18	0.213	9	5	2	0	-2	-3	-3	1	9	20	32	44	55	64	70	73	71	66	57	45	34	25	18	13
4.	Concreto pesado de 1 a 2 in con aislamiento de 2 in	29	0.206 (0.122)	12	8	5	3	0	-1	-1	3	11	20	30	41	51	59	65	66	66	62	54	45	36	29	22	17
5.	Madera de 1 in con aislamiento de 2 in	19	0.109	3	0	-3	-4	-5	-7	-6	-3	5	16	27	39	49	57	63	64	62	57	48	37	26	18	11	7
6.	Concreto ligero de 6 in	24	0.158	22	17	13	9	6	3	1	1	3	7	15	23	33	43	51	58	62	64	62	57	50	42	35	28
7.	Madera de 2.5 in con con aislamiento de 1 in	13	0.130	29	24	20	16	13	10	7	6	6	9	13	20	27	34	42	48	53	55	56	54	49	44	39	34
8.	Concreto ligero de 8 in	31	0.126	35	30	26	22	18	14	11	9	7	7	9	13	19	25	33	39	46	50	53	54	53	49	45	40
9.	Concreto pesado de 4 in con aislamiento de 1 o 2 in	52 (52)	0.200 (0.120)	25	22	18	15	12	9	8	8	10	14	20	26	33	40	46	50	53	53	52	48	43	38	34	30
10.	Madera de 2.5 in con aislamiento de 2 in	13	0.093	30	26	23	19	16	13	10	9	8	9	13	17	23	29	36	41	46	49	51	50	47	43	39	35
11.	Sistema de terrazas de techo	75	0.106	34	31	28	25	22	19	16	14	13	13	15	18	22	26	31	36	40	44	45	46	45	43	40	37
12.	Concreto pesado de 6 in con aislamiento de 1 o 2 in	75 (75)	0.192 (0.117)	31	28	25	22	20	17	15	14	14	16	18	22	26	31	36	40	43	45	45	44	42	40	37	34
13.	Madera de 4 in con aislamiento de 1 o 2 in	17 (18)	0.106 (0.078)	38	36	33	30	28	25	22	20	18	17	16	17	18	21	24	28	32	36	39	41	43	43	42	40
				<b>Con cielo raso suspendido</b>																							
1.	Lámina de acero con aislamiento de 1 o 2 in (10)	9	0.134 (0.092)	2	0	-2	-3	-4	-4	-1	9	23	37	50	62	71	77	78	74	67	56	42	28	18	12	8	5
2.	Madera de 1 in con aislamiento de 1 in	10	0.115	20	15	11	8	5	3	2	3	7	13	21	30	40	48	55	60	62	58	51	44	37	30	37	25
3.	Concreto ligero de 4 in	20	0.134	19	14	10	7	4	2	0	0	4	10	19	29	39	48	56	62	65	64	61	54	46	38	30	24
4.	Concreto pesado de 2 in con aislamiento de 1 in	30	0.131	28	25	23	20	17	15	13	13	14	16	20	25	30	35	39	43	46	47	46	44	41	38	35	32
5.	Madera de 1 in con aislamiento de 2 in	10	0.083	25	20	16	13	10	7	5	5	7	12	18	25	33	41	48	53	57	57	56	52	46	40	34	29
6.	Concreto ligero de 6 in	26	0.109	32	28	23	19	16	13	10	8	7	8	11	16	22	29	36	42	48	52	54	54	51	47	42	37
7.	Madera de 2.5 in con aislamiento de 1 in	15	0.096	34	31	29	26	23	21	18	16	15	15	16	18	21	25	30	34	38	41	43	44	44	42	40	37
8.	Concreto ligero de 8 in	33	0.093	39	36	33	29	26	23	20	18	15	14	14	15	17	20	25	29	34	38	42	45	46	45	44	42
9.	Concreto pesado de 4 in con aislamiento de 1 o 2 in	53 (54)	0.128 (0.090)	30	29	27	26	24	22	21	20	20	21	22	24	27	29	32	34	36	38	38	38	37	36	34	33
10.	Madera de 2.5 in con aislamiento de 2 in	15	0.072	35	33	30	28	26	24	22	20	18	18	18	20	22	25	28	32	35	38	40	41	41	40	39	37
11.	Sistema de terrazas de techo	77	0.082	30	29	28	27	26	25	24	23	22	22	22	23	23	25	26	28	29	31	32	33	33	33	33	32
12.	Concreto pesado con aislamiento de 1 a 2 in	77 (77)	0.125 (0.088)	29	28	27	26	25	24	23	22	21	21	22	23	25	26	28	30	32	33	34	34	34	33	32	31
13.	Madera de 4 in con aislamiento de 1 o 2 in	19 (20)	0.082 (0.064)	35	34	33	32	31	29	27	26	24	23	22	21	22	22	24	25	27	30	32	34	35	36	37	36

Fuente: Pita (2005).

## Apéndice E: Descripción de grupos de construcción de paredes

Grupo No.	Descripción de la construcción	Peso, lb/ft <sup>2</sup>	Valor de U, BTU/(h-ft <sup>2</sup> -°F)	Capacidad calorífica, BTU/(ft <sup>2</sup> -°F)
<b>Ladrillo de vista de 4 in + (Ladrillo)</b>				
	C Espacio de aire + ladrillo de vista de 3 in	83	0.358	18.3
	D Ladrillo común de 4 in	90	0.415	18.4
	C Aislamiento de 1 in o espacio de aire + ladrillo común de 4 in	90	0.174-0.301	18.4
	B Aislamiento de 2 in + ladrillo común de 4 in	88	0.111	18.5
	B Ladrillo común de 8 in	130	0.302	26.4
	A Aislamiento o espacio de aire + ladrillo común de 8 in	130	0.154-0.243	26.4
<b>Ladrillo de vista de 4 in + (Concreto pesado)</b>				
	C Espacio de aire + concreto de 2 in	94	0.350	19.7
	B Aislamiento de 2 in + concreto de 4 in	97	0.116	19.8
	A Espacio de aire o aislamiento + concreto de 8 in o más	143-190	0.110-0.112	29.1-38.4
<b>Ladrillo de vista de 4 in + (bloque de concreto ligero o pesado)</b>				
	E Bloque de 4 in	62	0.319	12.9
	D Espacio de aire o aislamiento + bloque de 4 in	62	0.153-0.246	12.9
	D Bloque de 8 in	70	0.274	15.1
	C Espacio de aire o aislamiento de 1 in + bloque de 6 u 8 in	73-89	0.221-0.275	15.5-18.5
	B Aislamiento de 2 in + bloque de 8 in	89	0.096-0.107	15.5-18.6
<b>Ladrillo de vista de 4 in + (azulejo de barro)</b>				
	D Azulejo de 4 in	71	0.381	15.1
	D Espacio de aire + azulejo de 4 in	71	0.281	15.1
	C Aislamiento + azulejo de 4 in	71	0.169	15.1
	C Azulejo de 8 in	96	0.275	19.7
	B Espacio de aire o aislamiento de 1 in + azulejo de 8 in	96	0.142-0.221	19.7
	A Aislamiento de 2 in + azulejo de 8 in	97	0.097	19.8
<b>Pared de concreto pesado + (acabado)</b>				
	E Concreto de 4 in	63	0.585	12.5
	D Concreto de 4 in + aislamiento de 1 o 2 in	63	0.119-0.200	12.5
	C Aislamiento de 2 in + concreto de 4 in	63	0.119	12.7
	C Concreto de 8 in	109	0.490	21.9
	B concreto de 8 in + aislamiento de 1 o 2 in	110	0.115-0.187	22.0
	A Aislamiento de 2 in + concreto de 8 in	110	0.115	21.9
	E Concreto de 12 in	156	0.421	31.2
	A Concreto de 12 in + aislamiento	156	0.113	31.3
<b>Bloque de concreto ligero y pesado + (acabado)</b>				
	F Bloque de 4 in + espacio de aire o aislamiento	29-36	0.161-0.263	5.7-7.2
	E Aislamiento de 2 in + bloque de 4 in	29-37	0.105-0.114	5.8-7.3
	E Bloque de 8 in	41-57	0.294-0.402	6.3-11.3
	D Concreto de 8 in + espacio de aire o aislamiento	41-57	0.149-0.173	8.3-11.3
<b>Azulejo de barro + (acabado)</b>				
	F Azulejo de 4 in	39	0.419	7.8
	F Azulejo de 4 in + espacio de aire	39	0.303	7.8
	E Azulejo de 4 in + aislamiento de 1 in	39	0.175	7.9
	D Aislamiento de 2 in + azulejo de 4 in	40	0.110	7.9
	D Azulejo de 8 in	63	0.296	12.5
	C Azulejo de 8 in + espacio de aire o aislamiento de 1 in	63	0.151-0.231	12.6
	B Aislamiento de 2 in + azulejo de 8 in	63	0.099	12.6
<b>Pared de lámina (cortina metálica)</b>				
	G Con o sin espacio de aire + 1, 2 o 3 in de aislamiento	5-6	0.091-0.230	0.7
<b>Pared de bastidor</b>				
	G Aislamiento de 1 a 3 in	16	0.081-0.178	3.2

Fuente: Pita (2005).

**Apéndice F: Corrección de la DTCE para la DTCE por latitud y mes, para aplicar a paredes y techos, latitud norte. °F**

Latitud	Mes	N	NNE NNW	NE NW	ENE WNW	E W	ESE WSW	SE SW	SSE SSW	S	HORA
0	Dic	-3	-5	-5	-5	-2	-0	3	6	9	-1
	Ene/Nov	-3	-5	-4	-4	-1	-0	2	4	7	-1
	Feb/Oct	-3	-2	-2	-2	-1	-1	0	-1	0	0
	Mar/Sept	-3	0	1	-1	-1	-3	-3	-5	-8	-1
	Abr/Ago	5	4	3	0	-2	-5	-6	-8	-8	-2
	May/Jul	10	7	5	0	-3	-7	-8	-9	-8	-4
	Jun	12	9	5	0	-3	-7	-9	-10	-8	-5
8	Dic	-4	-6	-6	-6	-3	0	4	8	12	-5
	Ene/Nov	-3	-5	-6	-5	-2	0	3	6	10	-4
	Feb/Oct	-3	-4	-3	-3	-1	-1	1	2	4	-1
	Mar/Sept	-3	-2	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-4	0
	Abr/Ago	2	2	2	0	-1	-4	-5	-7	-7	-1
	May/Jul	7	5	4	0	-2	-5	-7	-9	-7	-2
	Jun	9	6	4	0	-2	-6	-8	-9	-7	-2
16	Dic	-4	-6	-8	-8	-4	-1	4	9	13	-9
	Ene/Nov	-4	-6	-7	-7	-4	-1	4	8	12	-7
	Feb/Oct	-3	-5	-5	-4	-2	0	2	5	7	-4
	Mar/Sept	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	0	-1
	Abr/Ago	-1	0	-1	-1	-1	-3	-3	-5	-6	0
	May/Jul	4	3	3	0	-1	-4	-5	-7	-7	0
	Jun	6	4	4	1	-1	-4	-6	-8	-7	0
24	Dic	-5	-7	-9	-10	-7	-3	3	9	13	-13
	Ene/Nov	-4	-6	-8	-9	-6	-3	3	9	13	-11
	Feb/Oct	-4	-5	-6	-6	-3	-1	3	7	10	-7
	Mar/Sept	-3	-4	-3	-3	-1	-1	1	2	4	-3
	Abr/Ago	-2	-1	0	-1	-1	-2	-1	-2	-3	0
	May/Jul	1	2	2	0	0	-3	-3	-5	-6	1
	Jun	3	3	3	1	0	-3	-4	-6	-6	1
32	Dic	-5	-7	-10	-11	-8	-5	2	9	12	-17
	Ene/Nov	-5	-7	-9	-11	-8	-4	2	9	12	-15
	Feb/Oct	-4	-6	-7	-8	-4	-2	4	8	11	-10
	Mar/Sept	-3	-4	-4	-4	-2	-1	3	5	7	-5
	Abr/Ago	-2	-2	-1	-2	0	-1	0	1	1	-1
	May/Jul	1	1	1	0	0	-1	-1	-3	-3	1
	Jun	1	2	2	1	0	-2	-2	-4	-4	2
40	Dic	-6	-8	-10	-13	-10	-7	0	7	10	-21
	Ene/Nov	-5	-7	-10	-12	-9	-6	1	8	11	-19
	Feb/Oct	-5	-7	-8	-9	-6	-3	3	8	12	-14
	Mar/Sept	-4	-5	-5	-6	-3	-1	4	7	10	-4
	Abr/Ago	-2	-3	-2	-2	0	0	2	3	4	-3
	May/Jul	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Jun	1	1	1	0	1	0	0	-1	-1	1
48	Dic	-6	-8	-11	-14	-13	-10	-3	2	6	-25
	Ene/Nov	-6	-8	-11	-13	-11	-8	-1	5	8	-24
	Feb/Oct	-5	-7	-10	-11	-8	-5	1	8	11	-18
	Mar/Sept	-4	-6	-6	-7	-4	-1	4	8	11	-11
	Abr/Ago	-3	-3	-3	-3	-1	0	4	6	7	-5
	May/Jul	0	-1	0	0	1	1	3	3	4	0
	Jun	1	1	2	1	2	1	2	2	3	2
56	Dic	-7	-9	-12	-16	-16	-14	-9	-5	-3	-28
	Ene/Nov	-6	-8	-11	-15	-14	-12	-6	-1	2	-27
	Feb/Oct	-6	-8	-10	-12	-10	-7	0	6	9	-22
	Mar/Sept	-5	-6	-7	-8	-5	-2	4	8	12	-15
	Abr/Ago	-3	-4	-4	-4	-1	1	5	7	9	-8
	May/Jul	0	0	0	0	2	2	5	6	7	-2
	Jun	2	1	2	1	3	3	4	5	6	1

Fuente: Pita (2005).

## Apéndice G: Tasas de ganancia de calor debida a los ocupantes del recinto

### acondicionado

TABLA 6.11. TASAS DE GANANCIA DE CALOR DEBIDA A LOS OCUPANTES DEL RECINTO ACONDICIONADO<sup>a</sup>

Actividad	Aplicaciones típicas	Calor total por adulto masculino			calor total ajustado <sup>b</sup>			Calor sensible			Calor latente		
		Watts	Btuh	kcal/h	Watts	Btuh	kcal/h	Watts	Btuh	kcal/h	Watts	Btuh	kcal/h
Sentado en reposo	Teatro, cine	115	400	100	100	350	90	60	210	55	40	140	30
Sentado, trabajo muy ligero, escritura	Oficinas, hoteles, apartamentos	140	480	120	120	420	105	65	230	55	55	190	50
Sentado, comiendo	Restaurante	150	520	130	170	580 <sup>c</sup>	145	75	255	60	95	325	80
Sentado, trabajo ligero, mecanografía	Oficinas, hoteles, apartamentos	185	640	160	150	510	130	75	255	60	75	255	65
Parado, trabajo ligero o camina despacio	Tiendas minoristas, bancos	235	800	200	185	640	160	90	315	80	95	325	80
Trabajo ligero de banco	Fábricas	255	880	220	230	780	195	100	345	90	130	435	110
Caminando 3 mph trabajo ligero	Fábricas	305	1040	260	305	1040	260	100	345	90	205	695	170
Trabajo con máquinas pesadas	Fábricas	350	1200	300	280	960	240	100	345	90	180	615	150
Bóliche		400	1360	340	375	1280	320	120	405	100	255	875	220
Baile moderado	Salón de baile	400	1360	340	375	1280	320	120	405	100	255	875	220
Trabajo pesado, trabajo con máquinas pesadas, levantar pesas	Fábricas	470	1600	400	470	1600	400	165	565	140	300	1035	260
Trabajo pesado, ejercicios atléticos	Gimnasios	585	2000	500	525	1800	450	185	635	160	340	1165	290

<sup>a</sup> Nota: Los valores de la tabla se basan en una temperatura de bulbo seco de 78°F. Para 80°F BS, el calor total queda igual, pero el valor del calor sensible se debe disminuir en aproximadamente 8% y los valores del calor latente se deben aumentar proporcionalmente.

<sup>b</sup> La ganancia total ajustada de calor se basa en el porcentaje normal de hombres, mujeres y niños en la aplicación que se menciona, bajo la hipótesis de que la ganancia por mujer adulta representa un 85% de la del hombre adulto, y la de un niño el 75%.

<sup>c</sup> Calor total ajustado para comer en un restaurant, que incluye 60 BTU/h del alimento por individuo (30 BTU sensibles y 30 BTU latentes).

<sup>d</sup> Para el bóliche, se considera una persona por pista tirando y las demás sentadas (400 BTU/h) o paradas y caminando lentamente (970 BTU/h)

Reproducido con permiso del 1985 *Fundamentals*. ASHRAE Handbook & Product Directory.

Fuente: Pita (2005).

### Apéndice H Factor de carga sensible para cargas de enfriamiento debido a personas

Horas totales en el recinto	Horas después de cada entrada al recinto																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	0.49	0.58	0.17	0.13	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.49	0.59	0.66	0.71	0.27	0.21	0.16	0.14	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01
6	0.50	0.60	0.67	0.72	0.76	0.79	0.34	0.26	0.21	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
8	0.51	0.61	0.67	0.72	0.76	0.80	0.82	0.84	0.38	0.30	0.25	0.21	0.18	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04
10	0.53	0.62	0.69	0.74	0.77	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.42	0.34	0.28	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06
12	0.55	0.64	0.70	0.75	0.79	0.81	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.45	0.36	0.30	0.25	0.21	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08
14	0.58	0.66	0.72	0.77	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.47	0.38	0.31	0.26	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11
16	0.62	0.70	0.75	0.79	0.82	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.49	0.39	0.33	0.28	0.24	0.20	0.18	0.16
18	0.66	0.74	0.79	0.82	0.85	0.87	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.50	0.40	0.33	0.28	0.24	0.21

Fuente: Pita (2005).

**Apéndice I: Tasas máximas recomendable de infiltración para diseño a través de  
ventanas y puertas exteriores**

**TABLA 3.3.** TASAS MÁXIMAS RECOMENDADAS DE INFILTRACIÓN PARA DISEÑO A TRAVÉS DE VENTANAS Y PUERTAS EXTERIORES

<b>Componente</b>	<b>Tasa de infiltración</b>
Ventanas	0.75 CFM /ft de fisura
Puertas	1.0 CFM /ft de fisura

Fuente: Pita (2005).

**Apéndice J: Coeficiente de sombreado para vidrios con o sin sombreado interior por persianas venecianas enrollables**

**TABLA 6.7. COEFICIENTES DE SOMBREADO PARA VIDRIO CON O SIN SOMBREADO INTERIOR POR PERSIANAS VENECIANAS ENROLLABLES**

	Tipo de vidrio	Espesor nominal de cada vidrio claro <sup>a</sup>	Transmisión solar <sup>b</sup>	Sin sombreado interior $h_o = 4.0$	Tipo de sombreado interior				
					Persianas venecianas		Persianas enrollables		
					Medio	Claro	Opacas	Translúcidas	
				Oscuro	Claro	Claro			
VIDRIO SENCILLO	Sencillo	3/32 a 1/4	0.87-0.80	1.00					
	Claro	1/4 a 1/2	0.80-0.71	0.94					
	Claro	3/8	0.72	0.90	0.64	0.55	0.59	0.25	0.39
	Claro	1/2	0.67	0.87					
	Claro con figuras	1/8 a 9/32	0.87-0.79	0.83					
	Absorbente de calor, con figuras <sup>c</sup>	1/8		0.83					
	Absorbente de calor <sup>c</sup>	3/16 a 1/4	0.46	0.69					
	Absorbente de calor, con figuras	3/16 a 1/4		0.69	0.57	0.53	0.45	0.30	0.36
	Coloreado	1/8 a 7/32	0.59-0.45	0.69					
	Absorbente de calor, o con figuras		0.44-0.30	0.60	0.54	0.52	0.40	0.28	0.32
	Absorbente de calor <sup>c</sup>	3/8	0.34	0.60					
	Absorbente de calor, o con figuras		0.44-0.30	0.53	0.42	0.40	0.36	0.28	0.31
	Vidrio recubierto reflector	1/2	0.24	0.30	0.25	0.23			
			0.40	0.33	0.29				
			0.50	0.42	0.38				
			0.60	0.50	0.44				
VIDRIO AISLANTE	Doble <sup>d</sup>	3/32, 1/8	0.71 <sup>e</sup>	0.88	0.57	0.51	0.60	0.25	0.37
	Claro afuera								
	Claro adentro	1/4	0.61 <sup>e</sup>	0.81					
	Claro afuera								
	Claro adentro	1/4	0.36 <sup>e</sup>	0.55					
	Absorbente de calor afuera								
	Claro adentro			0.20	0.39	0.36	0.40	0.22	0.30
Vidrio recubierto reflector			0.30	0.19	0.18				
			0.40	0.27	0.26				
				0.34	0.33				
Triple	Claro	1/4		0.71					
	Claro	1/8		0.80					

Fuente: Pita (2005).

## Apéndice K: Requisitos de ventilación para ocupantes

TABLA 6.15. REQUISITOS DE VENTILACIÓN PARA OCUPANTES

	Personas estimadas por 100 ft <sup>2</sup> de área de piso	Aire de ventilación necesario por persona	
		FCM Mínimos	FCM Recomendados
<b>RESIDENCIAL</b>			
Viviendas de una unidad			
Salas y recámaras	5	5	7-10
Cocinas, baños	—	20	30-50
Viviendas de unidades múltiples			
Salas y recámaras	7	5	7-10
Cocinas, baños	—	20	30-50
<b>COMERCIAL</b>			
Sanitarios públicos	100	15	20-25
Comercios			
Pisos de venta (sótanos y plantas bajas)	30	7	10-15
Pisos de venta (pisos superiores)	20	7	10-15
Comedores	70	10	15-20
Cocinas	20	30	35
Cafeterías	100	30	35
Hoteles, moteles			
Recámaras	5	7	10-15
Salas	20	10	15-20
Baños	—	20	30-50
Salas de belleza	50	25	30-35
Peluquerías	25	7	10-15
Estacionamientos	—	1.5	2-3
Teatros			
Vestíbulos	150	20	25-30
Auditorios (no se fuma)	150	5	5-10
Auditorios (permitido fumar)	150	10	10-20
Boliches, zona de asientos	70	15	20-25
Gimnasios y arenas			
Pisos de ejercicios	70	20	25-30
Vestidores	20	30	40-50
Áreas de público	150	20	25-30
Piscinas	25	15	20-25
Oficinas			
Espacio de oficinas en general	10	15	15-25
Salas de juntas	60	25	30-40
<b>INSTITUCIONAL</b>			
Escuelas			
Salones de clase	50	10	10-15
Auditorios	150	5	5-7.5
Gimnasios	70	20	25-30
Bibliotecas	20	7	10-12
Vestidores	20	30	40-50
Hospitales			
Recámaras sencillas y dobles	15	10	15-20
Guarderías	20	10	15-20
Salas de cirugía, salas de parto	—	20	—

Fuente: Pita (2005).

Apéndice L: Factos solar (s. f.) a través del vidrio (BTU/hr\*pie de área)

TABLA 4 - FACTOR SOLAR (S.F.) A TRAVÉS DEL VIDRIO (BTU/hr\*pie² de área)

		JUNIO					JULIO					AGOSTO					SEPTIEMBRE					MAYO					MARZO																
DIREC	08:00	10:00	12:00	02:00	04:00	06:00	DIREC	08:00	10:00	12:00	02:00	04:00	06:00	DIREC	08:00	10:00	12:00	02:00	04:00	06:00	DIREC	08:00	10:00	12:00	02:00	04:00	06:00	DIREC	08:00	10:00	12:00	02:00	04:00	06:00	DIREC	08:00	10:00	12:00	02:00	04:00	06:00		
N	50	44	41	44	50	2	N	39	33	30	33	39	5	N	16	15	14	14	15	16	1	N	11	14	14	14	14	11	N	11	14	14	14	14	11	1	N	103	45	14	14	11	1
NE	153	107	28	14	11	2	NE	148	109	22	14	11	1	NE	130	80	14	14	11	1	1	NE	164	106	14	14	11	E	164	106	14	14	11	1	E	164	106	14	14	11	1		
E	155	98	14	14	11	2	E	158	97	14	14	11	1	E	163	104	14	14	11	1	1	E	127	94	21	14	11	SE	127	94	21	14	11	1	SE	127	94	21	14	11	1		
SE	55	25	14	14	11	2	SE	66	32	14	14	11	1	SE	94	60	14	14	11	1	1	SE	13	24	28	24	13	SE	13	24	28	24	13	1	SE	13	24	28	24	13	1		
SO	11	14	14	14	11	2	SO	11	14	14	14	11	1	SO	11	14	14	14	11	1	1	SO	11	14	14	14	11	SO	11	14	14	14	11	1	SO	11	14	14	14	11	1		
O	8	14	14	14	25	18	O	11	14	14	14	11	1	O	11	14	14	14	11	1	1	O	11	14	14	14	11	O	11	14	14	14	11	1	O	11	14	14	14	11	1		
NO	8	14	28	106	153	55	NO	11	14	22	22	148	42	NO	11	14	14	14	80	130	17	NO	11	14	14	14	11	NO	11	14	14	14	45	103	1	NO	11	14	14	14	45	103	1

		OCTUBRE					FEBRERO					NOVIEMBRE					ENERO					DICIEMBRE												
DIREC	08:00	10:00	12:00	02:00	04:00	06:00	DIREC	08:00	10:00	12:00	02:00	04:00	06:00	DIREC	08:00	10:00	12:00	02:00	04:00	06:00	DIREC	08:00	10:00	12:00	02:00	04:00	06:00	DIREC	08:00	10:00	12:00	02:00	04:00	06:00
N	10	14	14	14	10	0	N	9	13	14	13	9	0	N	9	13	14	13	9	0	N	9	13	14	13	9	0	N	9	13	14	13	9	0
NE	66	28	14	14	10	0	NE	37	13	14	13	9	0	NE	28	13	14	13	9	0	NE	28	13	14	13	9	0	NE	28	13	14	13	9	0
E	155	100	14	14	10	0	E	143	93	14	13	9	0	E	137	91	14	13	9	0	E	137	91	14	13	9	0	E	137	91	14	13	9	0
SE	147	123	46	14	10	0	SE	153	146	70	17	9	0	SE	154	149	79	23	9	0	SE	154	149	79	23	9	0	SE	154	149	79	23	9	0
SO	40	65	73	65	40	0	SO	65	96	106	96	65	0	SO	74	109	120	109	74	0	SO	74	109	120	109	74	0	SO	74	109	120	109	74	0
O	10	14	14	14	100	155	O	9	17	70	146	153	0	O	9	23	79	149	154	0	O	9	23	79	149	154	0	O	9	23	79	149	154	0
NO	10	14	14	14	28	66	NO	9	13	14	13	37	0	NO	9	13	14	13	37	0	NO	9	13	14	13	37	0	NO	9	13	14	13	37	0

REGRESAR

**Apéndice M: Factores de carga de enfriamiento para vidrios sin sombreado interior (se incluye vidrio reflector y absorbente de calor)**

**TABLA 6.8. FACTORES DE CARGA DE ENFRIAMIENTO PARA VIDRIO SIN SOMBRADO INTERIOR (INCLUYE VIDRIO REFLECTOR Y ABSORBENTE DE CALOR)**

Latitud norte, Ventana viando hacia el recinto	Constru- ción del recinto	Hora solar, h																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	L	0.17	0.14	0.11	0.09	0.08	0.33	0.42	0.48	0.56	0.63	0.71	0.76	0.80	0.82	0.82	0.79	0.80	0.84	0.61	0.48	0.38	0.31	0.25	0.20
	M	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.34	0.41	0.46	0.52	0.59	0.65	0.70	0.73	0.75	0.76	0.74	0.75	0.79	0.61	0.50	0.42	0.36	0.31	0.27
	H	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.38	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.69	0.72	0.73	0.72	0.70	0.70	0.74	0.57	0.46	0.39	0.34	0.31	0.28
NE	L	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.23	0.41	0.51	0.51	0.45	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.21	0.36	0.44	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30	0.28	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.08
	H	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.23	0.37	0.44	0.44	0.39	0.34	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10
E	L	0.04	0.04	0.03	0.02	0.19	0.37	0.51	0.57	0.57	0.51	0.42	0.36	0.32	0.29	0.25	0.22	0.19	0.14	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05	
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.18	0.33	0.44	0.50	0.51	0.45	0.39	0.35	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08
	H	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.21	0.34	0.45	0.50	0.49	0.43	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10
SE	L	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.13	0.28	0.43	0.55	0.62	0.63	0.57	0.48	0.42	0.37	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07
	M	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.14	0.26	0.38	0.48	0.54	0.55	0.51	0.45	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
	H	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.17	0.28	0.40	0.49	0.53	0.53	0.48	0.41	0.36	0.33	0.30	0.27	0.24	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12
S	L	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.06	0.09	0.14	0.22	0.34	0.48	0.59	0.65	0.65	0.59	0.50	0.43	0.36	0.28	0.22	0.18	0.15	0.12	0.10
	M	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.08	0.11	0.14	0.21	0.31	0.42	0.52	0.57	0.58	0.53	0.47	0.41	0.36	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14
	H	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.12	0.14	0.17	0.24	0.33	0.43	0.51	0.56	0.55	0.50	0.43	0.38	0.32	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15
SW	L	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.24	0.36	0.49	0.60	0.66	0.58	0.43	0.33	0.27	0.22	0.18	0.14	0.14
	M	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.23	0.33	0.44	0.53	0.58	0.59	0.53	0.41	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.12	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19	0.25	0.34	0.44	0.52	0.56	0.56	0.49	0.37	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17
W	L	0.12	0.10	0.08	0.07	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	0.14	0.20	0.32	0.45	0.57	0.64	0.61	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.19	0.29	0.40	0.50	0.56	0.55	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17	0.17
	H	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.21	0.30	0.40	0.49	0.54	0.52	0.38	0.30	0.24	0.21	0.18	0.16
NW	L	0.11	0.09	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.23	0.33	0.47	0.59	0.60	0.43	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14
	M	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18	0.21	0.30	0.42	0.51	0.53	0.39	0.32	0.26	0.22	0.19	0.16
	H	0.14	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.19	0.22	0.30	0.41	0.50	0.51	0.50	0.36	0.29	0.23	0.20	0.17	0.15
HORA	L	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.07	0.14	0.24	0.36	0.48	0.58	0.66	0.72	0.74	0.73	0.67	0.59	0.47	0.37	0.30	0.24	0.19	0.16	0.13
	M	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.11	0.16	0.24	0.33	0.43	0.52	0.59	0.64	0.67	0.66	0.62	0.55	0.47	0.38	0.32	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.15	0.20	0.27	0.36	0.45	0.52	0.59	0.62	0.64	0.62	0.58	0.51	0.42	0.35	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19

L = construcción ligera: Pared exterior de bastidores, losa de piso de concreto de 2 in, con aprox. 30 lb de material/ft<sup>2</sup> de piso.  
M = Construcción media: Pared exterior de concreto de 4 in, losa de piso de concreto de 4 in, con aprox. 70 lb de material de construcción por ft<sup>2</sup> de piso.  
H = Construcción pesada: Pared exterior de concreto de 6 in, losa de piso de concreto de 6 in, con aprox. 130 lb de material de construcción por ft<sup>2</sup> de piso.

TABLA 6.8. (Continuación)

Latitud norte: Ventana Construcción viendo ción del hacia el recinto	Hora solar, h																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
N	L	0.07	0.05	0.04	0.04	0.05	0.70	0.65	0.65	0.74	0.81	0.87	0.91	0.91	0.88	0.84	0.77	0.80	0.92	0.27	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	
	M	0.08	0.07	0.06	0.06	0.07	0.73	0.66	0.65	0.73	0.80	0.86	0.89	0.89	0.86	0.82	0.75	0.78	0.91	0.24	0.18	0.15	0.13	0.11	0.09	
NE	H	0.09	0.09	0.08	0.07	0.09	0.75	0.67	0.66	0.74	0.80	0.86	0.88	0.85	0.80	0.73	0.76	0.88	0.23	0.17	0.14	0.13	0.11	0.10		
	L	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.55	0.76	0.75	0.60	0.39	0.31	0.28	0.27	0.25	0.23	0.20	0.16	0.12	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	
E	M	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.56	0.76	0.74	0.58	0.37	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.16	0.12	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	
	H	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.57	0.77	0.74	0.58	0.36	0.28	0.26	0.25	0.23	0.21	0.19	0.16	0.11	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	
SE	L	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.45	0.71	0.80	0.77	0.64	0.43	0.29	0.25	0.23	0.20	0.17	0.14	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	
	M	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.47	0.72	0.80	0.76	0.62	0.41	0.27	0.24	0.22	0.20	0.17	0.14	0.11	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	
S	H	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.48	0.72	0.80	0.75	0.61	0.40	0.25	0.22	0.21	0.19	0.16	0.14	0.10	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	
	L	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.29	0.56	0.74	0.82	0.81	0.70	0.52	0.35	0.30	0.26	0.22	0.18	0.13	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	
SW	M	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.30	0.56	0.74	0.81	0.79	0.68	0.49	0.33	0.28	0.25	0.22	0.18	0.13	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	
	H	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.31	0.57	0.74	0.81	0.79	0.67	0.48	0.31	0.27	0.23	0.20	0.17	0.13	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	
W	L	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.08	0.15	0.22	0.37	0.58	0.75	0.84	0.82	0.71	0.53	0.37	0.29	0.20	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	
	M	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.09	0.16	0.22	0.38	0.58	0.75	0.83	0.80	0.68	0.50	0.35	0.27	0.19	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	
NW	H	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.11	0.17	0.24	0.39	0.59	0.75	0.82	0.79	0.67	0.49	0.33	0.26	0.18	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	
	L	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.06	0.10	0.13	0.16	0.18	0.22	0.38	0.59	0.76	0.84	0.83	0.72	0.48	0.18	0.13	0.11	0.08	0.07	0.06	
HORA	M	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.17	0.31	0.53	0.72	0.82	0.81	0.61	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	
	H	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.07	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.18	0.31	0.54	0.71	0.81	0.80	0.59	0.15	0.11	0.09	0.07	0.06	0.06	
HORA	L	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.06	0.10	0.13	0.16	0.19	0.20	0.21	0.22	0.30	0.52	0.73	0.83	0.71	0.19	0.13	0.10	0.08	0.07	0.05	
	M	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.07	0.11	0.14	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.30	0.52	0.73	0.82	0.81	0.61	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
HORA	H	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.08	0.12	0.15	0.18	0.20	0.21	0.22	0.23	0.30	0.52	0.73	0.81	0.82	0.67	0.15	0.11	0.08	0.07	0.06	0.05
	L	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.10	0.26	0.43	0.59	0.72	0.81	0.87	0.87	0.83	0.74	0.60	0.44	0.27	0.15	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05	
HORA	M	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.12	0.27	0.44	0.59	0.72	0.81	0.85	0.85	0.81	0.71	0.58	0.42	0.25	0.14	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	
	H	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.13	0.29	0.45	0.60	0.72	0.81	0.85	0.84	0.79	0.70	0.56	0.40	0.23	0.13	0.11	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06

L = Construcción ligera: Pared exterior de basidores, losa de piso de concreto de 2 in, con aprox. 30 lb de material/ft² de piso.  
M = Construcción media: Pared exterior de concreto de 4 in, losa de piso de concreto de 4 in, con aprox. 70 lb de material de construcción por ft² de piso.  
H = Construcción pesada: Pared exterior de concreto de 6 in, losa de piso de concreto de 6 in, con aprox. 130 lb de material de construcción por ft² de piso.  
Reproducido con permiso del 1995 Fundamentals, ASHRAE Handbook & Product Directory

Fuente: Pita (2005).

**Apéndice N: Hoja de cálculo de la energía térmica producida por una sala de centro o de red**

*Tabla 1: Hoja de cálculo de la energía térmica producida por una sala de centro de datos o de red*

Elemento	Datos necesarios	Cálculo de la energía térmica producida	Subtotal de energía térmica producida
Equipos de TI	Total de alimentación de carga de TI en vatios	Igual al total de alimentación de carga de TI en vatios	_____ vatios
SAI con batería	Potencia nominal del sistema de alimentación en vatios	$(0,04 \times \text{valor nominal del sistema de alimentación}) + (0,06 \times \text{total alimentación carga TI})$	_____ vatios
Distribución de alimentación	Potencia nominal del sistema de alimentación en vatios	$(0,02 \times \text{valor nominal del sistema de alimentación}) + (0,02 \times \text{total alimentación carga TI})$	_____ vatios
Iluminación	Superficie del suelo en pies cuadrados o Superficie del suelo en metros cuadrados	$2,0 \times \text{superficie del suelo (sq ft)}$ o $21,53 \times \text{superficie del suelo (m}^2\text{)}$	_____ vatios
Personas	Nº máximo de personas en el centro de datos	$100 \times \text{n}^\circ \text{máx. personas}$	_____ vatios
Total	Subtotales de arriba	Suma de subtotales de energía térmica producida	_____ vatios

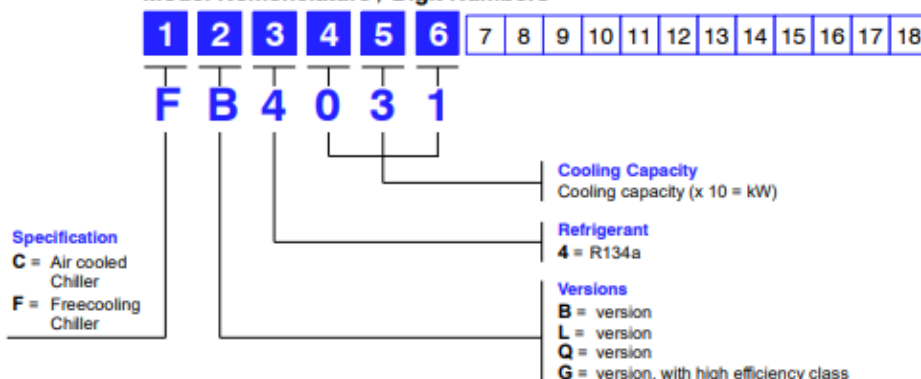
Fuente: Rasmussen, Neil (2003).

## Apéndice Ñ: Hoja de características de los Chillers

# 2

## Model Number Description

### Model Nomenclature / Digit Numbers



### Liebert HPC-M

#### Digits 1, 2, 3, 4, 5, 6 – Base unit

##### Base unit main features

- Base and self-supporting frame made of galvanized steel with baked powder enamel of a suitable thickness;
- Semi-hermetic screw compressors with continuous capacity control;
- Electronic expansion valve (EEV);
- Axial fans with modulating fan speed control;
- 2 independent refrigeration circuits;
- 1 water circuit with flow switch;
- Dry expansion evaporator with independent circuits for each compressor on the refrigerant side;
- International approval 97/23 EC-PED;
- Electric panel CE compliant and complete with safety equipments, fan motors protection, fuses and protection thermal relays for compressors, power supply 400V/3Ph/50Hz (RST + PE);
- ICOM board / display control;
- Main switch on each electric board;
- Antiscratch plastic film packaging;
- Color "Grey" (RAL7032).

#### Digit 7 – Display and switch

- A** = FTE display  
**B** = FTE display + Network switch  
**E** = ICOM Coldfire display  
**F** = ICOM Coldfire display + Network switch

#### Digit 8 – Compressor suction shut-off valve

- 0** = None  
**1** = With shut-off valve

#### Digit 9 – Monitoring

- 0** = None  
**1** = IS Housing (no IS Card included)  
**2** = Web card (IS-WEBL)  
**3** = Modbus card (IS-485L)  
**4** = SITESCAN card (IS-485EXI)  
**5** = Web card (IS-WEBL) + modbus card (IS-485L)  
**6** = Web card (IS-WEBL) + sitescan card (IS-485EXI)  
**7** = Modbus card (IS-485L) + sitescan card (IS-485EXI)  
**8** = Bacnet card (BACnet or Modbus over IP) (IS-IPBML)

#### Digit 10 – Economiser (ECO)

- 0** = No ECO  
**1** = With ECO

#### Digit 11 – Fan speed control

- 1** = TRIAC control  
**3** = EC-Fan

#### Digit 12 – Pumps group / Hydraulic Kit

- 0** = None  
**1** = No pumps / with hydraulic Kit  
**2** = 2 standard head pumps / with hydraulic Kit  
**3** = 2 high head pumps / with hydraulic Kit  
**4** = 2 pumps (1 with inverter), standard head/with hyd. Kit  
**5** = 2 pumps (1 with inverter), high head / with hyd. Kit

#### Digit 13 – Free

#### Digit 14 – Electric panel options

- 0** = None  
**1** = With electric heaters  
**2** = With energy meter  
**3** = With electric heaters and energy meter  
**A** = Fast start ramp  
**B** = Fast start ramp and electric heaters  
**C** = Fast start ramp and energy meter  
**D** = Fast start ramp, electric heaters and energy meter

#### Digit 15 – Evaporator electric heaters

- 0** = None  
**1** = With evaporator heating resistor  
**2** = With evaporator, pumps and pipes heating resistor

#### Digit 16 – Compressor power factor capacitors

- 0** = None  
**1** = With compressor power factor capacitors

#### Digit 17 – Condensing coil filter / Protection grid

- 1** = With condensing coil filter  
**2** = With protection grids  
**3** = With condensing coil filters and protection grids

#### Digit 18 – Special requests

- 0** = None  
**X** = As Specified

## Technical Data

**Tab. 4c – Technical Data – CQ4 031.E–066.E**

Model CQ4		031.E	036.E	039.E	046.E	052.E	058.E	066.E	
<b>Performance <sup>(1)</sup></b>									
Cooling capacity	kW	292	334	387	421	483	542	603	
Compressors power input	kW	92	101	118	124	145	158	188	
Total power input	kW	97	107	124	131	152	166	196	
Unit EER	-	3.03	3.13	3.13	3.21	3.18	3.26	3.07	
Water flow	m <sup>3</sup> /h	50.2	57.3	66.5	72.3	83.0	93.2	103.5	
Water pressure drop	kPa	29	33	33	48	49	42	55	
<b>Performance <sup>(2)</sup></b>									
Cooling capacity	kW	317	377	418	469	531	595	656	
Compressors power input	kW	107	119	136	148	170	185	218	
Total power input	kW	111	125	141	155	177	194	226	
Unit EER	-	2.85	3.02	2.96	3.02	3.00	3.07	2.90	
Water flow	m <sup>3</sup> /h	54.5	64.7	71.9	80.6	91.2	102.2	112.7	
Water pressure drop	kPa	33	36	38	59	58	50	65	
<b>Sound level</b>									
SPL (Sound Pressure Level) <sup>(3)</sup>	dB(A)	65.0	65.5	66.0	66.0	67.0	67.0	67.0	
PWL (Sound Power Level) <sup>(4)</sup>	dB(A)	85.0	86.0	86.0	87.0	87.0	88.0	88.0	
<b>Refrigeration circuits</b>									
Number of refrigeration circuits	No				2				
Refrigerant charge (each circuit)	kg	43	48	49	70			75	
<b>Compressors</b>									
Number of compressors	No				2				
Type	-		Double screw with integrated oil separator						
Nominal power (each compressor)	HP	70	80	90	110	125	140		
Capacity control	-		25 ⇒ 100% stepless						
<b>Fans</b>									
Number of fans	No	6	8	10	10		12		
Type	-		Axial - EC motor -						
Wheel nominal diameter	mm		400						
RPM	1/min		1700						
Nominal power input (each fan)	kW		0.7						
Fans power input	kW	4.3	5.7	7.1	7.1		8.5		
Air flow rate	m <sup>3</sup> /h	80304	111288	107072	139110	133840	160608	160608	
<b>Evaporator</b>									
Number of evaporators	No				1				
Type	-	Plate heat exchanger				Shell & tube			
Internal volume (each circuit, refrigerant side)	l	18	21	24	34	37	40	44	
<b>Condensing coil</b>									
Material tubes / fins	-	Copper / aluminium							
Rows / fins space	no/mm	3 / 1,8							
Face area	m <sup>2</sup>	13.0	17.3	21.6	21.6		25.9		
Internal volume (each circuit)	l	72	98	112	112		146		
<b>Water connections</b>									
Diameters inlet / outlet	DN-inch	DN100-4"-114,3				DN125-5"-139,7			
Unit volume	l	66	83	88	339	335	354	348	
<b>Dimensions</b>									
Length	mm	4021	5017		6013		7009		
Depth	mm				2260				
Height	mm				2570				
<b>Weights</b>									
Net weight	kg	3676	4203	4244	5657	5685	6203	6231	
Operating weight	kg	3742	4286	4332	5996	6020	6557	6579	

**Notes:**

- (1) - Cooling capacity at the following standard conditions: power supply 400V/3Ph/50Hz; outdoor temperature 35 °C; water inlet/outlet temperature 12/7 °C; ethylene glycol 0%.
- (2) - Cooling capacity at the following standard conditions: power supply 400V/3Ph/50Hz; outdoor temperature 35 °C; economizer option; water inlet/outlet temperature 12/7 °C; ethylene glycol 0%.
- (3) - Measured with outdoor temperature 35 °C; 1m from the unit; free field conditions; according to ISO 3744.
- (4) - With outdoor temperature 35 °C; calculated according to ISO 3744.

The models indicated with the extension .E are eligible for Enhanced Capital Allowances as defined by the ECA Scheme approved by the UK Government.

## Sound Levels

Tab. 8c – SPL CL4 – FL4

Models	Octave band frequency [Hz]								Total [dB(A)]
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
"SPL" Sound pressure levels [dB]									
CL4031.E – FL4031.E	68.0	72.0	72.0	69.0	64.0	58.0	51.0	47.0	70.0
CL4036.E – FL4036	68.0	72.0	72.0	69.0	64.0	58.0	51.0	47.0	70.0
CL4039.E – FL4039.E	68.0	72.0	73.0	69.0	65.0	58.0	51.0	47.0	70.5
CL4046.E – FL4046	68.0	72.0	73.0	69.0	65.0	58.0	51.0	47.0	70.5
CL4052.E – FL4052.E	69.0	73.0	73.0	69.0	66.0	60.0	52.0	48.0	71.0
CL4058.E – FL4058	69.0	73.0	73.0	69.0	66.0	60.0	52.0	48.0	71.0
CL4066.E – FL4066	69.0	74.0	74.0	70.0	67.0	61.0	53.0	48.0	72.0
CL4078.E – FL4078	69.0	74.0	74.0	70.0	67.0	61.0	53.0	48.0	72.0

Tab. 8d – PWL CL4 – FL4

Models	Octave band frequency [Hz]								Total [dB(A)]
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
"PWL" Sound power levels [dB]									
CL4031.E – FL4031.E	88.0	92.0	92.0	89.0	84.0	78.0	71.0	67.0	90.0
CL4036.E – FL4036	88.0	92.0	92.0	89.0	84.0	78.0	71.0	67.0	90.0
CL4039.E – FL4039.E	88.5	92.5	93.5	89.5	85.5	78.5	71.5	67.5	91.0
CL4046.E – FL4046	88.5	92.5	93.5	89.5	85.5	78.5	71.5	67.5	91.0
CL4052.E – FL4052.E	90.0	94.0	94.0	90.0	87.0	81.0	73.0	69.0	92.0
CL4058.E – FL4058	90.0	94.0	94.0	90.0	87.0	81.0	73.0	69.0	92.0
CL4066.E – FL4066	90.0	95.0	95.0	91.0	88.0	82.0	74.0	69.0	93.0
CL4078.E – FL4078	90.0	95.0	95.0	91.0	88.0	82.0	74.0	69.0	93.0

Tab. 8e – SPL CQ4 – FQ4

Models	Octave band frequency [Hz]								Total [dB(A)]
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
"SPL" Sound pressure levels [dB]									
CQ4031.E – FQ4031	67.0	67.0	65.0	64.0	60.0	54.0	47.0	42.0	65.0
CQ4036.E – FQ4036.E	67.0	68.0	65.0	65.0	60.0	54.0	47.0	42.0	65.5
CQ4039.E – FQ4039	67.0	68.0	65.0	65.0	60.0	54.0	47.0	42.0	65.5
CQ4046.E – FQ4046.E	67.0	68.0	66.0	65.0	61.0	55.0	47.0	43.0	66.0
CQ4052.E – FQ4052	67.0	68.0	66.0	65.0	61.0	55.0	47.0	43.0	66.0
CQ4058.E – FQ4058	67.0	69.0	67.0	66.0	62.0	56.0	48.0	44.0	67.0
CQ4066.E – FQ4066	67.0	69.0	67.0	66.0	62.0	56.0	48.0	44.0	67.0

Tab. 8f – PWL CQ4 – FQ4

Models	Octave band frequency [Hz]								Total [dB(A)]
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
"PWL" Sound power levels [dB]									
CQ4031.E – FQ4031	87.0	87.0	85.0	84.0	80.0	74.0	67.0	62.0	85.0
CQ4036.E – FQ4036.E	87.5	88.5	85.5	85.5	80.5	74.5	67.5	62.5	86.0
CQ4039.E – FQ4039	87.5	88.5	85.5	85.5	80.5	74.5	67.5	62.5	86.0
CQ4046.E – FQ4046.E	88.0	89.0	87.0	86.0	82.0	76.0	68.0	64.0	87.0
CQ4052.E – FQ4052	88.0	89.0	87.0	86.0	82.0	76.0	68.0	64.0	87.0
CQ4058.E – FQ4058	88.0	90.0	88.0	87.0	83.0	77.0	69.0	65.0	88.0
CQ4066.E – FQ4066	88.0	90.0	88.0	87.0	83.0	77.0	69.0	65.0	88.0

**Note:**

Sound power levels tolerance for each octave band:  $-0/+2$  dB

## Electrical Data

**Tab. 9c – Electrical data – CQ4 031.E–066.E**

Models CQ4		031.E	036.E	039.E	046.E	052.E	058.E	066.E
Power supply	V/Ph/Hz	400V / 3Ph / 50Hz						
OA <sup>(1)</sup>	A	163	180	201	211	254	281	327
FLA	A	254	296	332	320	374	404	440
LRA (Compressor part winding start)	A	420	502	593	604	712	820	891
LRA (Special compressor star delta start)	A	293	344	399	405	492	568	630
Compressors – Power input <sup>(1)</sup>	kW	92	101	118	124	145	158	187
Compressors – Nominal current <sup>(1)</sup>	A	158	172	194	202	244	270	316
Single compressor – Max. current	A	124	144	162	155	182	196	214
Fans number	N.	6	8	8	10	10	12	12
AC fans – Power input (AC option)	kW				1,1			
AC fans – Nominal current (AC option)	A				2,1			
AC fans – Max. Current (AC option)	A				2,3			
EC fans – Power input	kW				0,7			
EC fans – Nominal current	A				1,0			
Std. head pressure pump model (Option)	–	65–125/120–110			65–125/127		65–125/137	
Std. head pressure pump – Motor power	kW	4,0	4,0	4,0	5,5	5,5	5,5	7,5
Std. head pressure pump – Max. current	A	8,0	8,0	8,0	11,2	11,2	11,2	15,2
High head pressure pump model (Option)	–	65–125/127			65–125/137		65–125/144	
High head pressure pump – Motor power	kW	5,5	5,5	5,5	7,5	7,5	7,5	11,0
High head pressure pump – Max. current	A	11,2	11,2	11,2	15,2	15,2	15,2	19,4

(1) – Outdoor temperature 35° C; water inlet/outlet temperature 12/7° C; R134a refrigerant.

Note: The electrical data shown for the EC fans are referred to operating conditions (RPM/air delivery) equivalent to standard fans; such operating conditions are determined by the factory-set microprocessor control signal.

**Tab. 9d – Electrical data – CG4 036.E–066.E**

Models CG4		036.E	039.E	046.E	052.E	058.E	066.E	
Power supply	V/Ph/Hz	400V / 3PH / 50Hz						
OA <sup>(1)</sup>	A	193	215	247	276	300	331	
FLA	A	355	371	470	530	524	566	
LRA (Compressor part winding start)	A	616	680	866	949	950	1035	
LRA (Special compressor star delta start)	A	422	465	613	673	689	746	
Compressors – Power input <sup>(1)</sup>	kW	95	109	115	132	144	168	
Compressors – Nominal current <sup>(1)</sup>	A	162	184	210	238	254	284	
Single compressor – Max. current	A	162	170	216	246	239	260	
Fans number	N.	8	8	10	10	12	12	
AC fans – Power input (AC option)	kW	2,5						
AC fans – Nominal current (AC option)	A	3,8						
AC fans – Max. Current (AC option)	A	2,4						
EC fans – Power input	kW	5,1						
EC fans – Nominal current	A	5,3						
Std. head pressure pump model (Option)	–	65–125/120–110			65–125/127		65–125/137	
Std. head pressure pump – Motor power	kW	4,0	4,0	5,5	5,5	5,5	7,5	
Std. head pressure pump – Max. current	A	8,0	8,0	11,2	11,2	11,2	15,2	
High head pressure pump model (Option)	–	65–125/127			65–125/137		65–125/144	
High head pressure pump – Motor power	kW	5,5	5,5	7,5	7,5	7,5	11,0	
High head pressure pump – Max. current	A	11,2	11,2	15,2	15,2	15,2	19,4	

(1) – Outdoor temperature 35° C; water inlet/outlet temperature 12/7° C; R134a refrigerant.

Note: The electrical data shown for the EC fans are referred to nominal conditions (RPM/air delivery); such operating conditions are determined by the factory-set microprocessor control signal.

## Apéndice O: Tarifas vigentes en Costa Rica de acuerdo con la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL)

### TARIFAS ELÉCTRICAS

Rige para los consumos que se originen a partir del Lunes 01 de Octubre del 2018

Publicado en el Alcance N°167 del viernes 21 de setiembre del 2018 Tarifa incluye CVC (Costo Variable del Combustible)



Tarifa Residencial Horaria T-REH	
Consumo de 0 a 300 kWh	
Punta	¢152,43
Valle	¢63,21
Nocturno	¢26,03
Consumo de 301 a 500 kWh	
Punta	¢173,50
Valle	¢70,63
Nocturno	¢29,75
Consumos mayores a 501 kWh	
Punta	¢205,73
Valle	¢83,05
Nocturno	¢38,43

Tarifa Residencial T-RE	
Bloque de 0-30 kWh Cargo Fijo	¢ 2.156,10
Bloque de 31-200 kWh cada kWh	¢ 71,87
Bloque de 201-300 kWh cada kWh	¢ 110,30
Bloque mayor a 300 cada kWh adicional	¢ 114,02

Tarifa Media Tensión TMT	
Consumo de energía por cada kWh	
Energía Punta	¢61,96
Energía Valle	¢30,99
Energía Noche	¢22,31
Consumo de Potencia (kW)	
Potencia Punta	¢10.864,99
Potencia Valle	¢7.730,78
Potencia Noche	¢4.907,65

Tarifa Comercios y Servicios T-CO	
Bloques de consumo	
Consumo menor o igual a 3.000 kWh	¢121,46
Por Consumo de Energía	
Bloque de 0 - 3.000 Cargo Fijo	¢219.360,00
Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢73,12
Cargo por Potencia	
Bloque 0 – 8 KW Cargo Fijo	¢91.569,68
Bloque mayor a 8 KW	¢11.446,21

Tarifa Industrial T-IN	
Bloques de consumo	
Consumo menor o igual a 3.000 kWh	¢121,46
Por Consumo de Energía	
Bloque de 0 – 3.000 kWh Cargo Fijo	¢219.360,00
Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢73,12
Cargo por Demanda	
Bloque 0 – 8 KW Cargo Fijo	¢91.569,68
Bloque mayor a 8 kW	¢11.446,21

Tarifa Preferencial de Carácter Social T-CS	
Consumo menor o igual a 3000 kWh cada kW	
Mínimo 30 kWh	81,80
Clientes con consumo de Energía	
Consumo de Energía kWh	
Bloque de 0-8 kW Cargo Fijo	¢141.300,00
Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢47,10
Por consumos de potencia kW	
Bloque de 0-8 kW Cargo Fijo	¢61.003,36
Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢7.625,42

Tarifa Promocional T-PRO	
Bloques de consumo	
Consumo menor o igual a 3.000 kWh	¢121,46
Por Consumo de Energía	
Bloque de 0 – 3.000 kWh Cargo Fijo	¢219.360,00
Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢73,12
Cargo por Demanda	
Bloque 0 – 8 KW Cargo Fijo	¢91.569,68
Bloque mayor a 8 kW	¢11.446,21

Tarifa Alumbrado Público T-AP	
Por cada kWh consumido	¢3,55

Definición de periodos:

- 1. Punta:** de 10:00 a 12:30 pm y de 17:30 a 20:00
- 2. Valle:** De 6:01 a 10:00 y de 12:30 a 17:30
- 3. Nocturno:** De 20:00 a 6:00

Fuente: Compañía Nacional de Fuerza y Luz, recuperado de:

[https://www.cnfl.go.cr/documentos/dirección\\_comercialización/resumen\\_tarifas.pdf](https://www.cnfl.go.cr/documentos/dirección_comercialización/resumen_tarifas.pdf)

## Apéndice P: Tipo de cambio de compra y venta del dólar de los Estados Unidos de

### América

#### Tipo cambio de compra y de venta del dólar de los Estados Unidos de América

Referencia del Banco Central de Costa Rica

En colones costarricenses

	TIPO CAMBIO COMPRA	TIPO DE CAMBIO VENTA
6 Oct 2018	583,20	591,27
7 Oct 2018	583,20	591,27
8 Oct 2018	583,20	591,27
9 Oct 2018	585,63	593,22
10 Oct 2018	588,08	594,60
11 Oct 2018	589,47	596,18
12 Oct 2018	591,73	598,14
13 Oct 2018	590,51	597,15
14 Oct 2018	590,51	597,15
15 Oct 2018	590,51	597,15
16 Oct 2018	590,51	597,15
17 Oct 2018	590,55	596,89
18 Oct 2018	589,80	596,81
19 Oct 2018	590,33	595,81
20 Oct 2018	589,53	596,54
21 Oct 2018	589,53	596,54
22 Oct 2018	589,53	596,54
23 Oct 2018	590,27	597,09
24 Oct 2018	590,19	596,13
25 Oct 2018	592,84	597,76
26 Oct 2018	594,80	599,40
27 Oct 2018	594,51	601,40
28 Oct 2018	594,51	601,40
29 Oct 2018	594,51	601,40
30 Oct 2018	596,48	605,59
31 Oct 2018	603,20	610,74
1 Nov 2018	613,01	620,76
2 Nov 2018	611,97	618,89
3 Nov 2018	613,16	622,08
4 Nov 2018	613,16	622,08

Fuente: Banco Central de Costa Rica

Notas:

n1/ Hasta el 10-11-1983 corresponden al denominado Mercado Interbancario.

n2/ Del 11-11-1983 al 1-03-1992 corresponden al denominado Mercado Libre Interbancario.

n3/ A partir del 2-03-1992 entró en vigencia el denominado Tipo de Cambio de Referencia del Banco Central de Costa Rica.

n4/ Para efectos del tipo de cambio expresado como promedio mensual, favor consultar la temática del Sector Externo, subtemática Tipo de Cambio y Mercado Cambiario

n5/ Metodología para el cálculo del tipo de cambio de referencia (Artículo 9 del Reglamento para las operaciones cambiarias de contado)

Fuente: Banco Central de Costa Rica, recuperado de:

<http://indicadoreseconomicos.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/cuadros/fmvercatcuadro.aspx?CodCuadro=400>

## Apéndice Q: Características de las películas de seguridad y de control solar para ventanas

**3M** Películas de Seguridad y de Control Solar para ventanas



### Máxima seguridad y confort en casas, edificios y vehículos

### Películas de Control Solar

La mejor protección contra el calor y los efectos del sol, creando un ambiente más agradable y reduciendo el consumo de energía de equipos de refrigeración y calefacción. Además, las películas 3M minimizan la decoloración en muebles y telas, cuidando el interior de su hogar y su vehículo.

#### Películas de Control Solar Tonalizadas

3M Automotive Window Films

- Realzan la apariencia de su auto brindando mayor privacidad.
- Garantía 3M: la línea FX-ST brinda protección contra el reflejo sin decoloración de la lámina.



#### Películas de Control Solar Metalizadas

3M Sun Control Window Films

- Máxima protección contra el calor y la decoloración.
- Mayor privacidad y mejor apariencia exterior.
- La lámina **Night Vision** permite una clara visión hacia el exterior, incluso durante la noche.



#### Películas de Control Solar Transparentes

3M Prestige & Crystalline Window Films

- No cambian la apariencia exterior de su hogar ni su vehículo, logrando una visión clara durante el día y la noche.
- Una tecnología exclusiva de 3M que trabaja principalmente sobre los rayos infrarrojos de la energía solar.
- Por no contener metal en su composición, no hay interferencia en señales wireless ni corrosión.
- Máxima protección contra el calor y la decoloración, sin disminuir el ingreso de luz.

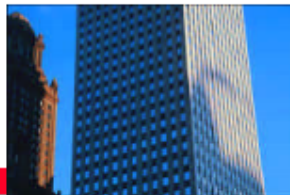
Film 3M	Seguridad		Control Solar		Rechazo UV*	Luz visible transmitida*	Coeficiente de sombra*	Rechazo de energía solar*	Aplicación
	SI-NO	Resistencia	SI-NO	Tonalidad					
FX-ST5	NO	-	SI	oscura	99%	4%	0.63	45%	
FX-ST20	NO	-	SI	intermedia oscura	99%	23%	0.70	39%	
FX-ST36	NO	-	SI	intermedia clara	99%	33%	0.74	36%	
FX-ST50	NO	-	SI	clara	99%	54%	0.81	30%	
Panther S36	SI	150 lb/pie	SI	intermedia clara	99%	33%	0.74	36%	
S36NEAR400	SI	400 lb/pie	SI	intermedia clara	99%	37%	0.51	56%	
Crystalline CR70	NO	-	SI	transparente	99%	66%	0.58	50%	
Prestige PR70	NO	-	SI	transparente	99%	66%	0.58	50%	
Ultra Prestige PR70	SI	400 lb/pie	SI	transparente	99%	66%	0.57	50%	
Silver P18	NO	-	SI	espejado	99%	19%	0.26	77%	
Night Vision NV25	NO	-	SI	espejado	99%	24%	0.39	66%	
RE16SOXL	NO	-	SI	exterior	99%	17%	0.22	81%	

\*Valores considerando un vidrio transparente de 1/4" de espesor.

## Apéndice R: Características de las películas de seguridad y de control solar para ventanas RE15SIX

### 3M Scotchint<sup>MR</sup> Lámina de Control Solar RE15SIX – Plata

#### Ficha Técnica



#### Descripción:

Láminas de poliéster de larga vida útil que no se resquebrajan, y que por incorporación de color y/o capas de metal se presentan en distintas tonalidades y grados de reflectividad.

Reducen en gran medida el calor solar que ingresa por la ventana, haciendo los ambientes más agradables y permitiendo reducir el uso de aire acondicionado, lo que genera ahorro en electricidad y mantención.

Bloquean casi la totalidad del ingreso de los Rayos Ultravioleta, ayudando así a mantener vivos por más tiempo los colores de muebles y tapices. Reduce la decoloración, pero no la elimina.

Reducen el deslumbramiento o molestias visuales por la luz intensa, como el reflejo en pantallas de computador.

Están protegidas con una capa resistente a la abrasión que ayuda a que la lámina no se raye. No oscurecen ostensiblemente los recintos.

#### Superficie de Aplicación:

Se aplican por la superficie exterior de los vidrios. La aplicación es realizada por nuestros distribuidores autorizados, quienes venden el producto instalado.

3M no recomienda la instalación sobre superficies distintas al vidrio. Específicamente la aplicación sobre materiales como policarbonato conlleva el riesgo de que la lámina se desprenda, ya que este material sufre expansiones y contracciones por cambios de temperatura mayores que el vidrio.

#### Presentación:

Las láminas de seguridad se venden por metro cuadrado instalado, a través de distribuidores. Sin embargo, el producto original viene en rollos de aproximadamente 61 mts. de largo, y anchos de 1.27 mts. y 1.52 mts.

#### Mantención:

La limpieza de las láminas sólo puede hacerse una vez terminado el proceso de secado posterior a la instalación, el cual puede extenderse hasta 30 días en zonas o períodos fríos y/o húmedos.

La limpieza se realiza con productos limpiavidrios que no contengan cloro ni amoníaco, y con elementos no abrasivos para no rayar la lámina.

Los paños y esponjas usados para la limpieza deben ser de uso exclusivo para la limpieza de los vidrios para que no arrastren suciedad que pueda rayar la lámina.

No se recomienda el uso de papel de diario para la limpieza.

**NOTA:** Este producto debe ser instalado por personal autorizado.

#### Para mayor información:



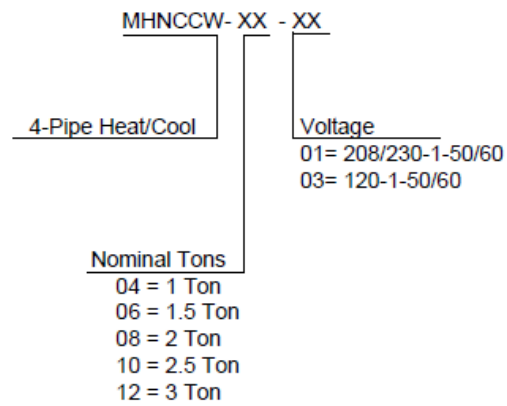
#### Características:

RE 15 SIX	
Resistencia	ANSI Z97.1 400 pies por libra (268 mts por kg)
Espesor	4 mil.
Vidrio Transparente	
Reducción Calor Solar	3%
Reducción Pérdida de Calor	0%
Reducción del Brillo	2%
Rayos UV Bloqueados	98%
Vidrio con Tinte	
Reducción Calor Solar	1%
Reducción Pérdida de Calor	0%
Reducción del Brillo	4%
Rayos UV Bloqueados	99%

## Apéndice S: Nomenclatura de los equipos MHCCW

### MHNCCW NOMENCLATURE BREAKDOWN

4-Pipe Heat/Cool Ceiling Concealed Fan Coil



#### Available Model Numbers

MHNCCW-04-01	MHNCCW-04-03
MHNCCW-06-01	MHNCCW-06-03
MHNCCW-08-01	MHNCCW-08-03
MHNCCW-10-01	MHNCCW-10-03
MHNCCW-12-01	MHNCCW-12-03

Fuente Api Of Nh And Deltat, recuperado de:

[http://www.apiofnhanddeltat.com/linked/multiagua\\_2009\\_catalog\\_lores.pdf](http://www.apiofnhanddeltat.com/linked/multiagua_2009_catalog_lores.pdf)

**Apéndice T: Medición de P.U.E del Centro de datos del 11/24/2018 a las 7:00 a.m. hasta**

**11/26/2018 a las 06:30 a.m**

P.U.E		
11/24/18	07:00:00 a.m.	2,823
11/24/18	07:30:00 a.m.	2,730
11/24/18	08:00:00 a.m.	2,279
11/24/18	08:30:00 a.m.	2,070
11/24/18	09:00:00 a.m.	2,735
11/24/18	09:30:00 a.m.	2,686
11/24/18	10:00:00 a.m.	2,838
11/24/18	10:30:00 a.m.	2,312
11/24/18	11:00:00 a.m.	2,524
11/24/18	11:30:00 a.m.	2,282
11/24/18	12:00:00 p.m.	2,630
11/24/18	12:30:00 p.m.	2,468
11/24/18	01:00:00 p.m.	2,707
11/24/18	01:30:00 p.m.	2,626
11/24/18	02:00:00 p.m.	2,464
11/24/18	02:30:00 p.m.	2,848
11/24/18	03:00:00 p.m.	1,976
11/24/18	03:30:00 p.m.	2,616
11/24/18	04:00:00 p.m.	2,801
11/24/18	04:30:00 p.m.	2,769
11/24/18	05:00:00 p.m.	2,282
11/24/18	05:30:00 p.m.	2,773
11/24/18	06:00:00 p.m.	2,592
11/24/18	06:30:00 p.m.	2,568

P.U.E		
11/24/18	07:00:00 p.m.	2,334
11/24/18	07:30:00 p.m.	2,850
11/24/18	08:00:00 p.m.	1,863
11/24/18	08:30:00 p.m.	2,522
11/24/18	09:00:00 p.m.	2,872
11/24/18	09:30:00 p.m.	2,828
11/24/18	10:00:00 p.m.	2,247
11/24/18	10:30:00 p.m.	2,888
11/24/18	11:00:00 p.m.	2,879
11/24/18	11:30:00 p.m.	2,591
11/25/18	12:00:00 a.m.	2,161
11/25/18	12:30:00 a.m.	2,735
11/25/18	01:00:00 a.m.	2,379
11/25/18	01:30:00 a.m.	2,617
11/25/18	02:00:00 a.m.	2,380
11/25/18	02:30:00 a.m.	2,676
11/25/18	03:00:00 a.m.	2,338
11/25/18	03:30:00 a.m.	2,780
11/25/18	04:00:00 a.m.	2,644
11/25/18	04:30:00 a.m.	2,338
11/25/18	05:00:00 a.m.	2,385
11/25/18	05:30:00 a.m.	2,605
11/25/18	06:00:00 a.m.	2,640
11/25/18	06:30:00 a.m.	2,792

P.U.E		
11/25/18	07:00:00 a.m.	2,669
11/25/18	07:30:00 a.m.	2,499
11/25/18	08:00:00 a.m.	2,865
11/25/18	08:30:00 a.m.	2,315
11/25/18	09:00:00 a.m.	2,198
11/25/18	09:30:00 a.m.	2,390
11/25/18	10:00:00 a.m.	2,599
11/25/18	10:30:00 a.m.	2,896
11/25/18	11:00:00 a.m.	2,072
11/25/18	11:30:00 a.m.	1,960
11/25/18	12:00:00 p.m.	1,891
11/25/18	12:30:00 p.m.	2,427
11/25/18	01:00:00 p.m.	1,996
11/25/18	01:30:00 p.m.	2,279
11/25/18	02:00:00 p.m.	2,373
11/25/18	02:30:00 p.m.	1,906
11/25/18	03:00:00 p.m.	2,652
11/25/18	03:30:00 p.m.	1,845
11/25/18	04:00:00 p.m.	2,067
11/25/18	04:30:00 p.m.	2,809
11/25/18	05:00:00 p.m.	1,961
11/25/18	05:30:00 p.m.	2,584
11/25/18	06:00:00 p.m.	2,124
11/25/18	06:30:00 p.m.	2,073

P.U.E		
11/25/18	07:00:00 p.m.	1,934
11/25/18	07:30:00 p.m.	2,619
11/25/18	08:00:00 p.m.	2,404
11/25/18	08:30:00 p.m.	2,752
11/25/18	09:00:00 p.m.	2,211
11/25/18	09:30:00 p.m.	2,739
11/25/18	10:00:00 p.m.	2,250
11/25/18	10:30:00 p.m.	2,599
11/25/18	11:00:00 p.m.	2,508
11/25/18	11:30:00 p.m.	2,653
11/26/18	12:00:00 a.m.	2,589
11/26/18	12:30:00 a.m.	2,577
11/26/18	01:00:00 a.m.	2,442
11/26/18	01:30:00 a.m.	2,664
11/26/18	02:00:00 a.m.	2,506
11/26/18	02:30:00 a.m.	2,953
11/26/18	03:00:00 a.m.	2,350
11/26/18	03:30:00 a.m.	2,587
11/26/18	04:00:00 a.m.	2,807
11/26/18	04:30:00 a.m.	2,604
11/26/18	05:00:00 a.m.	2,742
11/26/18	05:30:00 a.m.	2,616
11/26/18	06:00:00 a.m.	2,651
11/26/18	06:30:00 a.m.	2,811

P.U.E		
11/26/18	07:00:00 a.m.	2,568
11/26/18	07:30:00 a.m.	2,569
11/26/18	08:00:00 a.m.	2,594
11/26/18	08:30:00 a.m.	2,700
11/26/18	09:00:00 a.m.	2,786
11/26/18	09:30:00 a.m.	2,531
11/26/18	10:00:00 a.m.	2,819
11/26/18	10:30:00 a.m.	2,769
11/26/18	11:00:00 a.m.	2,671
11/26/18	11:30:00 a.m.	2,636
11/26/18	12:00:00 p.m.	2,763
11/26/18	12:30:00 p.m.	2,681
11/26/18	01:00:00 p.m.	2,641
11/26/18	01:30:00 p.m.	2,865
11/26/18	02:00:00 p.m.	2,633
11/26/18	02:30:00 p.m.	2,825
11/26/18	03:00:00 p.m.	2,785
11/26/18	03:30:00 p.m.	2,695
11/26/18	04:00:00 p.m.	2,851
11/26/18	04:30:00 p.m.	2,773
11/26/18	05:00:00 p.m.	2,368
11/26/18	05:30:00 p.m.	2,526
11/26/18	06:00:00 p.m.	2,340
11/26/18	06:30:00 p.m.	2,660

P.U.E		
11/26/18	07:00:00 p.m.	2,669
11/26/18	07:30:00 p.m.	2,764
11/26/18	08:00:00 p.m.	2,522
11/26/18	08:30:00 p.m.	2,568
11/26/18	09:00:00 p.m.	2,433
11/26/18	09:30:00 p.m.	2,665
11/26/18	10:00:00 p.m.	2,012
11/26/18	10:30:00 p.m.	2,776
11/26/18	11:00:00 p.m.	2,354
11/26/18	11:30:00 p.m.	2,590
11/26/18	12:00:00 a.m.	2,226
11/26/18	12:30:00 a.m.	2,552
11/26/18	01:00:00 a.m.	2,254
11/26/18	01:30:00 a.m.	2,790
11/26/18	02:00:00 a.m.	2,286
11/26/18	02:30:00 a.m.	2,381
11/26/18	03:00:00 a.m.	2,221
11/26/18	03:30:00 a.m.	2,762
11/26/18	04:00:00 a.m.	2,235
11/26/18	04:30:00 a.m.	2,819
11/26/18	05:00:00 a.m.	2,590
11/26/18	05:30:00 a.m.	2,510
11/26/18	06:00:00 a.m.	2,676
11/26/18	06:30:00 a.m.	2,621
PROMEDIO		2,528

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice U: Valores diarios mensuales de la radiación solar global (MJ/m<sup>2</sup>. día) de las estaciones radiométricas que se escogieron para el estudio del potencial de la energía solar en Costa Rica.**

Local	En	Feb	Mar	Ab	May	Jun	Jul	Ag	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
La Margarita	16	17	18	17	17	16	16	17	17	16	15	14	16
La Mola	14	16	17	17	16	15	15	15	16	14	13	12	15
La Piñera	17	19	18	18	16	15	15	16	15	14	14	15	16
La Robusca	17	17	19	20	19	18	18	19	20	19	17	16	18
Las Delicias	15	17	17	17	16	15	15	15	16	15	13	13	15
Liberia	19	21	22	22	18	16	16	17	17	16	16	17	18
Limón	13	14	16	15	15	13	12	14	14	14	13	12	14
Los Diamantes	12	14	16	15	14	12	13	13	14	12	11	13	13
Mollejones	5	6	7	7	6	6	6	6	6	6	4	7	6
Muelle San Carlos	14	16	18	17	17	16	15	14	15	14	14	13	15
Naranjillo	5	6	6	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5
Nicoya	19	21	21	21	18	17	18	18	16	16	16	17	18
Nueva Tronadora	14	15	18	18	16	14	14	14	15	12	12	14	15
Palmar Sur	16	18	18	17	15	15	15	14	14	13	13	14	15
Palmira	17	19	20	20	18	16	16	17	16	15	14	15	17
Pavas	20	21	22	21	19	16	17	18	16	16	16	17	18
Peñas Blancas	3	3	4	4	4	4	4	3	4	4	3	3	3
Pindeco	18	20	20	19	17	17	16	17	17	16	16	17	17
Playa Panamá	17	18	20	19	17	15	16	16	15	14	14	16	16
Potrero Grande	17	19	18	18	16	15	15	16	15	14	14	15	16
Pozo 29	7	9	10	9	7	5	6	6	6	6	6	7	7
Puntarenas	16	18	18	18	16	14	14	15	15	15	13	14	15
Puriscal	19	21	22	20	17	16	18	18	16	14	16	17	18
Quepos	18	19	21	17	16	15	15	15	16	16	15	15	17
Repunta	17	19	18	18	16	15	15	16	16	16	14	14	16
Sabanilla	13	14	16	16	13	12	11	12	12	12	11	12	13
San José	13	15	17	16	14	12	12	12	12	12	11	11	13
Santa Clara	15	16	16	16	16	15	14	15	15	15	13	13	15
Santa Cruz	20	22	22	22	19	18	19	18	18	18	18	18	19
Santa Lucía	20	20	24	23	19	17	17	19	18	16	15	17	19
Santa Rosa	18	22	22	23	19	16	17	18	15	15	17	18	18
Siquirres	5	6	6	5	5	5	5	5	6	5	5	4	5
Taboga	19	22	23	22	19	17	18	18	17	16	17	18	19
Térraba	16	17	18	17	15	14	14	15	15	14	14	14	15
Tinamaste	16	17	18	17	15	15	15	16	15	13	13	14	15
Turrialba	16	18	19	19	19	17	15	17	18	18	16	15	17
Tumúcares	20	22	22	22	19	16	17	18	16	16	17	18	19
UNA	21	20	22	21	16	13	15	15	14	14	13	16	17
Upala	14	15	18	18	15	14	13	14	16	14	13	12	15
Vara Blanca	4	4	4	4	.	3	4	3	3	3	2	.	3
Volcán Irazú	20	22	23	21	17	15	15	16	16	15	15	17	18

Fuente: Instituto Costarricense de electricidad (2006)

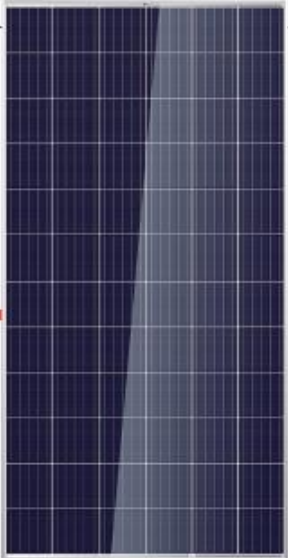
## Apéndice V: Características técnicas del módulo TALLMAX con marco de 72 celdas (1500v)

Mono **Multi** Soluciones

EL MÓDULO

# TALLMAX

CON MARCO DE 72 CELDAS(1500V)



**72 CELDAS**  
MÓDULO MULTICRISTALINO

**320-335W**  
RANGO DE POTENCIA





**17.3%**  
MÁXIMA EFICIENCIA





**0~+5W**  
TOLERANCIA POSITIVA DE POTENCIA

Fundada en 1997, Trina Solar es el líder mundial en proveer soluciones para la energía solar. Creemos que tener una estrecha colaboración con nuestros socios es crucial para el éxito. Hoy en día Trina Solar distribuye sus productos PV a más de 60 países en todo el mundo. Trina es capaz de proveer servicio excepcional a cada cliente en cada mercado y complementar nuestros innovadores y confiables productos con el respaldo de Trina como socio fuerte y bancario. Nos comprometemos a desarrollar colaboraciones con los instaladores, desarrolladores, distribuidores y otros socios que sean estratégicas benéficas para ambas partes.

Certificación exhaustiva de los productos y el sistema

IEC61215/IEC6173/UL1709/IEC61701/IEC62716  
ISO 9001: Sistema de gestión de la calidad  
ISO 14001: Sistema de gestión ambiental  
ISO14064: Verificación de emisiones de gases de efecto invernadero  
OHSAS 18001: Sistema de gestión de la seguridad y la salud ocupacional

**Ideal para instalaciones a gran escala**

- Reduce los costes BOS conectando más módulos a una cadena
- Certificación 1500V UL/1500V IEC

**Uno de los módulos más confiables de la industria**

- Desempeño probado en campo

**Alta confiabilidad gracias al estricto control de calidad**


- Más de 30 pruebas en fábrica (UV, TC, HF, y muchas más)
- Nuestras pruebas exceden por mucho los requisitos para certificación
- Resistente al PID
- 100% de doble inspección

**Certificado para soportar las condiciones ambientales más difíciles**

- Carga de viento 2400 Pa
- Carga de nieve 5400 Pa
- Granizo 35 mm a 97 km/h

**GARANTÍA DE DESEMPEÑO LINEAL**

10 Años de Garantía del Producto - 25 Años de Garantía de Potencia Lineal



Relación Garantía/Back

Años: 5, 10, 15, 20, 25

■ Garantía Lineal Trina ■ Garantía escalonada tradicional



