

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EVALUACION DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO DEL
OFICENTRO EL CEDRAL COMO EDIFICIO SUSTENTABLE

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de la
Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ingeniería Mecánica
para optar al grado y título de Maestría Profesional en Ingeniería Mecánica

PATRICIO RAUL BECERRA BARRIOS

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2010

Dedicatoria

A mi esposa Karla y a mis hijos Gabriela e Ignacio

A mis padres Patricio y María Elena

Sin su incondicional apoyo no hubiera logrado esta meta

Agradecimientos

A la Universidad de Costa Rica por abrirme las puertas nuevamente para alcanzar otro grado académico en mi profesión.

A mi familia, por su gran comprensión y apoyo, que creyeron en este proyecto de estudios.

A las empresas FSA Ingeniería & Arquitectura, PINMSA y Trejos Facio Arquitectos por su valiosa colaboración en el suministro de información del Edificio para concretar esta investigación.

A mi profesor guía y lectores, por sus valiosos aportes durante el desarrollo de este trabajo.

“Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Ingeniería Mecánica”.

Magister Alejandra Sánchez Calvo
Representante de la Decana
Sistema de Estudios de Posgrado

M.Sc. Ing. Pietro Scaglioni Solano
Director de Tesis

M.Sc. Ing. Álvaro Sequeira Montero
Asesor Interno

MBA Ing. Juan José Ugalde Chacón
Asesor Externo

M.Sc. Ing. Jhymer Rojas Vázquez
Director
Programa de Posgrado en Ingeniería Mecánica

Patricio Becerra Barrios
Sustentante

TABLA DE CONTENIDOS

Resumen	viii
Lista de Tablas	ix
Lista de Figuras	xi
Lista de Imágenes	xii
Lista de Acrónimos	xiii
CAPITULO 1 INTRODUCCION	1
1.1 Justificación.....	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 Metodología	4
1.4 Alcance y limitaciones.....	5
CAPITULO 2 MARCO TEORICO	6
2.1 Antecedentes	7
2.2 Construcción sustentable	9
2.3 Sistemas de evaluación de construcciones sustentables	11
2.3.1 Programa de Liderazgo en Diseño Energético y Ambiental (<i>LEED</i>)	13
2.3.2 Método de Valoración Ambiental del Establecimiento de Investigación de Edificios (<i>BREEAM</i>).....	15
2.3.3 Sistema Integral de Evaluación para Edificios Ambientalmente Eficientes (<i>CASBEE</i>).....	16
2.3.4 Sistema Estrella Verde.....	17
2.3.5 Iniciativa Internacional para un Ambiente Construido Sustentable	18
2.4 Sistema de Evaluación <i>LEED-CS 2.0</i>	19

2.4.1	Sitios sostenibles (SS)	22
2.4.2	Eficiencia en el Manejo del Agua (WE)	29
2.4.3	Energía y Atmósfera (EA)	31
2.4.4	Materiales y Recursos (MR).....	39
2.4.5	Calidad del Ambiente Interno (EQ)	43
2.4.6	Proceso de Diseño e Innovación (ID).....	50
2.5	Normas de <i>ASHRAE</i>	51
2.5.1	Norma <i>ANSI/ASHRAE/IESNA</i> 90.1-2007.....	51
2.5.2	Norma <i>ANSI/ASHRAE</i> 62.1-2004	55
CAPITULO 3 OFICENTRO EL CEDRAL.....		59
3.1	Aspectos generales.....	60
3.2	Características constructivas	67
3.3	Descripción del sistema de aire acondicionado	71
CAPITULO 4 EVALUACION DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO ...		81
4.1	Metodología	82
4.1.1	Cálculo de carga térmica	83
4.2	Simulaciones energéticas	85
4.3	Análisis de aire fresco	101
4.4	Análisis del refrigerante principal	103
CAPITULO 5 DISCUSION DE LOS RESULTADOS.....		105
CAPITULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		110
6.1	Conclusiones.....	111
6.2	Recomendaciones	113
BIBLIOGRAFIA.....		115
APENDICES.....		121

APENDICE A: Memoria de cálculo	122
A.1 Clima	123
A.2 Materiales.....	127
A.3 Horarios.....	132
A.4 Tarifas eléctricas <i>CNFL</i>	136
A.5 Espacios modelos	138
A.6 Sistema de manejadora	147
A.7 Planta enfriadora de agua (<i>Chiller</i>).....	156
A.8 Torre de enfriamiento	159
A.9 Planta enfriadora de agua (<i>Chiller</i>).....	161
A.10 Dimensionado de Plantas <i>Chiller</i>	170
A.11 Simulación.....	179
A.12 Comparación banco de hielo.....	189
APENDICE B: Evaluación cualitativa Sistema <i>LEED-CS</i>	194
ANEXOS.....	207
ANEXO No 1: Datos del proyecto.....	208
Anexo 1.1 Datos climatológicos.....	209
Anexo 1.2 Selección del chiller de proyecto	211
Anexo 1.3 Selección de las torres de enfriamiento.....	212
Anexo 1.4 Selección del banco de hielo	213
Anexo 1.5 Datos del techo.....	214
Anexo 1.6 Datos del vidrio de ventanas	215
ANEXO No 2: Norma <i>IESNA/ANSI/ASHRAE 90.1-2007</i>	216
ANEXO No 3: Norma <i>ANSI/ASHRAE 62.1-2004</i>	241
ANEXO No 4: Lista de chequeo Sistema <i>LEED-CS</i>	250

Resumen

El desarrollo de la humanidad ha generado un gran impacto al medio ambiente y a los recursos naturales. En particular la industria de la construcción y urbanismo y la fabricación de los materiales para los edificios, son algunos de los factores que inciden en esta problemática. El nuevo Oficentro El Cedral en su fase final de construcción, se concibió para ser un edificio sustentable, incluyendo su sistema de aire acondicionado, el cual es una carga importante en el consumo energético del edificio. Parte de este trabajo consiste en investigar sobre edificios sustentables y la metodología de evaluación, analizar las normas relacionadas con el consumo energético y calidad del aire interior para aplicarlas al sistema de aire acondicionado de la edificación en estudio y determinar si califica dentro de los parámetros de las guías y normas disponibles como edificio sustentable.

Por el desarrollo constructivo del Oficentro El Cedral se siguieron los lineamientos del sistema de evaluación voluntaria del programa de Liderazgo en Diseño Energético y Ambiental (*LEED*, de sus siglas en inglés de Leadership in Energy and Environmental Design) tipo Envoltorio y Núcleo (Core and Shell, CS), *LEED-CS*, y en particular para el sistema de aire acondicionado, las normas 90.1 y 62.1 aplicables para edificios altos de la Sociedad Norteamericana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (*ASHRAE*, de sus siglas en inglés de American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers), realizando una simulación energética mediante un programa de cómputo desarrollado por la empresa norteamericana Carrier Corporation, Hourly Analysis Program (*HAP* v.4.41), para diferentes escenarios.

Del análisis de la simulación y de los resultados obtenidos de la evaluación cualitativa del sistema *LEED*, se determinó que el Oficentro El Cedral tiene un sistema de aire acondicionado que cumple con requerimientos mínimos de un edificio de alto desempeño energético pero con ciertas excepciones, sin embargo no califica para una certificación del sistema de evaluación *LEED* para Envoltorio y Núcleo (*LEED-CS*).

En Costa Rica no se ha alcanzado un desarrollo en la construcción y diseño para la elaboración y una implementación propia de un sistema de evaluación de edificios sustentables, lo cual motiva al sector de la ingeniería y arquitectura a investigar en este campo para desarrollar políticas de eficiencia energética, manejo de las aguas y conservación del ambiente para nuestras futuras generaciones.

Lista de Tablas

Tabla 2.1: Puntaje por categoría del sistema <i>LEED-CS 2.0</i>	22
Tabla 2.2: Puntaje requerido para las calificaciones de <i>LEED-CS 2.0</i>	22
Tabla 2.3: Asignación de puntaje crédito EA1 con respecto al Edificio Base ...	36
Tabla 3.1: Características de los <i>Chiller</i> TRANE, modelo RHTD	77
Tabla 3.2: Características de las torres de enfriamiento	77
Tabla 3.3: Características de las bombas de agua circuito secundario	78
Tabla 3.4: Características de las bombas de agua circuito primario	78
Tabla 3.5: Características de las bombas de las torre de enfriamiento	78
Tabla 3.6: Características de los bancos de hielo	79
Tabla 3.7: Características de los extractores e inyectores por edificio	79
Tabla 3.8: Características de las bombas del sistema de agua potable	80
Tabla 4.1: Materiales del Edificio Propuesto y del Edificio Línea Base	86
Tabla 4.2: Equipos del Edificio Propuesto y del Edificio Línea Base	88
Tabla 4.3: Características de las zonas a acondicionar	90
Tabla 4.4: Características paredes y ventanas de las zonas a acondicionar ...	90
Tabla 4.5: Resultados de cálculo de carga térmica	92
Tabla 4.6: Carga de enfriamiento horaria para Junio	94
Tabla 4.7: Tarifas CNFL T-MT – Cargos por Energía	96
Tabla 4.8: Tarifas CNFL T-MT - Cargos por Demanda	96
Tabla 4.9: Relación de ventanas con paredes	96
Tabla 4.10: Costo anual Edificio Línea Base y Edificio Propuesto	97
Tabla 4.11: Método de Evaluación del Desempeño	99

Tabla 4.12: Costo de energía anual. Método de Evaluación del Desempeño ..	99
Tabla 4.13: Costo y consumo de energía anual por uso de banco de hielo ...	100
Tabla 4.14: Metodología de cálculo de flujo de aire exterior.....	101
Tabla 4.15: Resumen de flujos de aire exterior por zona	102
Tabla 4.16: Datos de entrada para análisis de impacto ambiental	104
Tabla 4.17: Cálculo de impacto ambiental del refrigerante.....	104
Tabla B.1: Evaluación sistema <i>LEED-CS</i>	204
Tabla B.2: Resumen de la evaluación cualitativa Sistema <i>LEED-CS</i>	206

Lista de Figuras

Figura 3.1: Ubicación del proyecto	61
Figura 3.2: Planta de conjunto Nivel principal.....	63
Figura 3.3: Distribución de los edificios en el sitio	64
Figura 3.4: Planta Nivel 2	64
Figura 3.5: Planta Nivel 3	65
Figura 3.6: Planta Nivel 4	65
Figura 3.7: Planta Nivel 5	66
Figura 3.8: Planta Nivel de Azotea	66
Figura 3.9: Diagrama del sistema de enfriamiento	73
Figura 3.10: Diagrama del sistema de distribución de agua helada	74
Figura 4.1: Perfiles de horarios.....	93
Figura 4.2: Perfil de carga horaria para Junio.....	95
Figura 4.3: Componentes del costo anual Edificio Propuesto	98
Figura 4.4: Componentes del costo anual Edificio Línea Base.....	98

Lista de Imágenes

Imagen 3.1: Oficentro El Cedral	61
Imagen 3.2: Fachada Norte y Oeste Edificio 2	68
Imagen 3.3: Estructura principal Nivel 1, Edificio 1.....	68
Imagen 3.4: Estructura de techo Nivel 5, Edificio 1	69
Imagen 3.5: Vestíbulo Nivel 5, Edificio 1	69
Imagen 3.6: Ducto de aire fresco y tuberías Vestíbulo Nivel 1, Edificio 1.....	70
Imagen 3.7: Fachada Norte Edificio 1	70
Imagen 3.8: Previstas de agua helada Nivel 1, Edificio 1	75
Imagen 3.9: <i>Chiller</i> enfriado por agua	75
Imagen 3.10: Torres de enfriamiento.....	76
Imagen 3.11: Entrada tuberías a bancos de hielo enterrados	76
Imagen 3.12: Bombas de agua helada	77

Lista de Acrónimos

- AIA*: American Institute of Architects (Instituto Norteamericano de Arquitectos)
- ANSI*: American National Standards Institute (Instituto Nacional de Normalización Estadounidense)
- ASHRAE*: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (Sociedad Norteamericana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire acondicionado)
- BEE*: Building Environmental Efficiency (Eficiencia Ambiental del Edificio)
- BREEAM*: Building Research Establishment's Environmental Assessment Method (Método de Valoración Ambiental del Establecimiento de Investigación de Edificios)
- CASBEE*: Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency (Sistema Integral de Evaluación para Edificios Ambientalmente Eficientes)
- CNFL*: Compañía Nacional de Fuerza y Luz
- EPA*: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección del Ambiente de Estados Unidos de América)
- GBC*: Green Building Challenge (Desafío de la Edificación Verde)
- GBCA*: Green Building Council of Australia (Consejo de Edificios Verdes de Australia)
- IESNA*: Illuminating Engineering Society of North America (Sociedad de Ingenieros en Iluminación de Estados Unidos)
- iSBE*: International Initiative for a Sustainable Built Environment (Iniciativa Internacional para un Ambiente Construido Sustentable)
- LEED*: Leadership in Energy and Environmental Design (Liderazgo en Diseño Energético y Ambiental)
- NFPA*: National Fire Protection Association (Asociación Nacional de Protección contra Incendio)
- ONU*: Organización de las Naciones Unidas
- UNESCO*: United Nation's Educational, Scientific and Cultural Organization (Organización de las Naciones Unidas para Educación, Ciencia y Cultura)
- USGBC*: U.S. Green Building Council (Consejo Norteamericano de Construcción Sustentable)

CAPITULO 1
INTRODUCCION

1.1 Justificación

Con el aumento de la población humana la necesidad de tierras se intensifica para el asentamiento humano, la agricultura para el cultivo de alimentos y la ganadería entre otras actividades, acelerando la degradación de los recursos naturales y la deforestación, llevándose consigo muchas especies de los ecosistemas. La demanda de agua para irrigación, uso doméstico y la industria sigue en aumento, siendo el agua un elemento agotable, la cual su calidad y cantidad se van haber afectadas con el tiempo por los patrones de consumo de la población.

Los efectos de la contaminación de los ríos y océanos, la pesca desmedida, la reducción de los estuarios y la salinización de los mantos acuíferos, la erosión y la emisión de gases efecto invernadero son algunos efectos de las actividades humanas que están provocando un cambio climático global.

El desarrollo de los asentamientos humanos demanda un crecimiento del sector de la construcción, de los servicios de agua y energía y genera gran cantidad de desechos, provocando efectos negativos en el medio ambiente como los mencionados anteriormente.

Los procesos industriales tales como los usados para fabricar los materiales de construcción, emiten gases contaminantes a la atmósfera como el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y junto con los refrigerantes como los clorofluorocarbonos (CFC) utilizados en los sistemas de aire acondicionado, están agotando la capa de ozono y provocando el efecto invernadero y por consiguiente el calentamiento global.

Actualmente muchas edificaciones están diseñadas y construidas de tal forma que para mantener una calidad de aire interior, se requiera que el sistema de aire acondicionado y la iluminación del edificio operen permanentemente, con un alto consumo energético y contaminación de gases al medio ambiente.

Dentro de los nuevos edificios que se están construyendo y desarrollando en Costa Rica dentro del Gran Área Metropolitana (*GAM*), particularmente en el sector Oeste de San José, se encuentra el Oficentro El Cedral que pretende convertirse en un edificio sustentable. Como parte del proceso para ser calificado como un edificio sustentable, se debe evaluar su consumo energético y su impacto al medio ambiente, entre otros.

El programa de Liderazgo en Diseño Energético y Ambiental (*LEED*, de las siglas en inglés de Leadership in Energy and Environmental Design), desarrollado en Estados Unidos por el Consejo Norteamericano de Construcción Sustentable (*USGBC*, de las siglas en inglés de U.S. Green Building Council), representa un estándar o una guía de evaluación y clasificación voluntaria y privada para los edificios que pretenden ser sustentables, siendo uno de los más aceptados en Estados Unidos de América. Por el auge que ha tenido este sistema de evaluación desde el punto de vista de mercado en nuestra región frente a otros sistemas similares como los europeos, se pretende utilizarlo para evaluar el Oficentro El Cedral y establecer si el sistema de aire acondicionado del edificio cumple con los requerimientos de un edificio de alto desempeño energético, como parte de los requisitos de un edificio sustentable, tal como fue su concepción de diseño original.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

El objetivo general de este proyecto es evaluar el diseño del sistema aire acondicionado del Oficentro El Cedral, desde el punto de vista de consumo energético y de la calidad del aire interior, siguiendo las guías y normas actualizadas que califican a un edificio como sustentable.

1.2.2 Objetivos específicos

- Revisar las guías y metodologías establecidas para la construcción sustentable, en particular el sistema *LEED*.
- Revisar si el diseño del sistema de aire acondicionado cumple con los requisitos establecidos por las normas actuales sobre edificios sustentables.
- Realizar una simulación energética del sistema de aire acondicionado mediante el programa de cómputo de la empresa norteamericana Carrier Corporation, Hourly Analysis Program (*HAP*) versión 4.41.

1.3 Metodología

El desarrollo del proyecto se basó en la revisión de las normas publicadas al momento de elaborar este documento, artículos y bibliografía en general sobre construcción y edificios sustentables, y su evaluación para el desarrollo del tema.

Para determinar el consumo energético del sistema de aire acondicionado del edificio, se determinó los requerimientos de aire exterior y se calculó la carga de enfriamiento del edificio con base en los planos suministrados por las empresas diseñadoras del proyecto y siguiendo los lineamientos de las normas de *ASHRAE*.

Se realizó la simulación energética del edificio para el sistema de aire acondicionado por medio del programa de cómputo de la empresa Carrier Corporation, *HAP* v4.41, requerido por la guía *LEED*.

Posteriormente se realizó la evaluación de acuerdo a los parámetros establecidos por *LEED* para determinar la sustentabilidad del edificio desde el punto de vista energético y calidad del aire interior relacionado con el sistema de aire acondicionado, y se valoró el edificio desde una perspectiva cualitativa.

1.4 Alcance y limitaciones

La evaluación cuantitativa del sistema *LEED* a realizar se limita a las categorías o capítulos relacionados con el sistema de aire acondicionado del edificio: Energía y Ambiente (EA) y Calidad del Ambiente Interior (EQ).

El sistema *LEED* hace referencia y uso de las normas de la Sociedad Norteamericana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, *ASHRAE* (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers), como parte de la evaluación para obtener los créditos correspondientes en las categorías antes mencionadas.

Entre los requisitos de *LEED* es realizar una simulación energética para determinar el ahorro comparado a un diseño base que cumpla con los requisitos mínimos de la norma de energía para edificios altos de *ASHRAE*, el estándar *ANSI/ASHRAE* 90.1, en la versión del 2004.

Otros de los requisitos de *LEED* que competen al sistema de aire acondicionado, es cumplir con el manejo de la calidad del aire interior basado en la norma de *ASHRAE* sobre Ventilación para una aceptable calidad de aire interior, el estándar *ANSI/ASHRAE* 62.1, en la versión del 2004.

Las restantes categorías de la guía de evaluación *LEED* relacionadas con la selección del terreno, manejo y eficiencia del agua, y manejo de los materiales y desechos de la construcción, serán evaluadas cualitativamente como un complemento académico de este trabajo, además porque se trata de un edificio construido y porque estas categorías son competencia de otras ramas de la ingeniería y la arquitectura.

Finalmente no forma parte del alcance de este trabajo la implementación de los aspectos necesarios y obligatorios que se determinen para obtener una certificación como edificio sustentable.

CAPITULO 2
MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

El crecimiento de la población mundial se proyecta para mediados del siglo 21 alcance los 9,200 millones de habitantes, de acuerdo a la Revisión del 2006 de la División de Población de la Organización de las Naciones Unidas, concentrándose la mayor parte en los países más pobres y en zonas urbanas.

Centroamérica no se escapa de las tendencias demográficas mundiales presentando un acelerado crecimiento demográfico rural y urbano en las últimas décadas. Más de la mitad de la población centroamericana vive en ciudades y como consecuencia de ese rápido proceso de urbanización, la región no tiene las condiciones básicas para atender concentraciones tan altas de población en sus ciudades.

La urbanización no planificada y el rápido y desordenado crecimiento de las ciudades tienen también impacto negativo en el medio ambiente y el equilibrio ecológico como la deforestación, la pérdida de cobertura del suelo y la contaminación.

A esta problemática se le suma el cambio climático global como consecuencia del consumo de combustibles fósiles, la tala de bosques y otras prácticas contaminantes que incrementan la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (*CMNUCC* o *UNFCCC* por sus siglas en inglés) define que el cambio climático se le puede atribuir “directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad del clima natural observada durante períodos de tiempo comparables”, de acuerdo a la Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres (*ONU/EIRD*), 2008.

Los edificios y ciudades deben ser diseñados y planeados bajo un modelo sustentable de desarrollo. Sin una política fuerte de edificios energéticamente

eficientes y sustentables con el ambiente, no hay forma de disminuir el cambio climático global (Yudelson, 2007).

Estados Unidos junto con Europa Occidental, Canadá y Japón son los países que contribuyen a la mayoría de emisiones de gases de efecto invernadero. El rápido crecimiento de las emisiones producidas por China, India, el resto de Asia, Brasil y Rusia, hacen que se deba reducir urgentemente la huella de carbono (el impacto ambiental en términos de la cantidad de gases de efecto invernadero producidos y medidos en unidades de dióxido de carbono) a nivel mundial en las próximas décadas. El aumento de la temperatura y las consecuencias del cambio climático global para todos es inevitable. Se estima que solo en China en las próximas tres décadas se construirán la mitad de todas las edificaciones a nivel mundial para uso residencial, comercial e industrial (Yudelson, 2007).

En 1987 la Comisión Bruntland, liderada por la primera ministra noruega, Gro Bruntland, en la Comisión Mundial sobre el Ambiente y el Desarrollo de la Organización de las Naciones Unidas, establece el término “desarrollo sostenible”, del inglés: sustainable development, como “el desarrollo que asegura las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para enfrentarse a sus propias necesidades”. Esta definición tomada del sitio de Internet de la *UNESCO* (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, de sus siglas en inglés), indica que el ambiente y la calidad de vida del ser humano son tan importantes como el rendimiento económico y sugiere que los asuntos naturales, sociales y económicos son interdependientes, y que deben estar en equilibrio entre ellos, sin dejar de lado la parte cultural.

Los términos *sostenible*, *verde* y *alto desempeño*, se usan para referirse a la arquitectura y construcción amigable con el ambiente, sin embargo, la *sustentabilidad* en arquitectura y construcción la definen “como la forma racional y responsable de crear espacios habitables para el ser humano, bajo las premisas del ahorro de los recursos naturales, financieros y humanos, lo cual justifica la relación

con el ámbito del desarrollo sostenible (sociedad, medio ambiente y economía).” La arquitectura sustentable es la actividad que solucionará de manera completa y global el problema de los impactos generados por la actividad de la arquitectura y construcción en forma integral (Hernández, 2008).

Asimismo, la cumbre de la Tierra realizada en Río de Janeiro en 1992 adopta la Agenda 21, como su documento en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, que establece en la necesidad de fomentar la educación, la concientización y la capacitación para avanzar hacia un desarrollo sostenible.

2.2 Construcción sustentable

La industria de la arquitectura, construcción y urbanización produce un gran impacto al medio ambiente, manifestándose a nivel local y mundial, desde la elaboración de materiales como el cemento y el acero, utilización de recursos como el agua y materias primas, utilización de energía y emisiones liberadas a la atmósfera producto de los residuos generados.

De acuerdo a las cifras publicadas por la Administración de la Información Ambiental de los Estados Unidos (Environmental Information Administration, *EIA*) en el 2008, en ese país los edificios consumieron el 40% de la energía primaria generada de la cual un 72% proviene de la energía eléctrica y contribuyeron en un 39% de las emisiones de dióxido de carbono al ambiente. En 2005 cerca de un 11% del agua potable de Estados Unidos fue destinada al consumo público, un 1% para uso doméstico, un 4% para la industria y un 31% para riego, entre otros, según estudios publicados por la Encuesta Geológica de los Estados Unidos (US Geologicaly Survey).

Los siguientes puntos son los principios de diseño sustentable en arquitectura (Hernández, 2008):

- Respetar las condiciones y características del paisaje y del contexto en el proceso de creación del edificio, desde su trazado hasta su construcción y mantenimiento.
- Considerar el ciclo de vida de los edificios en el proceso de diseño.
- Considerar las características físicas del lugar como el clima, viento, suelo y agua para hacer un proyecto acorde y con ventajas en el confort térmico, acústico y consumo energético.
- Manejo de los recursos en edificación: manejo del sitio, manejo del consumo de energía del edificio, manejo del agua, manejo de los materiales, manejo de desechos y desperdicios generados en el proceso y en todo el ciclo de vida de los edificios, que incluye también el ciclo de vida de los materiales.

Además otros autores establecen principios similares para la construcción sustentable (Woolley, 1997) como por ejemplo:

a) Reducción del consumo energético

- Usar sistemas de iluminación y artefactos eléctricos de bajo consumo
- Hacer uso de energía solar
- Uso eficiente de calefacción y de baja contaminación
- Uso de sistemas de ventilación natural y pasiva en lugar que sistemas mecánicos

b) Minimizar la contaminación externa y daño ambiental

- Diseñar en armonía con los alrededores
- Evitar destrucción del hábitat natural y conservar los recursos naturales
- Reutilizar el agua llovida en sitio
- Tratar y reciclar las aguas residuales en sitio lo más posible
- Reducir el desperdicio sólido

c) Reducción de energía tradicional y agotamiento de recursos

- Utilizar materiales locales y del sitio
- Reducir uso de materiales importados
- Minimizar el uso de materiales de recursos no renovables

- Utilizar materiales de segundo uso y reciclados donde sea apropiado
- Reutilizar edificios y estructuras existentes

d) Minimizar contaminación interna y daños a la salud

- Uso de materiales no tóxicos y de baja emisión
- Evitar fibras de materiales aislantes que puedan entrar en el ambiente
- Asegurar una buena ventilación natural
- Reducir el polvo
- Reducir impacto de campos electromagnéticos
- Involucrar a los usuarios en el diseño y manejo de edificios y evaluación de alternativas amigables con el ambiente

No debe verse la construcción sustentable como una moda ecológica sino como una verdadera necesidad actual y para el futuro del desarrollo de la región, a pesar que el movimiento de construcción sustentable ha sido de los movimientos ambientalistas particularmente de los más exitosos y de rápido crecimiento en Estados Unidos (Kibert, 2008).

Por otro lado, en 1994 el Consejo Internacional de la Construcción, CIB (de las siglas en francés del: Conseil International du Bâtiment), define las metas de la construcción sostenible como "... crear y operar un ambiente saludable basado en el uso eficiente de los recursos y en un diseño ecológico..." (Kibert, 2008). La CIB es una organización establecida en 1953 con sede en Róterdam creada para facilitar la cooperación e intercambio entre los institutos gubernamentales de investigación en el sector de la construcción.

2.3 Sistemas de evaluación de construcciones sustentables

El movimiento de edificios verdes a nivel internacional empezó a tomar fuerza a finales de la década de los años 80 organizados gracias al CIB y a la Unión Internacional de Expertos en Materiales de Construcción, Sistemas y Estructuras (*RILEM*).

A partir del año 1990, el Reino Unido pone en marcha el programa *BREEAM* (Método de Valoración Ambiental del Establecimiento de Investigación de Edificios, de sus siglas en inglés de: Building Research Establishment's Environmental Assessment Method), que es el primer sistema de evaluación en el tema de construcción sustentable y sigue vigente hasta la fecha. El éxito de *BREEAM* en el Reino Unido motivó a varios países de la Unión Europea a aceptarlo y a otras naciones a desarrollar su propio sistema de asesoramiento y certificación, como el caso de Japón con el Consorcio Japonés de Edificaciones Sostenibles con el Sistema Integral de Evaluación para Edificios Ambientalmente Eficientes (*CASBEE*, de sus siglas en inglés de Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency) y de Australia desarrollado por el Consejo de Edificios Verdes de Australia (*GBCA* de las siglas del inglés de Green Building Council of Australia) con el sistema Estrella Verde (Green Star). Estos sistemas se expondrán más adelante.

Eventos como la publicación en 1987 del Informe Bruntland: "Nuestro Futuro Común", presentado en la 42va sesión de las Naciones Unidas, fruto del trabajo de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo, que estableció una definición de desarrollo sostenible haciendo hincapié en que el empobrecimiento de la población mundial era una de las principales causas del deterioro ambiental; la reunión en 1989 del Instituto de Arquitectos de Estados Unidos (de sus siglas en inglés de *AIA*, American Institute of Architects) que crea Comité del Ambiente (de sus siglas en inglés de *COTE*, Committee on the Environment) y la Cumbre de Río de la Naciones Unidas en 1992 sobre desarrollo sostenible, focalizaron la atención a finales de los años 80 y principios de los 90 en problemas asociados con el impacto ambiental producido por el hombre, como el agotamiento de la capa de ozono, el cambio climático y destrucción de la fauna marina, y por lo tanto la industria de la construcción debía que revertir la tendencia con nuevas prácticas que minimicen la contaminación y destrucción de recursos naturales, dando inicio a un nuevo modelo de construcción, la construcción sustentable.

En Estados Unidos previo al año 1998, los edificios amigables con el ambiente fueron conceptualizados por grupos de arquitectos e ingenieros que confiaban en su propia interpretación de edificios verdes sin ninguna directriz o normativa. En 1998 el Consejo de Edificios Verdes de Estados Unidos (*USGBC*, de las siglas en inglés de U.S. Green Building Council) luego de analizar documentos y programas de valoración ambientales como *BREEAM* y otros, cambió el panorama en Estados Unidos a través del sistema *LEED* versión 1.0 de evaluación para Nuevas Construcciones (*LEED-NC*), especificando una guía de evaluación y criterios para la construcción sustentable.

Existen sistemas importantes que proveen otras perspectivas de la construcción sustentable, como es el caso de las herramientas de evaluación *SBtool* antes *GBTool*, creadas por la organización Desafío de la Edificación Verde (Green Building Challenge).

Por lo tanto a nivel mundial, se está impulsando la construcción sustentable mediante programas de asesoramiento y evaluación, entre los sistemas más conocidos y algunos previamente mencionados se encuentran:

- Estados Unidos con *LEED*
- Reino Unido con *BREEAM*
- Japón con *CASBEE*
- Australia con *Green Star*

La mayoría de estas guías de calificación se basan en un sistema de puntos según criterios definidos para calificar cuán amigable con el ambiente es el proyecto o edificación en análisis.

2.3.1 Programa de Liderazgo en Diseño Energético y Ambiental (*LEED*)

En el año 1998 Estados Unidos a través del *USGBC* presenta el programa de Liderazgo en Diseño Energético y Ambiental (*LEED*), un sistema voluntario que

evalúa la calidad de los edificios para que éstos sean sustentables y minimizar el impacto sobre el medio ambiente y los recursos naturales.

El sistema *LEED* en su versión 2.2 ha desarrollado sistemas de calificación para los diferentes tipos de edificaciones que se diseñan y construyen, y se agrupan siguiendo las siguientes categorías:

- Nuevas Construcciones y Remodelaciones Mayores (*NC*: New Construction)
- Edificios Existentes (*EB*: Existing Buildings)
- Edificios para Interiores Comerciales (*CI*: Commercial Interiors)
- Estructuras Externas (*CS*: Core and Shell)
- Casas Habitación (*H*: Home), en programa piloto
- Desarrollos Habitacionales (*ND*: Neighborhood Development), en programa piloto.

Se deben cumplir con prerrequisitos obligatorios para alcanzar los créditos según el tipo de edificio.

Las categorías a evaluar por la guía *LEED* para cada tipo edificación son:

- Sitio Sostenible (*SS*)
- Eficiencia en el Manejo del Agua (*WE*)
- Energía y Atmósfera (*EA*)
- Materiales y Recursos (*MR*)
- Calidad del Ambiente Interior (*EQ*)
- Innovación y Diseño (*ID*)

Este sistema de puntuación se basa en estudios realizados por expertos en las diferentes áreas señaladas y reflejan la realidad del contexto estadounidense, con su clima, tipo de suelo, condiciones económicas y recursos disponibles para la arquitectura y urbanismo.

Este sistema se basa mucho en el ciclo de vida y utiliza listas de chequeo para la valoración del impacto de los materiales. Algunas simplificaciones pueden llevar

a resultados imprecisos. El *USGBC* está en proceso de desarrollar un acercamiento hacia la metodología del Establecimiento de Investigación en Edificación *BRE* (Building Research Establishment) del Reino Unido sobre la evaluación de los materiales.

Existen cinco diferentes calificaciones para el edificio según el puntaje obtenido, las cuales son en orden ascendente: No certificado (no alcanza el puntaje mínimo y/o no cumple con los prerrequisitos establecidos), Certificado, Plata, Oro y Platino.

2.3.2 Método de Valoración Ambiental del Establecimiento de Investigación de Edificios (*BREEAM*)

El Método de Valoración Ambiental del Establecimiento de Investigación de Edificios (*BREEAM*) es un estándar ampliamente usado para el diseño sustentable de edificios. Es el programa de mayor trascendencia a nivel mundial y se desarrolló en 1988 en la organización nacional de investigaciones sobre construcción del Reino Unido para ayudar a transformar y estandarizar la construcción de edificios de oficinas, saliendo al mercado en 1990.

BREEAM enfoca el desempeño de los edificios en las siguientes áreas:

- Administración: política de control en todo aspecto.
- Energía: uso de energía en operación y control del dióxido de carbono.
- Salud y bienestar: factores internos y externos que afectan el bienestar.
- Contaminación: asuntos de contaminación de aire y agua.
- Transporte: Dióxido de Carbono (CO₂) debido al transporte y factores de localización.
- Uso de suelo: fertilidad de las tierras del sitio por construir.
- Ecología: conservación y mejoramiento del sitio.
- Materiales: implicaciones ambientales a corto y largo plazo.
- Agua: consumo y eficiencia en el manejo de las aguas.

El profesional evaluador acreditado *BREEAM* otorga calificaciones en cada área dependiendo del rendimiento. Una serie de “pesos ambientales” para cada área permite realizar una sumatoria y obtener un puntaje total. Los edificios son calificados como Excelente, Muy Buenos, Buenos o Aprobados. *BREEAM* se especializa primordialmente en edificios de oficinas, casas y naves industriales, aunque en el año 2003 se presentó una versión para la construcción de tiendas por departamentos.

2.3.3 Sistema Integral de Evaluación para Edificios Ambientalmente Eficientes (*CASBEE*)

El Consorcio Japonés de Edificaciones Sostenibles crea en 2004 el Sistema Integral de Evaluación para Edificios Ambientalmente Eficientes (*CASBEE* del inglés de Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency), con la cooperación de entidades académicas, industriales y gubernamentales. Se crea un sistema diseñado específicamente para las condiciones culturales, políticas y sociales de Japón y puede ser usado para evaluar los impactos a través de la vida del edificio.

La metodología utilizada por *CASBEE* para la puntuación es llamada Eficiencia Ambiental del Edificio, (de sus siglas en inglés de *BEE*: Building Environmental Efficiency), que distingue la reducción del impacto ambiental con la calidad del desempeño del edificio. Este enfoque *BEE* fue desarrollado por el *iiSBE* con su herramienta *GBTTool*.

Las categorías de edificios a evaluar basadas en las diferentes fases son:

- Prediseño: para proyectos que están en la fase preliminares de diseño y planeamiento y selección del sitio
- Nuevas Construcciones: asesora en proyectos en la fase de diseño y construcción
- Renovaciones: ayuda en la asesoría de remodelaciones y mejoramiento de las edificaciones existentes

El sistema *CASBEE* tiene una metodología de cálculo complejo. Como *BREEAM*, *CASBEE* utiliza ponderaciones para balancear las medidas disponibles para mejorar el desempeño ambiental, pero no reflejan necesariamente el impacto ambiental. Utiliza coeficientes correctores para cada una de las categorías como Energía, Recursos y Materiales, Calidad del Aire Interior, entre otras y otros coeficientes para subcategorías. Con todas estas variables se obtiene una calificación la cual se interpreta con un diagrama especialmente generado para este sistema.

Hay cinco categorías disponibles en la evaluación:

- C: con un *BEE* de 0 a 0.49
- B-: con un *BEE* de 0.5 a 0.99
- B+: con un *BEE* de 1.0 a 1.49
- A: con un *BEE* de 1.50 a 2.99
- S: con un *BEE* mayor a 3.0

En términos generales existen créditos en *CASBEE* que no tienen su equivalente en *BREEAM* por lo que su comparación del sistema de puntuación *CASBEE* con *BREEAM*, *LEED* o “Green Star” se hace difícil.

2.3.4 Sistema Estrella Verde

El sistema “Green Star” o “Estrella Verde” es un sistema de asesoramiento voluntario para la construcción sustentable desarrollado en Australia por el Consejo de Edificios Verdes de Australia, y tiene un 11% de los edificios de oficinas certificados en ese país, aunque pretende llegar a un documento capaz de evaluar diferentes tipos de construcciones como residencias, industrias y tiendas por departamentos. Este sistema presentado en 2003, se basa en herramientas existentes del mismo tipo como *BREEAM* y *LEED*, y establece criterios individuales para mediciones ambientales con relevancia a su contexto particular de Australia.

El sistema “Green Star” evalúa las siguientes categorías:

- Administración del proyecto
- Calidad del ambiente interno
- Energía
- Transporte
- Agua
- Materiales
- Uso del suelo y ecología
- Emisiones
- Innovación

El programa “Green Star” califica con “estrellas” según el nivel de desempeño, siendo la calificación más alta con Seis Estrellas y el edificio es llamado “World Leader” cuando se obtienen más de 75 puntos. Esta certificación de Seis Estrellas es reconocida a nivel local e internacional.

2.3.5 Iniciativa Internacional para un Ambiente Construido Sustentable

El *SBTool* es una exhaustiva y sofisticada herramienta de asesoramiento en construcción desarrollada por un grupo internacional donde participan especialistas y académicos de todo el mundo, en lo que se llamó inicialmente “Green Building Challenge” o Desafío de la Edificación Verde, y que luego se transformó en un organismo llamado Iniciativa Internacional para un Ambiente Construido Sustentable, de sus siglas en inglés de iSBE (Internacional Initiative for a Sustainable Built Environment). Es un método muy completo de unos 120 parámetros para la evaluación del comportamiento ambiental de las edificaciones. Su intención es servir de base para crear sistemas de certificación locales, por ejemplo Italia creó un sistema que denominó Protocolo *ITACA* y en España crearon el Sistema Verde.

Las conferencias internacionales de este organismo se han celebrado cada dos años a partir de 1998 y representaciones de más de diez países tratan de demostrar el arte y la ciencia de la construcción sostenible en su respectivo país.

SBTool antes *GBTTool* o “herramienta para construcción verde”, provee una base estandarizada para comparar la amplia gama de edificaciones que se evalúan en el concurso, por esta razón es que se necesita extensa y clara información del edificio y de un modelo al cual se va a comparar y así comprobar el desempeño con respecto a la norma.

Las categorías de *SBTool* son:

- Consumo de recursos
- Cargas ambientales
- Calidad del ambiente interno
- Economía
- Administración y Transporte

Para cada categoría existe una escala de cumplimiento desde 0 a 5:

- 0: práctica aceptable (igual a la referencia)
- 3 : buena práctica
- 5 : práctica sobresaliente

2.4 Sistema de Evaluación *LEED-CS 2.0*

El concepto desarrollado por la empresa inmobiliaria para el Oficentro El Cedral fue construir la estructura base de los tres edificios para uso de oficinas, construir su envolvente e instalar el sistema central de aire acondicionado, el sistema principal de potencia eléctrica, sistema de iluminación principal para parqueos y áreas comunes, y sistemas de servicio como la red de distribución de agua potable, red de evacuación de aguas pluviales y aguas residuales ordinarias, y sistemas de protección contra incendio, dejando las previstas de conexión para cada una de las fincas de los edificios a los sistemas electromecánicos descritos.

Por este tipo de desarrollo constructivo, el sistema de calificación de construcción sustentable *LEED* a utilizar en este trabajo va ser el sistema *LEED-CS* (Core and Shell), que aplica para edificios que cuentan con el sistema central de

potencia eléctrica y de climatización, su estructura y su envolvente. No se incluyen las divisiones internas de las oficinas, acabados interiores, iluminación interna, ni mobiliario y artefactos eléctricos del personal que va hacer uso de los espacios.

Las seis categorías del sistema *LEED-CS* en su versión 2.0 del 2006 como objeto del estudio son: Sitio Sostenible (SS), Eficiencia en el manejo del Agua (WE), Energía y Ambiente (EA), Materiales y Recursos (MR), Calidad del Ambiente interno (EQ) e Innovación y Diseño (ID).

Con respecto a estas categorías se va exponer las generalidades que cada una de ellas evalúa y pretende alcanzar para obtener los puntajes establecidos.

a) Sitio Sostenible (SS)

La selección del sitio por parte del cliente y el desarrollador es una parte muy importante y crítica en el desarrollo del edificio para convertirse en un edificio sustentable, previo a la contratación del equipo diseñador de arquitectura e ingeniería.

Se pretende con la adecuada selección del sitio reducir la modificación del entorno natural al proyecto, proteger las reservas naturales y zonas agrícolas existentes. Además se pretende reducir el uso del automóvil e incentivar el uso del transporte público disponible en la zona y el uso medios de transporte alternativos que no generen contaminantes al medio ambiente.

b) Eficiencia en el Manejo del Agua (WE)

Esta categoría se enfoca en la disminución del consumo y uso del agua potable, el reutilización y el tratamiento que reciben las aguas residuales antes de su vertido a la red municipal o a un cuerpo de agua receptor como los ríos u océanos.

c) Energía y Atmósfera (EA)

Cubre los aspectos energéticos desde el diseño, con el objetivo de que su operación no signifique un alto consumo de energía para el edificio. Promueve

además el uso de energías renovables y sistemas pasivos de climatización para los edificios, apoyando protocolos de protección de la capa de ozono.

d) Materiales y Recursos (MR)

Por medio de esta categoría se impulsa el uso de materiales reciclables, que desde su concepción no generan un impacto negativo al medio ambiente.

Se fomenta en el diseño estrategias que reduzcan y reutilicen los materiales y residuos de construcción, reduciendo las emisiones y el impacto al ambiente.

e) Calidad del Ambiente Interno (EQ)

Por la gran cantidad de enfermedades relacionadas a los edificios, como el llamado “Síndrome del Edificio Enfermo”, se apoya las tecnologías innovadoras que no afectan el bienestar de las personas durante la construcción del proyecto, ni en la etapa de ocupación y operación del edificio.

Se pretende establecer una buena calidad de aire en el interior de los edificios de forma de eliminar, reducir y administrar de manera eficiente las fuentes contaminantes interiores.

Con una calidad de aire interior se puede asegurar el confort térmico para los ocupantes del edificio y optimizar el control de los sistemas que lo proporcionan.

f) Proceso de Diseño e Innovación (ID)

En esta categoría se pretende calificar el desempeño en el diseño sustentable por encima de las exigencias establecidas por *LEED*.

Por otro lado *LEED* otorga un punto adicional si el proyecto es guiado por profesionales acreditados por el *USGBC*, llamados *LEED AP*.

En las tablas siguientes se presenta la puntuación máxima que se puede obtener en cada categoría y la certificación otorgada según el puntaje total obtenido en la sumatoria de todas las categorías.

Tabla 2.1: Puntaje por categoría del sistema *LEED-CS 2.0*

Categoría	Puntaje máximo
Sitios Sostenibles (SS)	15
Eficiencia en el Manejo del Agua (WE)	5
Energía y Atmósfera (EA)	14
Materiales y Recursos (MR)	11
Calidad del Ambiente Interno (EQ)	11
Proceso de Diseño e Innovación (ID)	5
Puntaje total máximo	61

Fuente: <http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=1728>

Tabla 2.2: Puntaje requerido para las calificaciones de *LEED-CS 2.0*

Calificación	Puntaje
Platino	45-61 puntos
Oro	34-44 puntos
Plata	28-33 puntos
Certificado Verde	23-27 puntos
No califica	22 o menos puntos

Fuente: <http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=1728>

2.4.1 Sitios sostenibles (SS)

La categoría de sitios sostenibles (SS) tiene un prerrequisito y un máximo de 15 puntos que se pueden obtener mediante la implementación de medidas que reduzcan en la medida de lo posible el impacto ambiental de la edificación.

2.4.1.1 SS Prerrequisito 1: Prevención de la contaminación generada en la construcción

Su propósito es reducir la contaminación generada por las actividades de la construcción controlando la erosión del suelo, la sedimentación y el polvo generado.

El requerimiento es diseñar e implementar un plan de control de erosión y sedimentación (CES) que prevenga la pérdida de material por medio del viento o del agua. El plan debe cumplir con la regulación más restrictiva entre las regulaciones locales y las establecidas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, la *EPA*, de sus siglas en inglés de Environmental Protection Agency.

2.4.1.2 SS Crédito 1: Selección del sitio (1 punto)

Su objetivo es seleccionar el sitio evitando el desarrollo de las construcciones en lugares inapropiados reduciendo el impacto ambiental.

Se requiere que los edificios, calles y estacionamientos no se construyan en:

- Tierras definidas para cultivo establecidas por los Departamentos de Agricultura.
- Tierras no desarrolladas en zonas cuya elevación sea menor a 1.5 metros por encima del nivel de inundación con un período de retorno de 100 años, según la Agencia Federal de Manejo de Emergencias de Estados Unidos, la *FEMA* de sus siglas en inglés de *Federal Emergency Management Agency*.
- Tierras identificadas como hábitat de especies en peligro de extinción o en zonas protegidas.
- Terrenos no desarrollados que se encuentren en un radio menor de 15 metros de un cuerpo de agua. En Costa Rica, este punto es regulado por los artículos 33 y 34 de la Ley Forestal, el cual exige una separación mínima de un cuerpo de agua, siendo 10 metros en zonas urbanas y 15 metros en zonas

rurales medidos horizontalmente en terrenos planos y 50 metros horizontales en terrenos quebrados.

2.4.1.3 SS Crédito 2: Densidad del desarrollo y conectividad con la comunidad (1 punto)

Su objetivo es canalizar el desarrollo hacia áreas urbanas con infraestructura existente, lejos de terrenos no desarrollados y zonas protegidas.

Los requerimientos se plantean mediante dos opciones:

- Construir o renovar en una zona previamente desarrollada con una densidad mínima de 5574 m² de área de construcción sobre 4046 m² de área de terreno (60 000 pies² de construcción por acre neto de terreno), basado en un desarrollo típico de edificios de dos pisos.
- Construir o renovar en una zona previamente desarrollada localizada a una distancia menor de 805 metros (0.5 millas) de una zona residencial y a 805 metros (0.5 millas) de al menos diez servicios básicos y deben existir accesos peatonales entre el edificio y los servicios.

2.4.1.4 SS Crédito 3: Redesarrollo de zonas industriales (1 punto)

Rehabilitar los sitios dañados en zonas industriales donde por la contaminación ambiental el desarrollo es complicado, de manera que se reduzca el uso de terrenos cultivables o no desarrollados para la construcción.

Se debe obtener la declaración por un ente gubernamental que el terreno es una zona industrial contaminada.

2.4.1.5 SS Crédito 4.1: Acceso a transporte público (1 punto)

Se pretende reducir la contaminación y el impacto causado por el uso del automóvil.

Debe existir una parada de autobuses de al menos dos rutas de transporte público a menos de 402 metros (0.25 millas) del sitio o una estación de tren, metro o tranvía a menos de 805 metros (0.5 millas) del proyecto.

2.4.1.6 SS Crédito 4.2: Parqueo de bicicletas (1 punto)

Mantiene el mismo objetivo del crédito anterior en reducir la contaminación por el uso del automóvil.

Para edificios comerciales e institucionales se debe proveer un espacio seguro para almacenamiento de bicicletas ubicado a una distancia máxima de 183 metros (200 yardas) de la entrada de la edificación y vestidores con duchas para al menos un 3% de su población. Para desarrollos residenciales, se debe proveer un espacio seguro cubierto bajo techo para un mínimo de un 15% de sus ocupantes.

2.4.1.7 SS Crédito 4.3: Vehículos con combustibles alternativos (1 punto)

Para reducir el impacto generado por uso del automóvil tradicional, es facilitar el uso de vehículos con combustibles alternativos.

Se debe facilitar el acceso a vehículos de bajas emisiones y a vehículos de consumo eficiente de combustible para un mínimo del 3% de los ocupantes, ofrecer parqueo preferencial para estos vehículos de al menos en un 5% de la capacidad del estacionamiento o instalando estaciones de servicio de estos combustibles para ese porcentaje.

2.4.1.8 SS Crédito 4.4: Capacidad de parqueo (1 punto)

El objetivo es reducir la contaminación e impacto por el uso del automóvil utilizado por un solo ocupante.

Se debe cumplir pero no exceder el mínimo de espacios de parqueo establecido por las regulaciones locales y brindar facilidades a vehículos

compartidos por varios ocupantes o microbuses reservando un 5% del total del estacionamiento.

En Costa Rica, el mínimo espacio de parqueo está regulado por el capítulo XVIII del Reglamento de Construcciones, que en su artículo primero establece que en áreas de construcción mayores a doscientos metros cuadrados, todo edificio destinado a oficinas deberá facilitar un espacio para estacionamiento por cada 100 m² o fracción mayor de 50 m² adicionales de área bruta de construcción.

2.4.1.9 SS Crédito 5.1: Desarrollo de sitio, protección o restauración del hábitat (1 punto)

Conservar las áreas naturales existentes y restaurar las áreas dañadas promoviendo la biodiversidad, minimizando el impacto de la construcción en los sistemas naturales con la menor alteración del entorno.

En terrenos no desarrollados limitar la perturbación causada por el proyecto a 12 metros (40 pies) medidos desde el perímetro del edificio, 3 metros (10 pies) a partir de aceras, patios y estacionamientos y a 7.6 metros (25 pies) para áreas construidas con superficies permeables.

2.4.1.10 SS Crédito 5.2: Maximizar los espacios abiertos (1 punto)

Alcanzar una amplia relación de espacios abiertos con respecto a la huella del edificio promoviendo la biodiversidad.

Se debe reducir la huella del desarrollo compuesta por la edificación misma, zonas pavimentadas para estacionamientos y accesos o incluir zonas verdes para lograr tener un 25% más del área libre de lo exigido por la ley. Cuando se permita un 100% de cobertura por algún plan regulador, se debe ceder un 20% del proyecto para zonas verdes.

Para edificios de oficinas o de habitación multifamiliar, el Reglamento de Construcciones permite un máximo del 70% de cobertura, mientras que en zonas industriales se reduce al 60%.

2.4.1.11 SS Crédito 6.1: Diseño pluvial – Control de la cantidad (1 punto)

El objetivo primordial de este punto es limitar la alteración de la hidrología natural de los cuerpos de agua, mediante la reducción de superficies impermeables, aumento de la capacidad de infiltración en el sitio y buen manejo del la evacuación de las aguas llovidas.

Se puede conseguir implementando un plan para el manejo de la escorrentía previniendo el pico y la cantidad de descarga del post-desarrollo exceda el pico y cantidad de agua del pre-desarrollo. Los cálculos se basan en tormentas de diseño de 24 horas con períodos de retorno de uno y dos años.

Se puede implementar planes de manejo de la escorrentía que proteja la de la erosión excesiva al cuerpo de agua receptor o implementar un plan que resulte en una disminución del 25% del volumen de agua para una tormenta de diseño de 24 horas con un período de retorno de dos años.

Otras formas para manejar la escorrentía son mediante pavimentos permeables o utilizar vegetación en los techos reduciendo la escorrentía hacia el cuerpo receptor de agua, o capturar y contener el agua llovida en sitio y utilizarla para usos no potables como en inodoros e irrigación.

2.4.1.12 SS Crédito 6.2: Diseño pluvial – Control de la calidad (1 punto)

Reducir la contaminación hacia el cuerpo de agua receptor disminuyendo la cobertura impermeable e incrementando la capacidad de infiltración en el desarrollo, eliminando fuentes de contaminación y remoción de elementos contaminantes.

Mediante un plan de manejo de la escorrentía se debe reducir la cobertura impermeable, promueva la infiltración y capture y trate la escorrentía procedente del 90% del promedio anual de lluvia.

2.4.1.13 SS Crédito 7.1 Efecto isla de calor en superficies no techadas (1 punto)

La temperatura en las áreas urbanas puede ser mayor que en las zonas rurales como consecuencia de la absorción y reflexión de la radiación solar producida por componentes de las construcciones existentes, en particular las superficies oscuras y poco reflectivas utilizadas en pavimentos y techos. Este fenómeno se denomina *efecto isla de calor*, que es el diferencial de temperatura entre las áreas desarrolladas y no desarrolladas, produciendo un consumo mayor de energía en los sistemas de aire acondicionado y formación de distintos microclimas en las áreas desarrolladas.

El objetivo de este crédito es reducir las islas de calor para minimizar el impacto en los microclimas, en el hábitat humano y en los hábitats de vida silvestre.

Este efecto se puede reducir mediante la aplicación de estrategias para el 50% de las zonas externas no verdes, con el uso de materiales con colores claros para parqueos y pavimentos con un Índice de Reflectancia Solar (IRS) de al menos 29 o ubicando estas instalaciones en sótanos o utilizando zacate bock. Otra opción es la siembra de árboles para brindar sombra a las estructuras y utilizar elementos arquitectónicos que produzcan sombra donde no se pueda sembrar vegetación.

2.4.1.14 SS Crédito 7.2: Efecto isla de calor en superficies techadas (1 punto)

Reducir el efecto de isla de calor, utilizando cubiertas de techos con colores con IRS establecidos según la pendiente del techo o cubrir con vegetación en mínimo de 50% de la superficie del techo.

2.4.1.15 SS Crédito 8: Reducción de la contaminación lumínica (1 punto)

Minimizar la luz que traspasa los límites del edificio, reducir el resplandor artificial nocturno en el cielo y reducir el impacto de los desarrollos en los ambientes nocturnos.

Se puede enfocar adoptando criterios de iluminación a nivel interior y exterior que se mantengan dentro de un nivel apto para la circulación de las personas, donde el ángulo de las luces intersequen con superficies opacas dentro del edificio sin salirse por las ventanas para no contaminar el cielo en las noches.

2.4.1.16 SS Crédito 9: Directrices de diseño y construcción al inquilino (1 punto)

Proporcionar a los inquilinos una herramienta descriptiva que eduque y ayude a implementar el diseño sustentable hacia las construcciones en las siguientes fases del proyecto como la coordinación con las remodelaciones interiores y las certificaciones posteriores.

2.4.2 Eficiencia en el Manejo del Agua (WE)

Esta categoría no tiene prerrequisitos e incluye cinco créditos, enfocándose a la reutilización del agua para fines no potables como el riego, uso de piezas sanitarias de menor consumo de agua potable, reduciendo la cantidad de aguas residuales para su posterior tratamiento y transporte hacia los cuerpos de agua.

2.4.2.1 WE Crédito 1.1: Uso eficiente del agua para riego – Reducción del 50% de agua potable (1 punto)

Su objetivo es reducir o limitar del uso de agua potable u otras fuentes de agua sub o superficiales disponibles para riego del paisajismo de la edificación.

Reduciendo en un 50% el consumo de agua potable destinada para riego se otorga el punto del crédito. La reducción se puede lograr con un sistema eficiente de irrigación, utilizando el agua pluvial almacenada o utilizando aguas residuales ordinarias recicladas (aguas grises), entre otras. Los cálculos se deben hacer para una base de la mitad del verano.

2.4.2.2 WE Crédito 1.2: Uso eficiente del agua para riego – Uso de agua no potable (1 punto)

Este crédito tiene el mismo objetivo que el anterior, enfocándose en utilizar agua pluvial almacenada, aguas grises o agua tratada y transportada por un tercero para uso de la irrigación del edificio.

Otra opción para reducir el riesgo es sembrar jardinería que no requiera irrigación permanente.

2.4.2.3 WE Crédito 2: Uso de tecnologías innovadoras en aguas residuales (1 punto)

Se pretende reducir la generación de aguas residuales y la demanda de agua potable, mientras se recarga el acuífero de la zona.

Se premia la reducción en un 50% del consumo de agua potable utilizando sistemas eficientes de bajo consumo como inodoros de doble acción, orinales libres de agua o capturar y tratar las aguas jabonosas para las descargas de inodoros u orinales.

2.4.2.4 WE Crédito 3.1: Reducción en el uso del agua en un 20% (1 punto)

Se pretende maximizar la eficiencia en el uso del agua para reducir la demanda de agua potable y la carga de aguas residuales.

Con el empleo de estrategias se puede reducir el del agua potable en un 20% calculada con un edificio base sin incluir irrigación establecidos en el desempeño para fontanería del Acta Estadounidense de la Política Energética de 1992 (Energy Policy Act, *EPAct*). Estos cálculos se realizan para la ocupación estimada del edificio y deben incluir las siguientes piezas sanitarias: inodoros, orinales, lavatorios, duchas y fregaderos.

2.4.2.5 WE Crédito 3.2: Reducción en el uso del agua en un 30% (1 punto)

Si la estrategia implementada en el manejo del agua siguiendo los mismos principios y objetivos del inciso anterior resulta en una reducción del 30% del consumo de agua potable, se otorga un punto adicional. Igualmente se deben realizar y presentar los mismos cálculos que en el crédito anterior.

El obtener un punto adicional puede motivar a una mayor inversión inicial para eliminar el desperdicio de agua potable y fomentar el ahorro del agua en los ocupantes.

2.4.3 Energía y Atmósfera (EA)

Durante la fase de diseño, el inversionista debe conocer a través de su equipo consultor un estimado del consumo energético del edificio y por consiguiente el costo del funcionamiento y operación del edificio por concepto de energía. Los costos de operación pueden reducirse con un diseño energético eficiente de edificio y el costo global del proyecto en su vida útil puede reducirse aunque la implementación de los sistemas eficientes tenga un costo inicial superior al diseño tradicional.

Los variables a considerar en un diseño energético eficiente son: optimizar el *diseño pasivo* de la edificación, utilizando iluminación y ventilación natural; maximizar el desempeño de los sistemas de climatización térmica de acuerdo a la orientación del edificio; e incorporar el uso de energías renovables al máximo posible.

La categoría de energía y atmósfera (EA) enfoca los aspectos energéticos para los edificios de alto desempeño y su potencial impacto ambiental que ellos producen. Posee tres prerequisites que deben cumplirse obligatoriamente y cuenta con 14 puntos como el máximo posible de alcanzar, de los cuales 8 puntos se pueden obtener solo del crédito 1, que no obstante a partir de Junio del 2007 se deben conseguir dos puntos mínimos en este crédito, que lo convierte en un prerequisite parcial.

2.4.3.1 EA Prerequisite 1: Inspección de los sistemas de energía del edificio

Este inciso se refiere a la verificación y confirmación documentada realizada por un tercero sobre los sistemas de energía instalados en el edificio, haciendo constar que se instalaron, se probaron, se calibraron y operan de acuerdo a los requerimientos del cliente, las bases de diseño y los documentos constructivos o especificaciones técnicas. En Costa Rica no se acostumbra a realizar este proceso de verificación documentado y se entregan los sistemas de energía del edificio al cliente funcionando y cumpliendo con lo especificado en el cartel para su ocupación.

Este proceso de verificación debe ser completado por un equipo especial establecido para los efectos, independiente del equipo diseñador y contratista general de la construcción. Los pasos a seguir en este proceso indicados por la guía *LEED* son:

- Designar a una persona como la Autoridad de Verificación (AxV), para liderar, revisar y supervisar las actividades de verificación. Esta persona debe tener experiencia documentada en este campo en al menos dos proyectos.

- El propietario debe documentar sus requerimientos de proyecto y su equipo diseñador establecer las bases de diseño, que el AxV debe verificar que los documentos estén completos y claros, previo a la construcción.
- Se deben incorporar los requerimientos para la verificación en las especificaciones técnicas.
- Desarrollar e implementar un plan de verificación
- Verificar la instalación y desempeño de los sistemas a ser verificados.
- Presentar un reporte de los trabajos.

Los sistemas a verificar y documentar por terceros son como mínimo los siguientes, si fueron instalados en esta etapa del proyecto:

- Sistemas mecánicos de climatización (aire acondicionado y calefacción) y de refrigeración, además de sus sistemas de control asociados.
- Sistema de iluminación y su respectivo control.
- Sistemas de agua caliente.
- Sistemas de energía renovable como solar y eólico entre otros.

2.4.3.2 EA Prerrequisito 2: Eficiencia mínima de energía

Se pretende establecer el nivel mínimo de eficiencia energética para la edificación propuesta y sus sistemas de energía.

Como requisito se debe cumplir con las secciones 5.4, 6.4, 7.4, 8.4, 9.4 de la norma *ASHRAE/IESNA* 90.1-2004 o superior, y los requerimientos de desempeño establecidos en la Sección 11 de la misma norma, o aplicar el código local si éste fuera más estricto que la norma. En el caso de Costa Rica, no se tiene un código de desempeño de energía análogo a la norma 90.1 del *ASHRAE*, por lo que se deberá seguir sus lineamientos establecidos si se pretende certificar con *LEED*.

Posteriormente se ampliará los requisitos mínimos y su implementación al sistema de aire acondicionado del edificio como parte de los objetivos de este trabajo.

2.4.3.3 EA Prerrequisito 3: Manejo de los refrigerantes principales

Este prerrequisito tiene como objetivo reducir el daño y el agotamiento de la capa de ozono, obligando a la no utilización de los refrigerantes clorofluorocarbonos llamados CFC y usar los refrigerantes llamados “ecológicos” en los sistemas nuevos principales o base de los sistemas de aire acondicionado y refrigeración. En caso de reutilización de sistemas existentes de climatización que utilizan refrigerantes CFC, se debe realizar una conversión a los otros refrigerantes previo al término del proyecto. Unidades pequeñas que contengan menos de 0.23 kg de refrigerantes no son considerados como parte del sistema base, por lo que no están sujetos a los requerimientos de este prerrequisito.

El Plan de Manejo de Refrigerantes (PMR) desarrollado por el Ministerio de Ambiente y Energía es la estrategia que Costa Rica ha propuesto ante el Comité Ejecutivo del Protocolo de Montreal para la eliminación gradual del uso e importación de refrigerantes clorofluorocarbonados (CFC) agotadores de la capa de ozono. Los ingenieros mecánicos deben especificar el uso de refrigerantes alternativos, eficientes, con valores bajos de PDO (Potencial de Agotamiento o Depleción de la Capa de Ozono) y con bajo PCG (Potencial de Calentamiento Global).

2.4.3.4 EA Crédito 1: Optimizar el desempeño energético (8 puntos)

Se pretende alcanzar un incremento en los niveles de desempeño energético del edificio sobre la línea base indicada en el prerrequisito EA2, para reducir los impactos ambientales y económicos asociados al uso excesivo de energía.

Se deben escoger tres opciones para alcanzar los objetivos de este crédito. La guía *LEED-CS* aclara que para edificios registrados después del 26 de Junio de 2007 se deben obtener obligatoriamente 2 puntos como mínimo de los 8 posibles.

Como primera opción se pueden alcanzar 8 puntos y debe realizar una simulación energética del edificio completo y demostrar una mejora porcentual en el

desempeño comparado con la base establecida en el Método de Evaluación del Desempeño del Apéndice G y cumplir con las secciones 5.4, 6.4, 7.4, 8.4, 9.4 y 10.4 de la norma de energía del *ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1-2004* o superior. Además se deben incluir los costos de energía y los asociados al edificio.

Para este análisis energético se tomará la energía regulada, que no se considera de proceso, y la energía de proceso. La energía regulada es la que incluye la iluminación del edificio (interior, exterior, fachadas, parqueos, entre otras), sistemas de climatización y refrigeración como equipos de aire acondicionado, ventiladores, chillers, bombas, torres de enfriamiento, y sistemas de calentamiento de agua. Se tomará como energía de proceso un 25% del consumo de la base total y cuando ésta sea menor al 25%, se deberá documentar el consumo por este rubro, que incluye pero no se limita a: equipos de oficina, equipos de cómputo, elevadores, escaleras eléctricas, equipos de cocina, lavadoras y secadoras, luminarias no integradas a la edificación misma y otros.

Para este crédito las cargas de energía de proceso deben ser idénticas para el desempeño base como para el diseño propuesto. Sin embargo los equipos del proyecto pueden utilizar el Método Excepcional de Cálculo (Exceptional Calculation Method) descrito en el Apéndice G de la norma *ASHRAE 90.1*.

La siguiente tabla muestra los puntos que se otorgan en función del porcentaje de ahorro alcanzado con respecto al edificio base, de un edificio nuevo en fase de diseño o con respecto a un edificio existente en operación, sin embargo a partir del 2007 se deben alcanzar obligatoriamente 2 puntos:

Tabla 2.3: Asignación de puntaje crédito EA1 con respecto al Edificio Base

Edificios nuevos	Edificios existentes	Puntos
10,50%	3,5%	1
14,0%	7,0%	2
17,5%	10,5%	3
21,0%	14,0%	4
24,5%	17,5%	5
28,0%	21,0%	6
31,5%	24,5%	7
35,0%	28,0%	8

Fuente: <http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=1728>

Como segunda opción que otorga 4 puntos, se debe cumplir con las recomendaciones establecidas en la Guía del *ASHRAE* sobre Diseño Avanzado para Edificios Pequeños de Oficina del 2004 (*Advanced Energy Design Guide for Small Office Buildings 2004*) y aplica solo para edificios de oficina con un área menor a 1860m² (20000 pies²) y adaptarse para la zona climática donde va ser ubicado el edificio.

Como tercera opción que otorga 1 punto, se debe seguir la Guía de Construcción versión 1.1 (*Advanced Buildings Benchmark™*), desarrollada por el “New Buildings Institute” y seguir los criterios para la zona climática donde va ser ubicado el edificio. Actualmente *USGBC* está en revisión de esta tercera opción de evaluación del desempeño energético.

2.4.3.5 EA Crédito 2: Energía renovable en sitio (1 punto)

Su objetivo es promover y reconocer el uso de fuentes de energía renovable generadas en sitio con el fin de reducir el consumo de energía proveniente de combustibles fósiles.

Se calcula el desempeño del proyecto producido por energías renovables del edificio expresado como un porcentaje del costo anual de energía del mismo y se

obtiene el punto de este crédito, si se alcanza el 1% del costo de energía con fuentes renovables.

2.4.3.6 EA Crédito 3: Verificación mejorada (1 punto)

Este crédito se refiere a empezar la verificación en las etapas iniciales del diseño y realizar actividades adicionales una vez que la verificación del desempeño de los sistemas se completó.

2.4.3.7 EA Crédito 4: Manejo mejorado de refrigerantes (1 punto)

Su objetivo es reducir el agotamiento de la capa de ozono y apoyar el Protocolo de Montreal y disminuir las contribuciones directas de los refrigerantes al calentamiento global.

Como primera opción para obtener el puntaje es no utilizar refrigerantes CFC.

Como segunda opción, es seleccionar los refrigerantes y equipos que minimicen la emisión de compuestos que contribuyen al calentamiento global y agotamiento de la capa de ozono y verificar el cumplimiento de no exceder el umbral máximo para las contribuciones para el agotamiento de la capa de ozono y calentamiento global, calculado de acuerdo a la siguiente expresión:

$$LCGWP + LCODP \times 10^5 \leq 100$$

donde:

$$LCODP = [ODPr \times (Lr \times Vida + Mr) \times Rc] / Vida$$

$$LCGWP = [GWPr \times (Lr \times Vida + Mr) \times Rc] / Vida$$

LCODP: Potencial Agotamiento del Ozono en Ciclo de Vida (lb CFC11 / Ton-año)

LCGWP: Potencial Calentamiento Global en Ciclo de Vida (lb CO2 / Ton-año)

GWPr: Potencial de Calentamiento Global Refrigerante (0 a 12000 lb CO2/ lb Refr)

ODPr: Potencial Agotamiento del Ozono por Refrigerante (0 a 0.2lb CFC11/ lbRefr)

Lr: Razón de fuga de Refrigerante (0.5% a 2.0%; 2% por defecto a menos que se demuestre lo contrario)

Mr: Pérdidas del Refrigerante al final de la vida útil (2% a 10%, 10% por defecto a menos que se demuestre lo contrario)

Rc: carga de Refrigerante (0.5 a 5.0 lb de refrigerante por tonelada de refrigeración)

Vida: Vida útil del equipo (10 años por defecto, basado en el tipo de equipo y a menos que se demuestre lo contrario).

Para varios tipos de equipos, se debe obtener un promedio ponderado de todos los equipos base de climatización y refrigeración de la edificación.

2.4.3.8 EA Crédito 5.1: Medición y verificación - Edificio base (1 punto)

Pretende proveer medios para el continuo monitoreo y auditoría del consumo de energía de la edificación a través del tiempo.

Se debe proveer la infraestructura para medición con sensores que registren el consumo eléctrico e implementar un plan de Medición y Verificación, que se basa en el Protocolo Internacional de Medición y Verificación de Desempeño (del inglés, International Performance Measurement & Verification Protocol, el IPMVP). Con la ayuda de las herramientas de medición y verificación de la energía se pueden implementar y verificar medidas de ahorro en los costos energéticos de operación del edificio.

2.4.3.9 EA Crédito 5.2: Medición y verificación - Submedición (1 punto)

Pretende proveer medios para el continuo monitoreo y auditoría del desempeño del consumo de energía de la edificación a través del tiempo.

Se debe incluir un monitoreo centralizado de medición electrónica en el diseño del edificio de base que pueda ser ampliado para dar cabida al futuro inquilino sub-contador, requerido por *LEED* para Comerciales Interiores, *LEED-CI*.

2.4.3.10 EA Crédito 6: Energía Verde (1 punto)

Su objetivo es promover el desarrollo y uso de tecnologías de energía renovable sobre una base de cero contaminación.

Se debe proveer como mínimo el 35% de la energía del edificio de fuentes renovables (eólica, solar, geotérmica) y adjuntar un contrato de al menos dos años con una compañía de genere energía de recursos renovables.

Para *LEED* la compañía de electricidad debe estar certificada por “Green-e”, una organización norteamericana independiente de protección al consumidor para la venta de energía limpia y la reducción de gases de efecto invernadero en el mercado minorista. “Green-e” ofrece certificación y verificación de las energías renovables y la mitigación de gases de efecto invernadero de productos, y es parte de un programa del Centro para Soluciones de Recursos (del inglés de Center for Resource Solutions, *CRS*), otra organización estadounidense que ofrece soluciones de energía renovable y el cambio climático.

El Instituto Costarricense de Electricidad (*ICE*) y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (*CNFL*) y otras compañías en Costa Rica, generan la mayoría de energía eléctrica mediante plantas hidroeléctricas, la cual es una energía generada de fuentes renovables. Sin embargo estas compañías no están certificadas por “Green-e”, lo que hace difícil obtener el punto y deberá hacerse un trámite especial ante *USGBC* para que un tercero demuestre que la energía generada proviene como mínimo en un 35% de fuentes renovables.

2.4.4 Materiales y Recursos (MR)

La categoría de materiales y recursos de *LEED-CS* cuenta con un prerrequisito y siete créditos cuyo cumplimiento otorga un puntaje máximo de trece puntos.

2.4.4.1 MR Prerrequisito 1: Almacenamiento y recolección de productos reciclables

Se debe facilitar la reducción de los desechos generados por los ocupantes del edificio.

Para cumplir con este prerrequisito se debe proveer una zona designada que sirva a todo el edificio de fácil acceso para la recolección y almacenamiento de materiales no peligrosos como papel, cartón, plástico, vidrio, metales y cualquier otro producto reciclable de similares características.

2.4.4.2 MR Crédito 1: Reuso del edificio – conservar paredes, pisos y techo existentes (3 puntos)

Este crédito compuesto por tres incisos (1.1, 1.2 y 1.3) tiene como objetivos extender el ciclo de vida de los materiales de la edificación existente, conservar recursos, reducir desechos y reducir el impacto ambiental que generan los materiales de construcción relacionado por su manufactura y transporte.

Se obtiene un punto (crédito 1.1) si se mantiene al menos el 25% en función del área superficial de la estructura existente, las losas de piso y techo y cerramiento de la edificación sin incluir marcos de ventanas y sistemas estructurales de techos. Un segundo punto (crédito 1.2) si se utiliza al menos el 50% y se otorga el tercer punto (crédito 1.3) si se utiliza al menos el 75% de la estructura existente.

Debe excluirse de los cálculos materiales tóxicos y peligrosos y no aplica si el proyecto incluye una ampliación mayor a seis veces el área de la edificación existente.

2.4.4.3 MR Crédito 2: Manejo de los desechos de la construcción y desvío del relleno sanitario (2 puntos)

Este crédito tiene dos incisos (2.1 y 2.2) y pretende desviar los desechos no peligrosos de la construcción como escombros de los rellenos sanitarios e incineradores. Redirigir los recursos reciclables recuperados al proceso de manufactura y los materiales reusables a sitios apropiados.

El crédito MR 2.1 otorga un punto si se desvía un 50% de los desechos no peligrosos y el crédito 2.2 otorga el segundo punto adicional si se desvía en un 75%

los desechos hacia el relleno sanitario. Estos cálculos se pueden realizar por peso o por volumen.

Se debe desarrollar e implementar un plan de manejo de los desechos para identificar los materiales que no deben ir al relleno sanitario y como van a ser clasificados para su tratamiento. Los materiales generados por los movimientos de tierra durante la limpieza del sitio no contribuyen con este crédito.

2.4.4.4 MR Crédito 3: Reutilización de materiales (1 punto)

Este crédito pretende reutilizar los materiales y productos de la construcción para reducir la demanda de materias primas, los impactos asociados por su extracción y procesamiento, y reducir desechos de la construcción.

No se deben incluir componentes mecánicos, eléctricos y fontanería. Solo se consideran materiales que se instalarán en forma permanente en el proyecto.

2.4.4.5 MR Crédito 4: Contenido reciclados – postconsumidor + ½ preconsumidor (2 puntos)

Este crédito tiene dos incisos (4.1 y 4.2) y pretende aumentar la demanda de productos de construcción incorporando materiales con contenido reciclado y por tanto reduciendo el impacto por la extracción y procesamiento de materias primas vírgenes.

Se obtiene un punto (crédito 4.1) si al menos el 10% del total de materiales basado en costos tiene contenido reciclado, los cuales deben ser provenientes de materiales reciclados por los consumidores (postconsumidor) y la mitad de estos sean por materiales reciclados generados por la industria (preconsumidor). Se otorga otro punto adicional con el crédito 4.2 si se utiliza al menos el 20% de los materiales con contenido reciclado.

2.4.4.6 MR Crédito 5: Materiales locales (2 puntos)

Este crédito tiene también dos incisos (5.1 y 5.2) y pretende aumentar la demanda de materiales y productos de construcción que sean extraídos y procesados en la región, apoyando el uso de recursos autóctonos y reducir los impactos ambientales ocasionados por el transporte.

Si al menos el 10% del costo de los materiales y productos del proyecto extraídos, recolectados o fabricados a una distancia máxima de 805 kilómetros (500 millas) del sitio se obtiene un punto con el crédito 5.1. Si al el 20% del costo de los materiales son extraídos, recolectados o elaborados a la misma distancia del sitio de construcción se consigue el punto adicional con el crédito 5.2

No se deben incluir componentes mecánicos, eléctricos y fontanería. Solo se consideran materiales que se instalarán en forma permanente en el proyecto.

2.4.4.7 MR Crédito 7: Madera certificada (1 punto)

Se pretende fomentar el uso de madera certificada para el manejo ambiental responsable de los bosques.

Se otorga el punto si por al menos el 50% de los materiales de madera utilizados cuentan con una certificación del Consejo de Administración de Bosques (del inglés de Forest Stewardship Council, *FSC*) que provienen de una fuente reforestadora de bosques. Se incluyen en este crédito los componentes de elementos estructurales, bases de pisos, marcos y puertas y acabados que serán instalados en forma permanente en el proyecto o para usos de encofrado de elementos de concreto, soportes temporales y otros similares durante la construcción.

No se deben incluir componentes mecánicos, eléctricos y fontanería. Solo se consideran materiales que se instalarán en forma permanente en el proyecto.

2.4.5 Calidad del Ambiente Interno (EQ)

La calidad de aire interno se enfoca en el efecto respiratorio de químicos, agentes biológicos y de otras partículas en la salud de los seres humanos. También se incluye otros efectos como la calidad de iluminación, ruido, temperatura, humedad y vibraciones.

El impacto de las edificaciones en la salud humana es significativo y se debe a la combinación del diseño de las mismas, las prácticas constructivas y las actividades de los ocupantes. En Estado Unidos las personas pasan alrededor de un 90% de su tiempo en espacios internos y encerrados como sus hogares, lugares de trabajo, centros de enseñanza, gimnasios y muchos otros sitios. La calidad del aire en algunos de estos lugares puede ser de menor calidad que el aire exterior atribuible a factores como: edificios estrechos, materiales que emiten contaminantes, mala ventilación o mal control de humedad, entre otros. Además, las malas prácticas constructivas pueden contribuir a estos problemas de ambiente interno. (Kibert, 2007, p.277).

El *Síndrome de Edificio Enfermo (SEE)* describe una serie de síntomas sufridos por una cantidad importante de los ocupantes de un edificio pero que no se pueden asociar a una causa específica y los síntomas desaparecen después que la persona abandona el edificio (Hays, SM 1995, *Indoor Air Quality Solutions and Strategies*). Por otro lado existen enfermedades sufridas por los ocupantes asociadas al edificio que si se pueden atribuir a una condición de calidad de aire interno definida.

La mayoría de las edificaciones que presentan problemas de *SEE* son edificios de oficinas, en su mayoría construidos en décadas pasadas con tendencia a ser muy cerrados, ventilados mecánicamente y con pocas ventanas. Entre los síntomas de este síndrome se incluyen: dolores de cabeza, fatiga, mareos, irritación de ojos, nariz y garganta, congestión nasal y resequedad de piel.

Estos factores pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos.

Los factores físicos se relacionan con el funcionamiento asociado a los equipos electromecánicos del edificio que generan ruido, calidad de la iluminación, condiciones de térmicas no confortables y malos olores. Estos factores que no tóxicos, causan molestias a los ocupantes del edificio, los cuales pueden llegar a tener complicaciones de salud si la exposición se da períodos prolongados.

Los factores químicos son introducidos al edificio por medio de pinturas y compuestos volátiles orgánicos, alfombras y productos de limpieza que se clasifican por la forma que toman a temperatura ambiente como los vapores productos de la combustión (CO_2 , CO , NO_2), líquidos o partículas en el aire. Las partículas incluyen fibras inorgánicas, polvo y tierra y por su tamaño pueden llegar a las vías respiratorias y pulmones.

Los factores biológicos incluyen bacterias, hongos, virus y algas, las cuales pueden resultar en reacciones alérgicas. La cantidad de humedad y el sistema de ventilación en una edificación influyen en la concentración de contaminantes biológicos favoreciendo el crecimiento de estos microorganismos.

La categoría de calidad del ambiente interno (EQ) tiene dos prerrequisitos y ocho créditos con un puntaje máximo de 15 puntos.

2.4.5.1 EQ Prerrequisito 1: Desempeño mínimo de la calidad del aire interno

Establece el desempeño mínimo de la calidad del aire interno para mejorar la calidad del aire interno en las edificaciones, contribuyendo al confort y bienestar para que los ocupantes puedan desarrollar sus actividades normalmente.

Se debe cumplir con los requisitos mínimos de las secciones 4 a 7 de la norma de *Ventilación para una Calidad Aceptable del Aire Interno* del ASHRAE 62.1-2004 (Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality). Los sistemas de ventilación mecánica deberán diseñarse siguiendo el procedimiento de Tasa de ventilación (Ventilation Rate Procedure) o el código local si fuese más estricto.

Para el caso de ventilación natural se deberá cumplir con el párrafo 5.1 de la misma guía del *ASHRAE 62.1-2004*.

2.4.5.2 EQ Prerrequisito 2: Control del humo de tabaco en el ambiente

Se pretende minimizar la exposición de los ocupantes, superficies internas y sistemas de ventilación al humo de tabaco.

Como primera opción es prohibir el fumado dentro del edificio o la asignar un lugar específico para las áreas de fumado al exterior del edificio al menos 7.6 m (25 pies) de entradas, tomas de aire fresco y ventanas operables.

Otra opción es localizar salas de fumado que puedan contener, capturar y remover el humo de tabaco y tener un sistema de extracción dedicado que expulse el humo de tabaco hacia el exterior sin recircular el aire con los demás sistemas de ventilación del edificio y que mantenga diferenciales de presión negativa promedio de 5 Pa (0.02 in wg) con respecto a los espacios adyacentes.

En Costa Rica por la Ley 7501 se prohíbe el fumado en empresas y centros de educación públicos y privados, restaurantes, museos, cines, talleres y cualquier lugar de uso colectivo que sea techado.

2.4.5.3 EQ Crédito 1: Monitoreo del aire exterior (1 punto)

Proveer un sistema de monitoreo para el sistema de ventilación para ayudar a mantener las condiciones de calidad de aire interior.

Se debe instalar sistemas de monitoreo permanente que brinden información del desempeño del sistema de ventilación, para asegurar que se mantienen los requerimientos mínimos del diseño. El sistema de monitoreo debe contar con alarmas para alertar al personal de mantenimiento del edificio en forma visual y audible cuando las condiciones varíen en un 10% o más de los valores establecidos.

Para sistemas con ventilación mecánica instalar medidores de flujo de aire exterior con capacidad de medición en un rango superior e inferior al 15% de la tasa de diseño según la norma 62.1-2004 del *ASHRAE*.

Para sistemas de ventilación natural instalar sensores de concentración de Dióxido de Carbono (CO₂) para zonas con densidades de 26 o más personas por cada 100m² de área. Ubicar los sensores entre 0.92 y 1.83 m (3 y 6 pies) de altura sobre el nivel de piso terminado.

El utilizar la concentración de CO₂ como un indicador de una ventilación aceptable y por consiguiente de una calidad del aire interior, no puede generalizarse. La medición de CO₂ es un indicador de la concentración de contaminantes generados por las personas y sus actividades, pero no es un indicador de contaminantes generados por otras fuentes como gases volátiles de compuestos orgánicos de los materiales del edificio, acabados y mobiliario. Tampoco es un buen indicador para espacios con poca densidad de ocupación donde también persisten los contaminantes volátiles orgánicos de los materiales. Además si es medido en lugares como el ducto de aire de retorno que toma el promedio de la concentración de CO₂ de todos los espacios, puede ser aceptable para la totalidad sin embargo algunos espacios pueden estar sub-ventilados y otros sobre-ventilados (Taylor, 2005).

2.4.5.4 EQ Crédito 2: Incremento de la ventilación (1 punto)

Proveer ventilación adicional de aire fresco para mejorar la calidad de aire interior, para aumentar el confort, bienestar y productividad de los ocupantes.

Para espacios ventilados mecánicamente se debe incrementar en la zona de respiración de todos los espacios ocupados, las tasas de ventilación de aire fresco en al menos un 30% de lo establecido por las tasas mínimas de la norma 62.1-2004 del *ASHRAE*.

Para los espacios con ventilación natural se deben cumplir con las recomendaciones de la Guía de Buenas Prácticas 237 de la Fundación del Carbono (Carbon Trust Good Practice Guide).

2.4.5.5 EQ Crédito 3: Manejo de la calidad del aire interno (2 puntos)

Este crédito se divide en dos apartados con un valor de un punto cada uno. Se refiere al manejo de la calidad del aire en la fase de construcción del edificio (MR 3.1) y la segunda fase (MR 3.2) aplica desde la etapa final de la construcción hasta el momento de ocupación del edificio, para ayudar a mantener el confort y bienestar de los trabajadores de la construcción y los ocupantes del edificio.

Para obtener cada punto se debe desarrollar e implementar un Plan de Manejo de la Calidad del Aire Interno para cada fase con el fin de proteger de la humedad los materiales absorbentes instalados o almacenados en el sitio, asegurar que el polvo no ingrese a los sistemas mecánicos permanentes y proteger la salud de las personas envueltas en las actividades de la construcción y en la etapa previa de la ocupación. Se debe realizar una limpieza del aire interno utilizando los sistemas de inyección de aire instalados y realizar pruebas de la calidad del aire demostrando que no se exceden los límites establecidos de contaminantes como el formaldehído, compuestos orgánicos, fenilciclohexano y monóxido de carbono entre otros.

2.4.5.6 EQ Crédito 4: Materiales de bajas emisiones (4 puntos)

El objetivo de este crédito es reducir la cantidad de contaminantes del aire interior emitidos por los materiales utilizados principalmente en la fase de acabados, que pueden ser olorosos, irritantes o peligrosos para el confort y bienestar de los contratistas y ocupantes del edificio.

Este crédito se divide en cuatro secciones que otorgan un punto si se cumple el objetivo cada una, según el tipo de material: adhesivos y selladores (MR 4.1), pinturas y recubrimientos (MR 4.2), alfombras (MR 4.3) y productos de maderas

compuestas y de fibras agrícolas (MR 4.4). En cada sección se indica los compuestos que no deben tener estos productos y es tarea de los consultores y el cliente especificar los materiales a utilizar en el edificio que cumplan con las características señaladas.

2.4.5.7 EQ Crédito 5: Control de las fuentes internas de químicos y contaminantes (1 punto)

Se pretende minimizar la exposición de los ocupantes a contaminantes potencialmente peligrosos y químicos perjudiciales para la salud humana.

Se debe realizar un diseño que minimice y controle la entrada de contaminantes en los edificios y la contaminación cruzada entre los espacios ocupados. Se puede lograr el objetivo con sistemas permanentes que capturen la suciedad como rejillas y sistemas acanalados que permitan su limpieza, instalando sistemas de ventilación con medios de filtración con un “Valor de Reporte de Eficiencia Mínimo” (del inglés de Minimum Efficiency Reporting Value, MERV) de 13 o mayor y puertas de apertura y cierre automático.

2.4.5.8 EQ Crédito 6: Capacidad de control de sistemas – confort térmico (1 punto)

Su objetivo es proveer un sistema de control térmico de alto nivel para control individual o por grupos de espacios de ocupación múltiple como aulas o salas de conferencias, promoviendo la productividad, bienestar y confort de los ocupantes.

Se deben instalar controles de confort individual para al menos 50% de los ocupantes del edificio que permitan los ajustes que satisfagan las necesidades de los usuarios. Se pueden incluir ventanas operables en lugar de los controles en áreas donde se ubiquen a 6.1 m (20 pies) hacia adentro y 3.05 m (10 pies) hacia ambos lados de la ventana.

Las condiciones de confort térmico están descritas en la norma 55-2004 del *ASHRAE* que incluye los factores principales del confort como la temperatura del aire, temperatura radiante, velocidad del aire y humedad.

2.4.5.9 EQ Crédito 7: Diseño de confort térmico (1 punto)

Este crédito pretende proveer un ambiente térmico confortable para favorecer la productividad y bienestar de los ocupantes.

Se debe diseñar los sistemas de climatización y el envoltorio del edificio cumpliendo los requisitos establecidos en la norma del *ASHRAE* 55-2004, Condiciones de confort térmico para la ocupación humana (Thermal comfort conditions for human occupancy). Evaluar las variables de temperatura del aire, radiación térmica, velocidad del aire, humedad relativa en forma integrada con el prerrequisito 1 y créditos EQ 1 y EQ 2.

2.4.5.10 EQ Crédito 8: Luz natural y vistas (2 puntos)

Con este crédito se pretende proveer a los ocupantes una conexión entre los espacios interiores y el exterior a través de la introducción de luz natural y vistas del exterior dentro de las áreas ocupadas.

Por medio de cálculos del factor de ventanería mínimo de las áreas más ocupadas, usando modelos de simulación con programas de cómputo o demostrando con registros de mediciones de luz interna se logra el nivel de iluminación natural interna de 25 pies candela se pueden alcanzar los objetivos.

Este crédito consta de dos apartados que otorga dos puntos. Si se demuestra una iluminación del 75% en los espacios usualmente ocupados se obtiene el primer punto con el crédito EQ 8.1 y si se alcanza el 90%, se otorga el punto adicional indicado en el crédito EQ 8.2.

El uso de la luz natural reduce el consumo de energía eléctrica dedicada a la iluminación del edificio y ha demostrado un mayor grado de satisfacción entre los

ocupantes de los edificios. Se debe controlar los ángulos de incidencia de la luz, la cantidad sin llegar a excesos que puede provocar encandilamiento.

Parte de las estrategias es instalar parasoles, tragaluces, crear espacios abiertos y minimizar las divisiones internas. También se pueden instalar sensores que activen la luz artificial cuando sea requerida por niveles mínimos de luz natural.

2.4.6 Proceso de Diseño e Innovación (ID)

Se intenta proveer a los equipos de diseño y a los proyectos la oportunidad de obtener puntos por desempeños por encima de los requerimientos definidos por *LEED-CS* o en categorías referentes a la construcción sostenible no incluidas en este sistema de evaluación.

2.4.6.1 ID Crédito 1.1 a 1.4: Innovación en el diseño (4 puntos posibles)

Se debe identificar y documentar los objetivos, requisitos y estrategias del diseño innovador propuesto para otorgarle un punto en alguna de las diferentes áreas de la construcción sostenible. Deben ser opciones de aplicación en las cuales quede claro el beneficio al ambiente y/o al ser humano.

Se otorgan hasta cuatro posibles por desempeño extraordinario.

2.4.6.2 ID Crédito 2: Profesional acreditado de *LEED* (1 punto)

Este inciso pretende apoyar y promover la integración de al menos una persona del equipo diseñador de la obra esté acreditado con la certificación del programa *LEED*, *LEED-AP* y hacer más eficiente el proceso de aplicación y certificación.

2.5 Normas de *ASHRAE*

Como parte de los prerrequisitos y algunos requisitos para la puntuación de *LEED-CS*, se hace referencia al cumplimiento de ciertas normas de *ASHRAE* entre ellas la 62.1 y 90.1.

La *ASHRAE* cuyas siglas del inglés de la Sociedad Norteamericana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.), se funda en 1959 como la alianza de las Sociedades de Ingenieros en Calefacción y Ventilación, y en Refrigeración. Esta Sociedad ha jugado un papel importante en el desarrollo de la industria de la refrigeración y del aire acondicionado en Estados Unidos.

La norma 90.1 de Energía para Edificios Excepto Residenciales de Baja Altura (Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings), provee mínimos requerimientos para un diseño eficiente desde el punto de vista energético para edificios altos, abarcando los sistemas de calefacción, aire acondicionado, iluminación, motores, entre otros.

La norma 62.1 de Ventilación para una Aceptable Calidad de Aire Interior (Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality), ha sido desarrollada para especificar un flujo mínimo de ventilación y otras medidas para garantizar una calidad del aire interior para los ocupantes del edificio y minimizar los efectos adversos a la salud.

2.5.1 Norma *ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1-2007*

La norma 90 se publicó por primera vez en 1975 como respuesta a la crisis energética de la década de 1970. Se ha revisado en varias ediciones publicadas en 1980, 1989, 1999 siguiendo los procedimientos de *ANSI* y *ASHRAE* y con la cooperación a partir de la edición de 1989 de la Sociedad de Ingenieros en Iluminación de Estados Unidos, *IESNA* (de sus siglas del inglés de Illuminating Engineering Society of North America). Luego siguió otros procesos de revisión

publicados en 2001, 2004 y en 2007, teniendo esta última varios cambios por su constante revisión y mantenimiento así como el aporte de propuestas del público.

El propósito de la norma es proveer mínimos requerimientos para el diseño de edificios excepto edificios residenciales de poca altura. La norma 90.2 se enfoca a nivel residencial.

Su alcance es para el diseño y construcción de edificios nuevos y sus sistemas, expansiones y equipos en edificios existentes. Aplica para la envolvente del edificio con cierto grado de climatización y cuyos sistemas son usados en conjunto como calefacción, ventilación, aire acondicionado, agua caliente, potencia eléctrica de distribución, motores eléctricos e iluminación.

No aplica para edificios que no utilicen electricidad o combustibles fósiles y equipos o partes del edificio que utilicen su energía primaria para procesos industriales, de manufactura o comercial.

La sección 3 de esta norma cuenta con diez páginas de definiciones y una página de abreviaturas y acrónimos utilizados en la norma.

La sección 4 se enfoca a los lineamientos que deben seguir los edificios nuevos, modificaciones u agregados de edificios existentes.

La sección 5 se refiere a los requerimientos de la envolvente del edificio de acuerdo a la zona climática donde está ubicado el edificio. La sección 5.1.4.2 se refiere a las localidades internacionales e indica utilizar el Apéndice B de la misma norma, Tabla B-3 y Tabla B-4 para determinar el número de zona.

Como no aparece la zona de San José, Costa Rica, se utiliza las características de zona de Caracas, Venezuela, con una latitud similar y corresponde a la Zona 1.

Dentro de los requerimientos están la resistencia de los aislamientos a utilizar en techo, paredes y pisos, características de las ventanas verticales que no deben excederse del 40% del área total de la pared, tragaluces en cielos que no deben exceder el 5% del área del techo, infiltraciones y vestíbulos.

La sección 6 establece los requerimientos mínimos de eficiencia de los equipos y controles de los sistemas de aire acondicionado, calefacción y ventilación. También se indica los requerimientos mínimos para los sistemas de distribución de aire por medio de ductos, asilamiento sellos y fugas de aire permitidas.

La sección 7 se refiere a los requerimientos mínimos para el servicio de agua caliente del edificio que puede ser utilizado para el sistema de calefacción del edificio. Se indica los requerimientos de desempeño de los equipos de agua caliente, bombas, controles y aislamiento de tuberías.

La sección 8 aplica para la distribución de potencia eléctrica del edificio, donde en la sección 8.4 como lineamiento mandatario se indica que los alimentadores eléctricos deben ser dimensionados para tener una caída de voltaje máximo del 2% en la carga de diseño, y los conductores ramales serán diseñados para una caída de voltaje máxima del 3% de la carga de diseño.

La sección 9 se refiere a los sistemas de iluminación tanto al interior de los espacios como la iluminación exterior de fachadas, techos, elementos arquitectónicos, vestíbulos y parqueos entre otros. No aplica para iluminación de emergencia y asociada a regulaciones de seguridad humana.

La sección mandatoria 9.4 establece para la iluminación interna de edificios con áreas mayores a 465 m² (5000 ft²) se debe contar con un sistema de control automático para el apagado de las luminarias. También indica los requerimientos de control para la iluminación externa, salidas e iluminación a nivel de piso.

En caso de no conocer la carga de iluminación del edificio, se puede estimar utilizando las densidades de iluminación interior siguiendo el Método de Área de Edificio de la sección 9.5.

La sección 10 aplica para los equipos con motores eléctricos que deben cumplir con los requerimientos mínimos de eficiencia establecidos en las Políticas Energéticas de 1992 (Energy Policy Act).

La sección 11 se refiere al Método de Presupuesto Energético (*ECB*, de sus siglas en inglés de Energy Cost Budget), como un método alternativo para evaluar el cumplimiento del diseño propuesto de edificio. Este método no aplica para la revisión y comparación de diseños que intentan superar o exceder los requerimientos mínimos establecidos por la norma de energía 90.1, que es lo que pretende *LEED* en el crédito 2 de la categoría de Energía y Atmósfera (EA). Como se mencionó en la descripción de este crédito para obtener los puntos posibles, se debe cumplir con el método alternativo al *ECB*, el Método de Evaluación del Desempeño (Performance Rating Method), descrito en el Apéndice G de esta misma norma.

El Método de Evaluación del Desempeño requiere el cumplimiento de las secciones 5.4, 6.4, 7.4, 8.4, 9.4 y 10.4 que son mandatorios. Se calcula el porcentaje de mejoramiento del diseño propuesto con respecto al edificio base definido por la norma. Los desempeños de ambos edificios no son predicciones del consumo real de energía o de los costos de operación del edificio propuesto después de su construcción, porque existen variaciones en la ocupación, mantenimiento, clima y cambios en las tarifas energéticas.

Se debe documentar las simulaciones del desempeño del edificio base y del edificio propuesto y el porcentaje de mejoramiento, y presentarlo a la autoridad energética. Se debe incluir una lista de los sistemas y equipos que componen el análisis como luces, cargas eléctricas internas, servicio de agua caliente, equipos de calefacción y aire acondicionado, ventiladores, motores y bombas.

2.5.1.1 Requerimientos para la Simulación

Ambos edificios se deben calcular con el mismo programa de simulación, usando el mismo clima y las mismas tarifas energéticas.

El programa de simulación debe ser un programa de cómputo diseñado para el análisis de consumo de energía para edificios como el *DOE-2*, *BLAST* o *EnergyPlus* entre otros. En caso que el programa no pueda modelar para ciertos

componentes se pueden hacer cálculos siguiendo una metodología aprobada, como se menciona en la sección G2.5.

El programa de simulación debe ser aprobado por la autoridad energética y debe modelar como mínimo lo siguiente:

- Calcular para 8760 horas por año
- Variaciones horarias en ocupación, iluminación, equipo misceláneo eléctrico, ajuste de termostatos y operación del sistema de climatización por día de la semana y feriados.
- Efectos de masa térmica
- Diez o más zonas térmicas
- Curvas de desempeño a carga parcial de equipos mecánicos
- Curvas de capacidad y eficiencia de los equipos de calefacción y enfriamiento.
- Incluir economizadores de aire con controles integrados.

Los requerimientos para el edificio base y el diseño propuesto se presentan en la Tabla G3.1 del Apéndice G de la norma 90.1-2007.

Los sistemas de climatización del edificio base se deben basar en el uso, número de pisos, área de piso acondicionada y fuente de calefacción especificadas en la Tabla G3.1.1A y deben cumplir con la descripción de los sistemas especificados en la Tabla G3.1.1B.

2.5.2 Norma ANSI/ASHRAE 62.1-2004

La norma 62 del *ASHRAE* se publicó por primera vez en 1973 con el título de *Estándar para Ventilación Natural y Mecánica* (del inglés de *Standard for Natural and Mechanical Ventilation*). Posterior a esa fecha esta norma ha tenido varias revisiones y actualizaciones, y la versión aplicable para este trabajo como parte de los requisitos de *LEED-CS 2.0* es la designada 62.1 para edificios comerciales,

institucionales, industriales y residenciales de altura, publicada el año 2004 y con revisiones menores agregadas posteriormente a su publicación.

El estándar 62 ha generado controversias por sus lineamientos pero ha servido a la industria de la construcción y al público como un estándar prominente en ventilación y calidad del aire interior (Persily, 2007).

El propósito de la norma es especificar tasas mínimas de flujo de aire para ventilación y calidad de aire interior aceptable para los ocupantes y tratar de minimizar los efectos adversos para la salud humana en caso de no cumplirse. Intenta servir como regulación para nuevos edificios, adiciones o renovaciones de edificios existentes.

El alcance de la norma aplica para espacios internos o encerrados ocupados por personas, excepto en otros lugares que por otros estándares se especifiquen o tasas de flujo de aire mayores para ventilación para estos mismos espacios.

En la sección 3 de esta norma se definen términos utilizados por esta norma, destacando la definición de calidad de aire interior, como el aire en el cual no hay contaminantes en concentraciones nocivas para la salud determinadas por las autoridades competentes y que una substancial mayoría de los ocupantes (mayor al 80%) no exprese insatisfacción. En la práctica la disconformidad sube cerca del 50% cuando los sistemas de climatización y ventilación no alcanzan las tasas mínimas de aire fresco en operación.

En la sección 4 se describe el proceso de evaluación del aire exterior para su aceptación. Se debe empezar con una revisión de los códigos locales y regionales sobre calidad de aire interior por parte del propietario del inmueble a través de sus consultores y luego documentar los resultados que respalden sus conclusiones con respecto a esta etapa de revisión, y definir si se le debe realizar algún tratamiento al aire exterior, en caso de no cumplir con la calidad mínima establecida.

La sección 5 especifica los sistemas y equipos mínimos requeridos para cumplir con la norma usando ventilación natural o mecánica, ubicación y

separaciones de tomas de aire fresco y descargas de aire al exterior, sistemas de control para garantizar las tasas mínimas bajo cualquier condición de carga y características de las entradas de aire para controlar la entrada de agua de lluvia. Se indica las características de las bandejas de condensado de los equipos de climatización, accesos para inspección y mantenimiento. Finalmente se hace una clasificación del tipo de aire según el espacio y su concentración de contaminantes, tratamiento a realizar, si puede ser recirculado y/o ser transferido al espacio de origen u a otro.

En la sección 6 se establecen los procedimientos de cálculo para sistemas de ventilación mecánica. Para ventilación natural referirse a la sección 5.1. Se establecen dos procedimientos para determinar las tasas mínimas de ventilación de diseño, de los cuales se debe escoger uno entre el *VRP* (de sus siglas en inglés de Ventilation Rate Procedure) y el *IAQP* (de sus siglas en inglés de Indoor Air Quality Procedure).

El *VRP* es un procedimiento de tasa base calculado donde los flujos de aire exterior son determinados por el tipo y aplicación del espacio, nivel de ocupación y área de piso del espacio. Para cumplir con este método se debe contar con un sistema de medición de flujo de aire en la fase operativa.

El procedimiento alternativo *IAQP* es un procedimiento de diseño en el cual las tasas de flujo de aire exterior están basadas en un análisis de las fuentes contaminantes y su concentración para alcanzar la aceptación.

La guía de evaluación *LEED* establece que el cálculo de los flujos mínimos debe determinarse utilizando el procedimiento *VRP* y además cumplir con las secciones 4, 5, 6 y 7 de esta norma.

Para el *VRP* se empieza calculando los requerimientos de aire exterior por zona, indicados entre los párrafos 6.2.2.1 y 6.2.2.3 de la norma, donde se determina la zona de respiración por zona $V_{bz} = R_p P_z + R_a A_z$ donde:

A_z : área de piso neta ocupada

P_z : población máxima esperada en la zona en un período de tiempo de uso típico. Se puede usar una densidad establecida en la Tabla 6-1 de la norma si la población fluctúa.

R_p : tasa de flujo de aire requerido por persona en Tabla 6-1.

R_a : flujo de aire requerido por unidad de área determinado en Tabla 6-1.

Luego se determina la efectividad de distribución de aire de zona E_z de acuerdo a la Tabla 6-2 y se calcula el flujo de aire hacia los difusores $V_{oz} = V_{bz}/E_z$.

Para el caso de zonas sencillas o de un espacio, el flujo total de aire exterior a suplir al espacio es $V_{ot} = V_{oz}$.

Para sistemas de 100% aire exterior el aire exterior $V_{ot} = \sum_{zonas} V_{oz}$.

Para sistemas con varias zonas o multi-zona con recirculación, el caudal de aire exterior se calcula como $V_{ot} = V_{ou}/E_v$. Se determina primero la fracción de aire primario exterior Z_p que es la relación de V_{oz}/V_{pz} con V_{pz} como el aire primario de suministro de la manejadora, para sistemas de flujo variable de aire (VAV), V_{pz} es el valor mínimo de diseño de flujo de aire y luego se determina la *Eficiencia de Ventilación del Sistema* E_v usando la Tabla 6-3 o del Apéndice A del estándar. Se corrige el valor de diseño siguiendo la ecuación 6-6 de la norma para obtener V_{ou} usando el factor de diversidad de ocupación D definido como $D = P_s / \sum_{zonas} P_z$, con P_s como la población total del sistema servido por el equipo.

V_{ou} es determinada entonces como: $V_{ou} = D \sum_{zonas} R_p P_z + \sum_{zonas} R_a A_z$.

La séptima sección de la norma establece direcciones para las fases de construcción del proyecto y puesta en marcha de los sistemas. Se indican lineamientos para el balance de aire, prueba del sistema de control de reguladores de volumen de aire (dampers), bandejas de condensados y requisitos para la documentación de esta etapa.

Finalmente la sección 8 se refiere a los aspectos de la operación y mantenimiento del sistema de ventilación, el cual con el tiempo sufre ajustes y debe ser re-evaluado y revisado periódicamente.

CAPITULO 3
OFICENTRO EL CEDRAL

3.1 Aspectos generales

El Centro Corporativo El Cedral es un proyecto en condominio vertical-horizontal para uso de oficinas y comercio compuesto de tres edificios de cinco pisos cada uno con dos niveles de sótanos subterráneos interconectados entre sí, cuyo uso principal está destinado para parqueo de vehículos livianos.

El Oficentro está ubicado en San Rafael de Escazú, San José y fue desarrollado por la empresa inmobiliaria Portafolio Inmobiliario S.A. (PINMSA) y diseñado por la empresa de diseño Trejos Facio Arquitectos en conjunto con la firma consultora FSA Ingeniería & Arquitectura que se ocupó del diseño estructural, eléctrico, mecánico y aire acondicionado. Su construcción empezó en el año 2007 con la empresa constructora Edica Ltda como contratista general de la obra.

Actualmente están construidos dos edificios con sus sótanos y accesos, áreas de parqueos exteriores, sistema central de aire acondicionado, sistema de potencia eléctrica e iluminación y acometidas a cada uno de los pisos con los servicios de agua potable, protección contra incendio y red de evacuación de aguas residuales ordinarias y de lluvia. Uno de los edificios construidos está en operación y está en proyecto la construcción del tercer edificio.

Al principio del proyecto el desarrollador pensó optar por la certificación de construcción sustentable por parte del *USGBC* utilizando la guía de evaluación *LEED*, pero debía incluirse dentro de los requisitos su implementación desde los planos constructivos. Sin embargo se adoptaron sugerencias para sumarse a la construcción sustentable y buscar alternativas para un mejor desempeño energético de la edificación y destinar más del 30% del total de terreno a áreas verdes buscando conservar la vegetación del lugar preservando el conjunto de árboles de cedro que ya existen, de ahí su nombre, y repoblar los jardines con especies originarias de la zona.

Se presenta una vista área del desarrollo de Febrero de 2009 y su ubicación geográfica en Escazú, en la urbanización Trejos Montealegre, frente a la Autopista Próspero Fernández, a la entrada de Escazú.



Imagen 3.1: Oficentro El Cedral
Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura

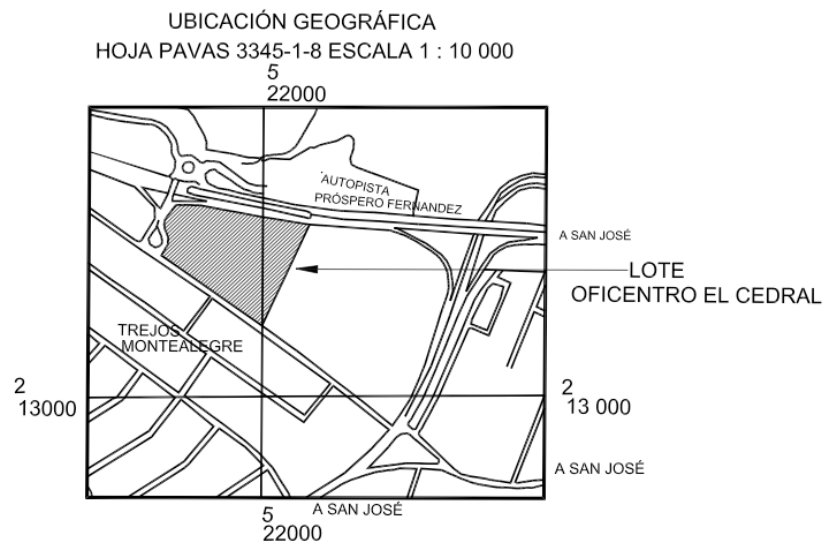


Figura 3.1: Ubicación del proyecto
Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura

El proyecto cuenta con cuatro vías de acceso desde la Autopista Próspero Fernández y Escazú y con una completa infraestructura de servicios comerciales consolidada muy cerca del centro de la capital.

El área total del terreno del proyecto es de 21 301 m², poco más de dos hectáreas, y la cobertura de construcción con respecto al terreno es de 4 467 m², que corresponde al 21% de total del lote. El área total de piso proyectada para la construcción de los tres edificios incluyendo parqueos exteriores es de 35 856 m².

Cada edificio cuenta con un área privativa aproximada para uso de oficinas y comercio sin parqueos de 5 000 m² repartida en cinco pisos. Cada piso se dividió en dos fincas filiales cuyas áreas en promedio son de 500 m² cada una.

La totalidad de los parqueos del Oficentro es de 651 espacios, de los cuales 482 serán subterráneos correspondiente a un 74% del total, y 69 a nivel de terreno, disminuyendo el uso de materiales reflectivos a nivel de terreno y por lo tanto una emisión menor de calor a causa del calentamiento del pavimento, llamado *efecto de isla de calor*.

La planta de conjunto del proyecto en su primer nivel se presenta en la siguiente figura. Se observa la distribución de los tres edificios en el área del terreno, vías de accesos con su entrada doble al complejo desde calle pública, flujos vehiculares y parqueos exteriores.

El sector centro Norte donde se forma un área verde central compartida para los tres edificios, se destinó para la construcción e instalación de los servicios electromecánicos del complejo como transformadores, planta de tratamiento de aguas residuales ordinarias y la casa de máquinas del sistema de aire acondicionado, donde se ubican los bancos de hielo, torres de enfriamiento, bombas, plantas de enfriadora de agua helada (*chillers*) y tuberías principales de distribución hacia los edificios, respetando los árboles de cedro del sector.

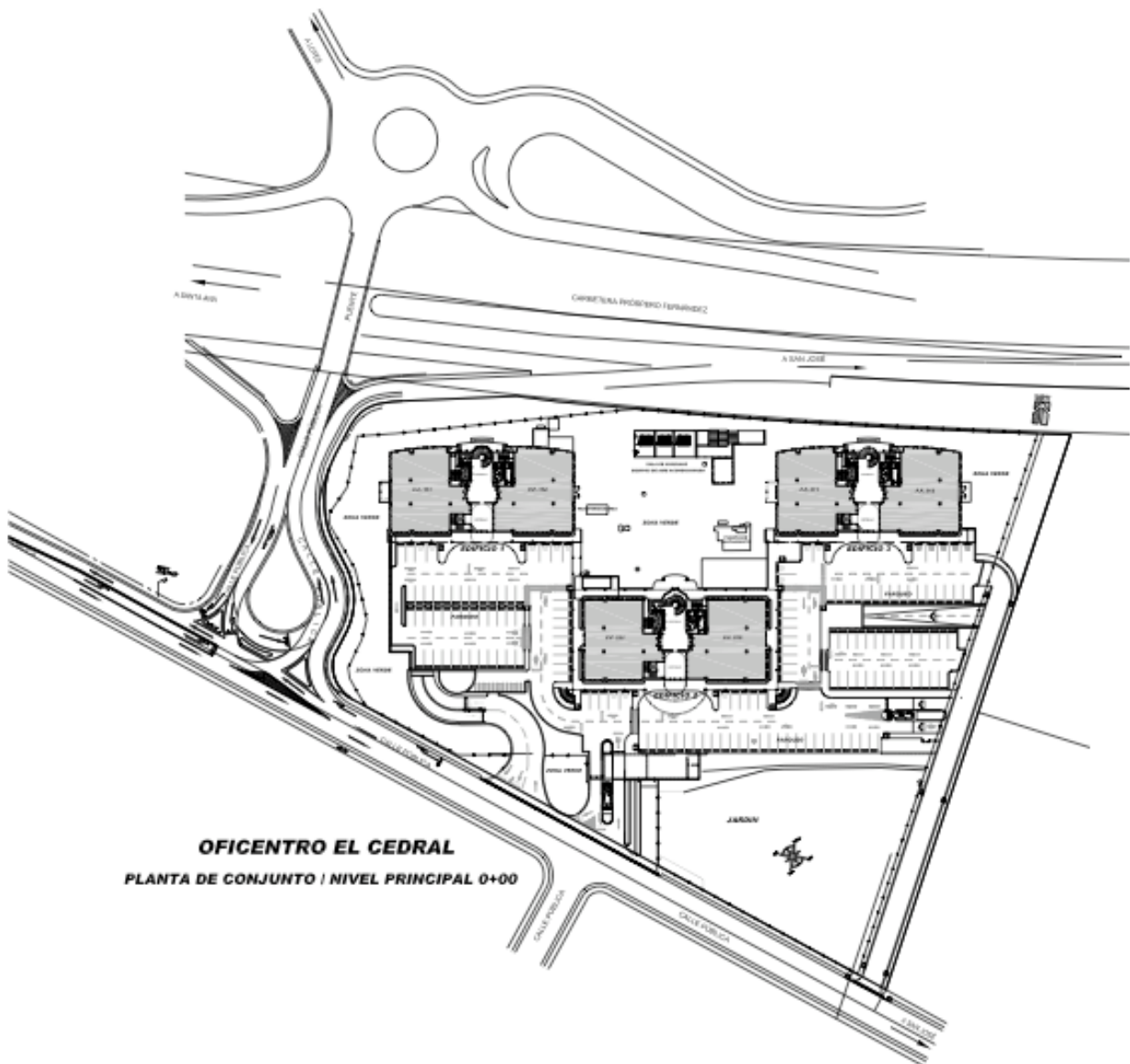


Figura 3.2: Planta de conjunto Nivel principal
Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura

Los sectores sombreados representan las áreas privativas de las fincas filiales del primer nivel destinadas para el uso final de oficinas.

Las áreas, distribución arquitectónica, construcción y orientación de los tres edificios en cada nivel son similares entre sí, por lo que se decidió analizar las plantas del Edificio 1 como el Edificio Base. En la siguiente figura se ilustra la distribución de los tres edificios en el terreno del proyecto:



Figura 3.3: Distribución de los edificios en el sitio
Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura

Las geometrías de distribución interna de las fincas filiales para cada los diferentes niveles a partir del nivel 2, se presentan a continuación:

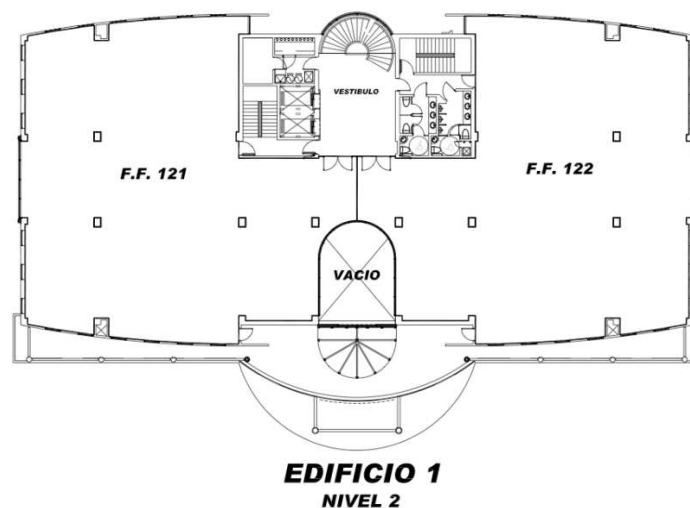
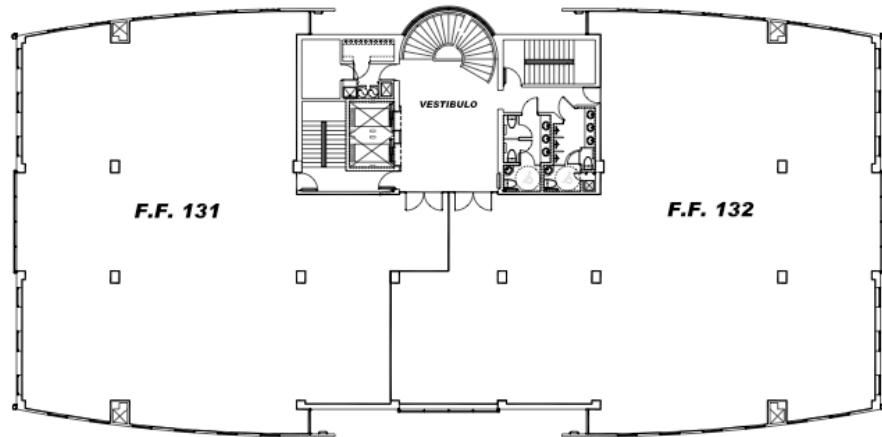
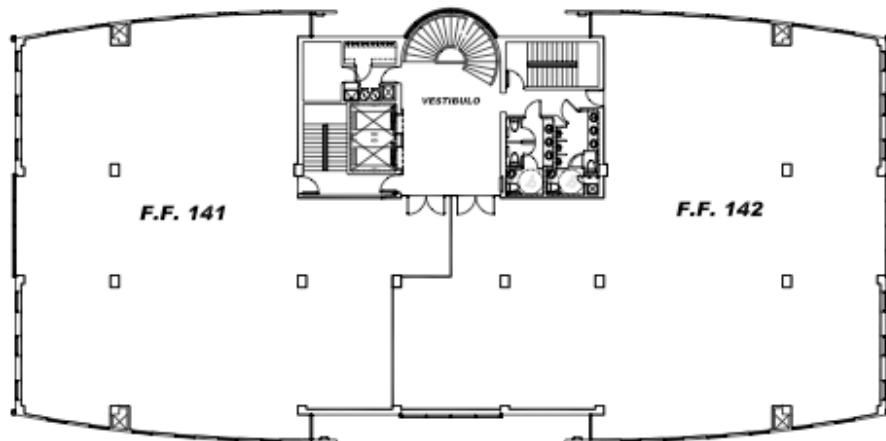


Figura 3.4: Planta Nivel 2
Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura



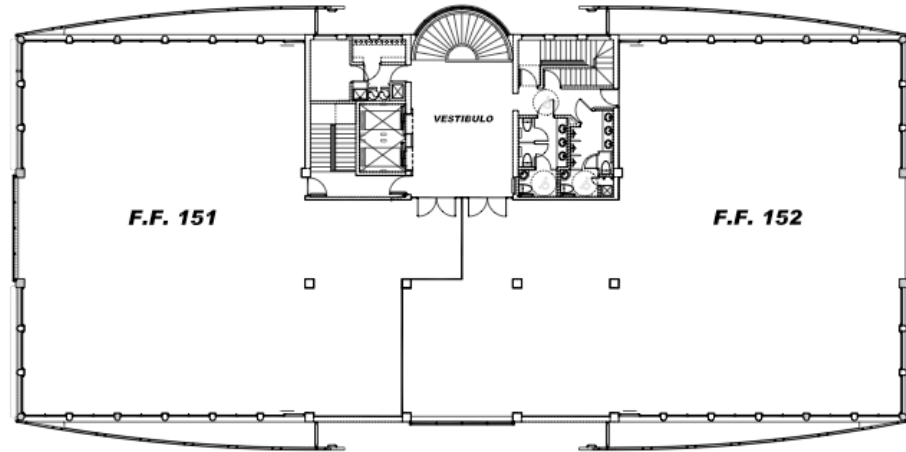
EDIFICIO 1
NIVEL 3

Figura 3.5: Planta Nivel 3
Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura



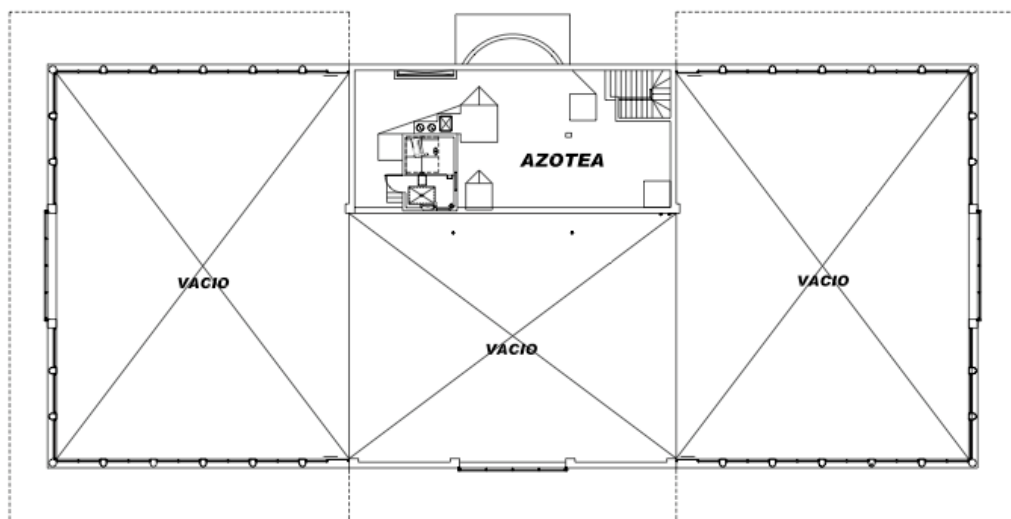
EDIFICIO 1
NIVEL 4

Figura 3.6: Planta Nivel 4
Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura



EDIFICIO 1
NIVEL 5

Figura 3.7: Planta Nivel 5
Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura



EDIFICIO 1
AZOTEA

Figura 3.8: Planta Nivel de Azotea
Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura

En la figura 3.8 que ilustra la planta de la azotea, se ubican los ventiladores del sistema de inyección de aire fresco, el cual se distribuye hacia los cinco niveles a través de un ducto mecánico. También en este mismo nivel se localizan los extractores que dan servicio de extracción de aire al núcleo de baños de cada nivel, utilizando otro ducto mecánico.

3.2 Características constructivas

La estructura principal de los edificios es de concreto reforzado, armado y colado en sitio con algunas columnas secundarias metálicas forradas con láminas de yeso con fibra de vidrio, diseñada para exteriores resistente a la humedad, llamada en el mercado como “densglass”.

El sistema de entepiso que se utilizó principalmente es de viguetas pretensadas con bloques de concreto en el primer nivel.

Las paredes son de concreto colado repelladas con un revestimiento de estuco acrílico. En el quinto nivel existe una mezcla de material de paredes entre concreto colado y muro seco con “densglass” repellado con estuco acrílico.

La estructura de techo es de cerchas metálicas de hierro negro con cavadores de perfil tipo RT, también de hierro negro. La azotea donde se ubican los ventiladores de aire fresco, extracción y sistema de transmisión y motores de los elevadores es de losa de concreto “chorreada”.

El material de la cubierta de techo es de lámina rolada de acero galvanizado aislada tipo “sándwich panel”, compuesta de dos láminas de acero esmaltado calibre 26 con un aislamiento de poliestireno expandido de 38 mm de espesor. Los “tapicheles” para los cierres laterales de la fachada a nivel de techo son en “densglass” repellados con estuco acrílico.

Los edificios cuentan con grandes áreas de ventanas temperadas de 10 mm de espesor de color verde con coeficiente de sombra de 0.44 y marcos de aluminio anodizado, que se pueden ver en la siguiente imagen de fachada.



Imagen 3.2: Fachada Norte y Oeste Edificio 2

La estructura del edificio en concreto, entrepiso y paredes de concreto coladas en sitio se ilustra en la siguiente imagen, así como la estructura y tipo de techo en la imagen siguiente a ésta.



Imagen 3.3: Estructura principal Nivel 1, Edificio 1



Imagen 3.4: Estructura de techo Nivel 5, Edificio 1

En la siguiente imagen 3.5 se observan las tuberías eléctricas, de agua helada y ducto de inyección de aire fresco a nivel de cielo del quinto piso, que también se muestran las tuberías del nivel principal en la imagen 3.6.



Imagen 3.5: Vestíbulo Nivel 5, Edificio 1



Imagen 3.6: Ducto de aire fresco y tuberías Vestíbulo Nivel 1, Edificio 1

En esta imagen de la fachada Norte se observa la modulación de las ventanas que se repite en los tres edificios.



Imagen 3.7: Fachada Norte Edificio 1

3.3 Descripción del sistema de aire acondicionado

El Oficentro cuenta con sistema de aire acondicionado central para manejo de la carga térmica generada por los tres edificios similar al sistema llamado Enfriamiento de Distrito (District Cooling). Se utiliza agua helada como medio de transporte de la energía entre las plantas enfriadoras de agua (*chillers*) y las manejadoras de aire que acondicionan los espacios internos de los edificios, a través de una red de tuberías de distribución.

La configuración de tuberías de agua helada de este proyecto es similar al concepto de circuito primario-secundario, con un circuito secundario variable.

En este caso el circuito primario es un circuito de enfriamiento principal entre las tres plantas enfriadoras de agua (*chillers*) con bombas de velocidad variable y flujos constantes. El fluido en este circuito es agua con un 25% de anticongelante (*etileno-glicol*) que va ser utilizado por los bancos de hielo para fabricar hielo.

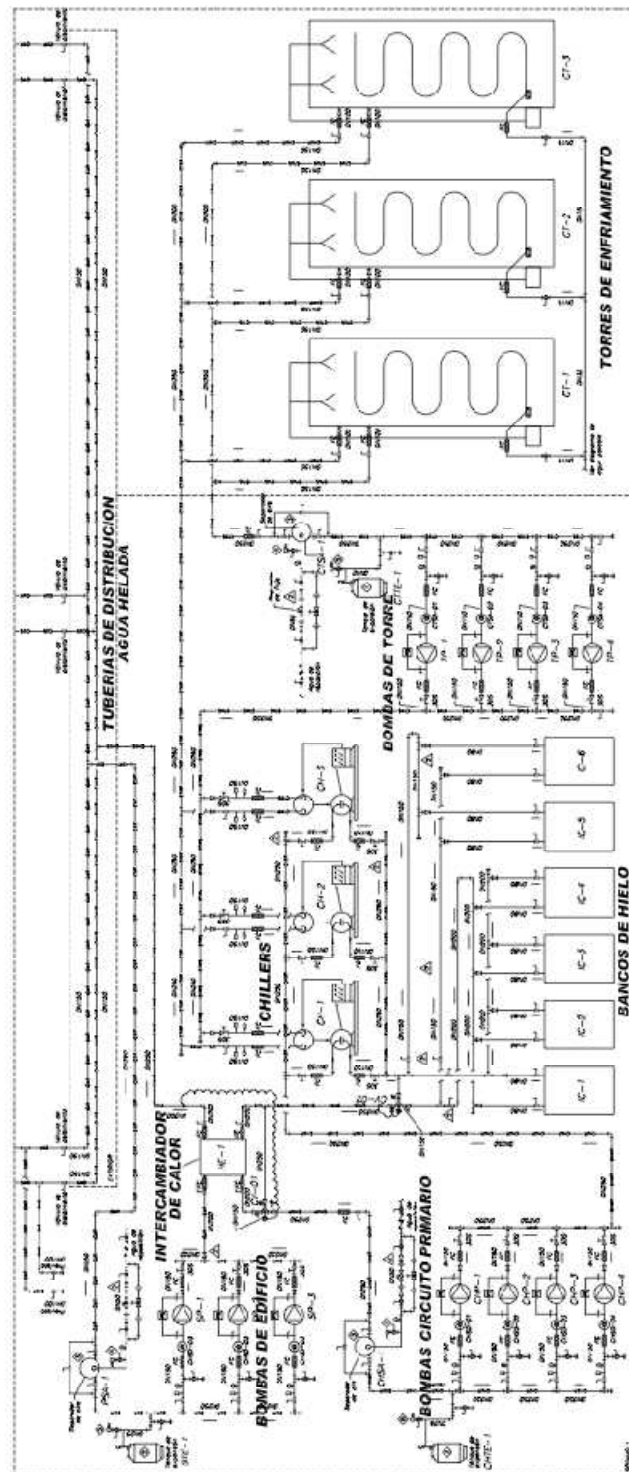
El circuito secundario o de edificio es un circuito con bombas de flujo variable con variador de frecuencia, que alimenta todas las manejadoras del edificio con un sistema de agua helada sin anticongelantes.

Las plantas enfriadoras de agua o *chillers* por su parte son enfriados por agua por medio de tres torres de enfriamiento cerradas.

Por medio de un intercambiador de calor se transfiere la energía extraída del edificio al circuito primario de enfriamiento sin mezcla de los fluidos de trabajo de cada circuito.

En el siguiente diagrama se observa el circuito primario con cuatro bombas (una por planta de enfriamiento de agua, más una de respaldo), las cuatro bombas del circuito secundario, una de ellas de respaldo, y cuatro bombas de torre, con una de ellas de respaldo que mueven el agua para enfriamiento de los *chillers* hasta las torres de enfriamiento.

Finalmente se tienen cuatro bancos de hielo que almacenan hielo para usarlo como medio de enfriar el agua en los períodos punta de la tarifa eléctrica, y fabricar hielo en la noche en los períodos valle, como medidas de ahorro en la facturación eléctrica que repercute en bajar el consumo de energía eléctrica generada por plantas térmicas que entran en operación en los períodos de máxima demanda de energía, utilizando combustibles fósiles en su operación y emanando gases de efecto invernadero a la atmósfera.



SISTEMA DE ENFRIAMIENTO
DIAGRAMA DE AGUA HELADA

Figura 3.9: Diagrama del sistema de enfriamiento
Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura

En el siguiente diagrama de la figura 3.10 se observa la red de tuberías que distribuye agua helada a los tres edificios desde la casa de máquinas ubicada en el patio Norte central del terreno, donde se instalaron los *chillers*, torres de enfriamiento, bancos de hielo, bombas y tuberías principales de distribución y tableros eléctricos.

Las tuberías de agua helada entre la casa de máquinas y cada edificio están enterradas hasta el primer sótano común, viajando expuestas fijadas al entrepiso y luego suben por ductos mecánicos dejando una prevista de conexión a la red en cada nivel, ver la Imagen 3.8 en la página siguiente.



Figura 3.10: Diagrama del sistema de distribución de agua helada
Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura



Imagen 3.8: Previstas de agua helada Nivel 1, Edificio 1

En las siguientes imágenes se muestran los principales equipos del sistema de aire acondicionado.



Imagen 3.9: *Chiller* enfriado por agua



Imagen 3.10: Torres de enfriamiento



Imagen 3.11: Entrada tuberías a bancos de hielo enterrados



Imagen 3.12: Bombas de agua helada

Las características de los equipos del sistema de aire acondicionado y de agua potable instalados en el proyecto son las siguientes:

Tabla 3.1: Características de los *Chiller* TRANE, modelo RHTD

Etiqueta	Capacidad Total		Flujo de agua evaporador	Temperatura agua entrada evaporador		Temperatura agua salida evaporador		Flujo agua condensador	Temperatura agua entrada condensador		Temperatura agua salida condensador		Razón eficiencia energética
	kW	Tons		lpm	°C	°F	°C		°F	lpm	°F	°C	
CH-1	679.5	193.2	1563.2	12.8	55.0	6.1	43.0	2097.3	29.4	84.9	35.0	95.0	0.660
CH-2	679.5	193.2	1563.2	12.8	55.0	6.1	43.0	2097.3	29.4	84.9	35.0	95.0	0.660
CH-3	679.5	193.2	1563.2	12.8	55.0	6.1	43.0	2097.3	29.4	84.9	35.0	95.0	0.660

Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura

Tabla 3.2: Características de las torres de enfriamiento

Etiqueta	Capacidad Total		Flujo de aire	Flujo de agua	Temperatura bulbo húmedo aire		Temperatura agua entrada		Temperatura agua salida		Potencia motor abanico	Potencia motor bomba	Referencia B.A.C.
	kW	Tons			m3/hr	lpm	°C	°F	°C	°F			
CT-01	823.7	234.2	111265	2097	22.2	72.0	35.0	95.0	29.4	84.9	15	3	FXV-443
CT-02	823.7	234.2	111265	2097	22.2	72.0	35.0	95.0	29.4	84.9	15	3	FXV-443
CT-03	823.7	234.2	111265	2097	22.2	72.0	35.0	95.0	29.4	84.9	15	3	FXV-443

Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura

Tabla 3.3: Características de las bombas de agua circuito secundario

Etiqueta	Flujo de agua	Descarga Total		Potencia al Freno	Potencia motor	Velocidad Rotación Abanico	Eficiencia	Referencia Bell & Gossett
		lpm	m H2O	ft H2O	Bhp	hp	rpm	
P-1	1563	38.7	126.9	18.2	30	1750	73.1	1510-4GB
P-2	1563	38.7	126.9	18.2	30	1750	73.1	1510-4GB
P-3	1563	38.7	126.9	18.2	30	1750	73.1	1510-4GB

Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura

Tabla 3.4: Características de las bombas de agua circuito primario

Etiqueta	Flujo de agua	Descarga Total		Potencia al Freno	Potencia motor	Velocidad Rotación Abanico	Eficiencia	Referencia Bell & Gossett
		lpm	m H2O	ft H2O	bhp	hp	rpm	
CHP-1	1563	44.1	144.6	22.8	40	1750	69.3	1510-4GB
CHP-2	1563	44.1	144.6	22.8	40	1750	69.3	1510-4GB
CHP-3	1563	44.1	144.6	22.8	40	1750	69.3	1510-4GB
CHP-4	1563	44.1	144.6	22.8	40	1750	69.3	1510-4GB

Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura

Tabla 3.5: Características de las bombas de las torre de enfriamiento

Etiqueta	Flujo de agua	Descarga Total		Potencia al Freno	Potencia motor	Velocidad Rotación Abanico	Eficiencia	Referencia Bell & Gossett
		lpm	m H2O	ft H2O	bhp	hp	rpm	
CTP-01	2097	24.4	80.0	14.0	20	1150	79.5	1510-5G
CTP-02	2097	24.4	80.0	14.0	20	1150	79.5	1510-5G
CTP-03	2097	24.4	80.0	14.0	20	1150	79.5	1510-5G
CTP-04	2097	24.4	80.0	14.0	20	1150	79.5	1510-5G

Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura

Tabla 3.6: Características de los bancos de hielo

Etiqueta	Volumen tanque de agua		Capacidad de chiller de glycol		Carga de unidad de glycol		Referencia B.A.C.	Cantidad
	gal	litros	Tons ARI	kW	gal	litros		
IC-01 a IC-06	9150	34633	589	2072	3601	13630	TSU-L592M	6

Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura

Tabla 3.7: Características de los extractores e inyectores por edificio

Etiqueta	Ubicación	Flujo de aire (m ³ /hr)	Potencia motor abanico (hp)	Referencia Greenheck	Área a servir	Tipo de Control
EX-01	Azotea-Techo	5950	1/2	GB-200-5	Baño Vestíbulos	Timer
EX-02	Sótano - Nivel -4.11	765	1/4	BSQ-90-4	Baños Comedor Empleados	Con Luz
EX-03	Sótano - Nivel -7.35	30585	5	SWB-236-50	Parqueos	Temporizador 8 am - 5 pm
EX-04	Sótano - Nivel -7.35	30585	5	SWB-236-50	Parqueos	Temporizador 8 am - 5 pm
EX-05	Sótano - Nivel -4.11	30585	5	SWB-236-50	Parqueos	Temporizador 8 am - 5 pm
EX-06	Sótano - Nivel -4.11	30585	5	SWB-236-50	Parqueos	Temporizador 8 am - 5 pm
EX-07	Sótano - Nivel -4.11	30585	5	SWB-236-50	Cuarto Bombeo	Temporizador 8 am - 5 pm
EX-08	Sótano - Nivel -4.11	595	144 W	CSP-A390	Baños Parqueos	Con Luz
IN-01	Azotea-Techo	5950	1	RF-120-10	Escaleras Emergencias	Alarma de Incendio
IN-02	Azotea-Techo	3400	1/2	RSF-90-5	Escaleras Emergencias	Alarma de Incendio
IN-03	Sótano - Nivel -4.11	1360	1/4	BSQ-140-4	Comedor Empleados	Con interruptor
IN-04	Azotea-Techo	8155	3	RSF-150-30	Aire Fresco	Temporizador 8 am - 5 pm

Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura

Tabla 3.8: Características de las bombas del sistema de agua potable

Etiqueta	Caudal total (L/min)	Presión (m H ₂ O)	Motor HP	Ref. Bell & Gosset		Modelo Paquete	Condición
				Modelo	Serie		
PWP-01	700	64,52	20	1-1/2 BC	1531	70M	Normal
PWP-02	700	64,52	20	1-1/2 BC	1531		Normal
PWP-03	700	64,52	20	1-1/2 BC	1531		Respaldo

Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura

Las acometidas de alimentación eléctrica de todos los equipos y motores antes descritos va depender del tamaño del motor de acuerdo al diseño y especificaciones eléctricas, que es a 208 V ó 480 V, trifásico y 60 Hz.

Toda la información anterior de estos equipos es necesaria para la simulación energética del diseño Propuesto y compararla con el Edificio Línea Base de acuerdo a la norma de energía 90.1 de *ASHRAE*.

CAPITULO 4
EVALUACION DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

4.1 Metodología

El proceso de evaluación del sistema de aire acondicionado del Oficentro El Cedral consistió primero en calcular la carga térmica de enfriamiento de los tres edificios utilizando el programa de cómputo *HAP* de sus siglas en inglés de *Hourly Analysis Program* versión 4.41, del fabricante Carrier Corporation, que cuenta con todos los requisitos para realizar simulaciones energéticas de acuerdo a la norma de *ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1-2007*, exigida por *LEED-CS* para el cumplimiento de los créditos de la categoría de Energía y Atmósfera (EA).

Seguidamente se estableció para la Zona Climática 1 que aplica para el proyecto según la norma de energía 90.1-2007, las características de los materiales que se deben utilizar para cumplir con los requerimientos mínimos de desempeño energético en la simulación del Edificio de Línea Base.

Se incluyeron en los modelos del Edificio Propuesto y del Edificio Línea Base las características de los equipos indicados en planos e instalados y las características de equipos con mínimo desempeño según la norma 90.1-2007 que aplican para el Edificio Línea Base. Además se incluyeron las tarifas actuales de energía eléctrica de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), la cual da servicio de energía eléctrica a ese sector de la ciudad.

Finalmente se siguieron todos los lineamientos del Apéndice G de la norma de energía 90.1-2007 para realizar las simulaciones energéticas requeridas.

Paralelamente se analizaron las tazas de ventilación de aire fresco del diseño propuesto siguiendo los datos del inyector de aire fresco de la Tabla 3.7 para determinar si se cumple con los requerimientos mínimos de ventilación indicados en la norma *ANSI/ASHRAE 62.1-2004*, que se exige en el prerrequisito 1 de la categoría de Control del Ambiente Interno (EQ). El flujo total que maneja el inyector actual es de 8155 m³/hr (4800 cfm) y los requerimientos mínimos por la norma 62.1 son de 9855 m³/hr (5800 cfm) para la aplicación, lo que corresponde a una

diferencia de un 21%. En la sección 4. 3 se indica el procedimiento de este cálculo de aire fresco.

Al estar el proyecto por debajo de los flujos mínimos, se ajustó los requerimientos de aire fresco para cumplir con estos valores y posteriormente se aumentaron las tasas de flujo sobre un 30% de lo requerido en la norma de ventilación, para cumplir con el crédito 2 de EQ.

Se incluyeron estos últimos valores de aire fresco en las simulaciones energéticas cumpliendo con los prerequisites de las categorías de EA y EQ como un sistema integral donde ambas categorías son competencia del sistema de aire acondicionado.

Como en el programa *HAP* v4.41 de Carrier Corp. no se le pueden incluir directamente los bancos de hielo como fuentes de almacenamiento de energía, se modelaron los bancos de hielo del proyecto simulando las curvas de carga y operación diaria para determinar el ahorro en la factura eléctrica, incluyéndolos en los resultados obtenidos de las simulaciones anteriores para optar al crédito correspondiente y determinar el desempeño energético del sistema de aire acondicionado.

Finalmente se realizó la evaluación del manejo del refrigerante principal como parte del tercer prerequisite y crédito 4 de la categoría de EA.

4.1.1 Cálculo de carga térmica

Para calcular la carga térmica se realizaron los siguientes pasos:

1. Se recopiló la información referente a las características de los materiales utilizados en la construcción de la envolvente de los edificios y se determinaron los coeficientes globales de transferencia de calor de estos materiales, requeridos para los cálculos de carga térmica.
2. Se tomaron las condiciones de aire exterior suministradas por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) para la Estación de Pavas, ubicada en el

Aeropuerto Tobías Bolaños, que es la Estación más cercana al proyecto con características climatológicas muy similares. Estos datos tabulados por el IMN son de dominio público y corresponden a los valores promedios de temperatura ambiente, lluvia, humedad y otros recopilados entre los años 1995 y 2005, además se complementaron con los datos de las estaciones analizados por el Ing. Juan José Gutiérrez, en su artículo publicado en la Revista Ingeniería en 1995, sobre las condiciones de exteriores de diseño para estimaciones de carga de enfriamiento. Luego los datos de las condiciones del aire exterior se incluyeron en el programa de cómputo *HAP* de Carrier Corp. para realizar los cálculos acordes a la ubicación geográfica y climatológica del proyecto.

3. Se estableció las condiciones del cuarto o de las zonas a acondicionar en 24°C (75°F) bulbo seco y 50% de humedad relativa, como condiciones de confort para el nivel de actividad como es una oficina, de acuerdo a la figura 5.2.1.1 de la norma *ASHRAE 55-2004*, Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana.
4. Por medio de los planos se determinaron las áreas de piso de cada una de las fincas filiales (FF) y en cada nivel, tomando el Edificio 1 como el edificio de referencia al ser muy similares en áreas y en orientación que las fincas filiales de los otros dos edificios.
5. Igualmente se determinaron las áreas de paredes y ventanas de las fachadas y cerramiento del edificio, donde el área de ventanas con respecto al área total de pared para modelar el Edificio Línea Base, no debe ser mayor al 40% del área total de pared, según la norma *ASHRAE 90.1-2007*, cumpliéndose en el caso del proyecto.
6. Se estableció el número de ocupantes y su actividad basados en el Código Urbano para el uso de suelo, dado no se conoce este dato por el tipo de desarrollo constructivo, Núcleo y Envolverte (Core and Shell).

7. Se estableció una densidad de iluminación (interna y externa) y de los equipos de oficina eléctricos que se conectan a los circuitos de tomacorrientes, basados en los planos eléctricos siguiendo un modelo de desempeño energético como premisa. Para el Edificio Línea Base se tomaron los valores indicados por la norma *ASHRAE* 90.1-2007.
8. Se incluyeron las características y eficiencias de los diferentes equipos del Edificio Propuesto y el Edificio Línea Base en el programa de cómputo *HAP* v.4.41 de Carrier Cor. para crear los modelos de edificios como los define el programa, siguiendo la norma 90.1-2007 de *ASHRAE*. Se incluyeron tanto los equipos del sistema de aire acondicionado como otros que no forman parte de este sistema que consumen energía eléctrica.
9. Se incluyeron las tasas de aire fresco cumpliendo con el crédito EQ2 para verificar si la capacidad de los equipos del diseño propuesto podían manejar este aumento de carga y energéticamente cual es el aumento en la factura eléctrica con respecto a los valores mínimos establecidos por la norma *ASHRAE* 62.1-2004.
10. Se realizaron las simulaciones energéticas con las tarifas eléctricas vigentes de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (*CNFL*) quién suministra la energía eléctrica del sector de Escazú donde está ubicado el proyecto, como parte de los requisitos de *LEED*.

4.2 Simulaciones energéticas

En la siguiente tabla se presentan las características de los materiales utilizados en el proyecto y se dividieron en los del Edificio Propuesto y en los requeridos para el mínimo desempeño según la norma *ANSI/ASHRAE/IESNA* 90.1-2007 que corresponden al Edificio Línea Base, para el cumplimiento obligatorio del prerrequisito 1 de la categoría de Energía y Atmósfera (EA) y poder alcanzar más créditos en este rubro.

Tabla 4.1: Materiales del Edificio Propuesto y del Edificio Línea Base

Elemento del Edificio	Diseño Edificio Propuesto	Diseño Edificio Línea Base Cumplimiento de ASHRAE 90.1-2007 Tabla 5.5-1 (Zona 1)	Referencias adicionales ASHRAE 90.1-2007	Cumplimiento de la norma de energía
1. Envoltente				
Techo	Techo aislado R-7 U=0.558 W/m ² K (0.098 BTU/hr ft ² F)	Techo aislado R-15 U=0.358 W/m ² K (0.063 BTU/hr ft ² F)	Tabla A2.2	No cumple
Paredes sobre tierra	Concreto 200 mm sin aislamiento. U=2.58 W/m ² K (0.45 BTU/hr ft ² F)	Concreto 100 mm sin aislamiento. U=3.29 W/m ² K (0.58 BTU/hr ft ² F)	Tabla A3.1A	Cumple y excede
Paredes bajo tierra	Concreto 200 mm sin aislamiento. U=2.58 W/m ² K (0.45 BTU/hr ft ² F)	Concreto 100 mm sin aislamiento. U=3.29 W/m ² K (0.58 BTU/hr ft ² F)	Tabla A4.2	Cumple y exede
Losas de entrepiso	Concreto 150 mm sin aislamiento U=0.322 W/m ² K	Concreto 150 mm sin aislamiento U=0.322 W/m ² K	Tabla A6.3	Cumple
Losa de contrapiso	Concreto 150 mm sin aislamiento U=0.322 W/m ² K	Concreto 150 mm sin aislamiento U=0.322 W/m ² K	Tabla A6.3	Cumple
Puertas	Opaca Marco metal sin aislar U=0.70 W/m ² K	Opaca Marco Metal Simple sin aislar U=0.70 W/m ² K	Secc. A7.1	Cumple
Proporción Ventana con Pared	40%	40%		Cumple
Tipo de ventanería	Vidrio sencillo tinte verde vertical	Vidrio sencillo tinte marco metal		Cumple
Factor U de ventanas	5.6 W/m ² K (0.986 BTU/hr ft ² F)	U=6.81 W/m ² K (1.2 BTU/hr ft ² F)	Tabla A8.2	Cumple y excede
Coficiente Calor Sensible Ventanas (SHGC)	0.38	0.70	Tabla A8.2	Cumple y excede
Transmisión de luz (VLT)	0.63	0.58	Tabla A8.2	Cumple y excede
Coficiente de sombra	0.44	0.70	Tabla A8.2	Cumple y excede
Dispositivos de Sombra Fijos	N.A.	N.A.		N.A.
Dispositivos de Sombra Móviles	N.A.	N.A.		N.A.
2. Cargas y Sistemas Eléctricos				
Densidad de Iluminación y Descripción de Diseño	D = 10.8 W/m ² (1.0 W/ft ²)	Oficina Método Espacio D = 11.8 W/m ² (1.1 W/ft ²)	Tabla 9.6.1	Cumple
Densidad de Iluminación Exterior	Fachadas D = 16.4 W/m (5W/ft)	Fachadas D = 16.4 W/m (5W/ft)	Tabla 9.4.5	Cumple
Controles de Iluminación	No hay	No hay		N.A.
Equipos de Tomacorrientes	D = 16.1 W/m ² (1.5 W/ft ²)	D = 16.1 W/m ² (1.5 W/ft ²)		Cumple

Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura y Norma ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1-2007

Para el caso del aislamiento del techo, el material instalado no cumple con los requerimientos que deben cumplir en términos de la resistencia térmica mínima para la Zona 1, que debería ser R-15 ($R=2.79 \text{ m}^2/\text{W K}$) para un coeficiente global de transferencia de calor “U” de $0.358 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}$ ($0.063 \text{ BTU}/\text{hr ft}^2\text{F}$) y está instalado con R-7 más el material de cielo que se alcanza un valor de resistencia $R = 1.79 \text{ m}^2/\text{W K}$ ($R=10.2 \text{ ft}^2\text{hr}/\text{BtuF}$) o un valor de $U = 0.558 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}$ ($0.098 \text{ BTU}/\text{hr ft}^2 \text{ F}$). Como parte de los prerrequisitos se debe cumplir a cabalidad la norma *ASHRAE 90.1-2007*, sin embargo se realizaron los cálculos con el valor real de resistencia térmica del aislamiento de la cubierta de techo para tener cálculos más acordes a lo instalado. En caso que se requiera certificar con *LEED* los edificios, se debe cumplir con los requerimientos mínimos, por lo que se puede agregar una capa adicional de aislamiento internamente para aumentar la resistencia térmica por el apartado de techo, que además bajaría el consumo de energía por el sistema de aire acondicionado, sin embargo a un costo adicional por la instalación del material.

En el Apéndice A.2 se incluyen los resultados de los cálculos de las resistencias térmicas de los materiales indicados en la tabla 3.5 anterior. Para el caso de los materiales del Edificio Línea Base se diferencian del diseño del Edificio Propuesto porque se les agregó al final de su nombre el número “90.1” por su referencia a la norma de energía *ASHRAE 90.1-2007*.

Para el caso de los equipos se realizó la siguiente de tabla basada en los formatos de *LEED* con las características de los mismos para elaborar los modelos de edificio que se incluyeron en el programa de cómputo para realizar las simulaciones.

Se incluye en la tabla las condiciones de diseño del aire exterior del proyecto y las condiciones del cuarto a mantener para una condición típica de confort.

Tabla 4.2: Equipos del Edificio Propuesto y del Edificio Línea Base

Elemento del Edificio	Diseño Edificio Propuesto	Diseño Edificio Línea Base Cumplimiento de Método de Desempeño Apéndice G ASHRAE 90.1-2007	Referencias ASHRAE 90.1- 2007
Sistemas Mecánicos			
Condiciones de aire exterior	Basadas en un 1% para temperatura máxima de bulbo seco con respecto al total de las horas del año	Basadas en un 1% para temperatura máxima de bulbo seco con respecto al total de las horas del año	Sección G3.1.2.2.1
Condiciones del cuarto	24°C (75°F) BS y 50% HR	24°C (75°F) BS y 50% HR	Tabla G3.1, apartados 1 y 3
Tipo de sistema de aire acondicionado	Sistema de manejadora de aire de volumen constante con agua helada por finca filial.	Sistema 8: Sistema de manejadora de volumen variable de aire (VAV) con agua helada por piso. Cajas con de volumen con ventilador y resistencia eléctrica (PFP).	Tabla G3.1.1A
Chiller: cantidad, tipo, capacidad y eficiencia	Tres chillers de tornillo de 679.5 kW (193.2 TR) cada uno, enfriados por agua, eficiencia de 0.660 kW/ton, control de carga parcial, temperatura suministro de agua basada en la carga de enfriamiento con temperatura de diseño de 6.1°C (43°F) y una máxima de 8.9°C (48°F).	Dos chillers de tornillo iguales enfriados por agua, automáticamente dimensionados con 15% de sobrediseño, eficiencia de 4.90 COP y 5.60 IPLV, control secuencial, temperatura suministro basado en temperatura exterior del aire en 6.7°C (44°F) para 26.7°C (80°F) Bulbo Seco exterior y superiores.	Tabla G3.1.3.7 Tabla 6.8.1C Sección G3.1.2.2 Sección G3.1.3.9
Bombas circuito primario	Tres bombas de flujo constante de 1563 lpm (413 gpm) cada una, potencia de 10.9 W/lpm (41.2 W/gpm), eficiencia mecánica de 75% y eléctrica de 94%. Sin ganancias de calor.	Bombas de flujo constante dimensionadas automáticamente, potencia de 5.8 W/lpm (22 W/gpm), eficiencia mecánica de 75% y eléctrica de 93%. Sin ganancias de calor.	Sección G3.1.3.10 Sección G3.1.3.6
Bombas circuito secundario	Tres bombas de flujo variable de 1563 lpm (413 gpm) cada una, potencia de 8.7 W/lpm (32.9 W/gpm), eficiencia mecánica de 75% y eléctrica de 93%. Control de carga en 3.05 m wg (10 ft wg) y flujo mínimo de 50%. Sin ganancias de calor.	Bombas de flujo variable dimensionadas automáticamente con potencia de 5.8 W/lpm (22 W/gpm), eficiencia mecánica de 75% y eléctrica de 93%. Control de carga en 3.05 m wg (10 ft wg) y flujo mínimo de 50%. Sin ganancias de calor.	Sección G3.1.3.10 Sección G3.1.3.6
Torre de enfriamiento	Torre sellada de circuito cerrado con flujo de agua de 2097 lpm (554.1 gpm), temperatura de bulbo húmedo de diseño de 22.2°C (72°F) con un rango de 5.6°C (10°F) y diferencia entre temperatura de salida de agua y bulbo húmedo de aire (approach) de 6.7°C (12°F), control con velocidad de dos ventiladores	Torre de circuito cerrado con flujo de agua dimensionado a una tasa de 5.6°C (10°F), temperatura de bulbo húmedo de diseño de 23.8°C (75°F), diferencia entre temperatura de salida de agua y bulbo húmedo de aire (approach) de 5.6°C (10°F), control con velocidad de dos ventiladores	Sección G3.1.3.11 Tabla 6.8.1G
Ventiladores de las torres	Capacidad de 13.5 kW, eficiencia eléctrica de 91% y 67%, de flujo de aire a baja velocidad	Capacidad en 0.80 kW/ton, eficiencia eléctrica de 91% y 67%, de flujo de aire a baja velocidad	Sección G3.1.3.11
Bombas de torre	Volumen constante, potencia de 6.7 W/lpm (25.3 W/gpm), eficiencia mecánica de 75% y eléctrica de 94%	Volumen constante, potencia de 5.0 W/lpm (19 W/gpm), eficiencia mecánica de 75% y eléctrica de 94%	Sección G3.1.3.11
Temperatura de diseño de suministro de aire	11.7°C (53°F)	12.8°C (55°F). Diferencial de 11.1°C (20°F) con la temperatura del cuarto y fijada 2.8°C (5°F) sobre el mínimo de	Sección G3.1.2.8 Sección G3.1.3.12

		las condiciones.	
Diferencial de diseño de temperatura de agua helada	6.67°C (12°F)	6.67°C (12°F). Modelada en 6.7°C (44°F) en suministro y 13.3°C (56°F) en retorno.	Sección G3.1.3.8
Ventiladores de manejadoras	Alabes curvados hacia adelante, configuración de tiro inducido, eficiencia del 54% y caída externa del aire de 38.1mm wg (1.5 in wg)	Tipo basado en la curva de carga parcial del Apéndice G, configuración de tiro inducido, eficiencia del 54% y caída externa del aire de 50.1mm wg (2.0 in wg)	Tabla G3.1.3.15
Control del ventiladores	Operación continua en espacios ocupados y ciclada para mantener condiciones en horarios desocupados	Operación continua en espacios ocupados y ciclada para mantener condiciones en horarios desocupados	Sección G3.1.2.4
Control de termostatos	Banda de control de 1.7°C (3 F)	Banda de control de 1.7°C (3F)	Sección 6.4.3.1 .2
Unidad terminal	Tipo difusor con resistencia eléctrica	Caja con ventilador con resistencia con un flujo mínimo de 50% del flujo de suministro y desempeño de 0.74 W/lps (0.35 W/cfm)	Sección G3.1.3.14
Economizador para aire	No Requerido para la Zona 1	No Requerido para la Zona 1	Tabla G3.1.2.6B
Sistema de calefacción	No existe pero se modela con resistencias eléctricas	Igual que Edificio Propuesto	Tabla G3.1, apartados 1 y 10

Fuente: Norma ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1-2007

Los datos de las fincas filiales FF, llamadas zonas por tener un solo termostato porque no existen divisiones internas por la fase constructiva, que conforman los cinco niveles de cada edificio a acondicionar, con sus características de área de piso, población, iluminación, equipos eléctricos y áreas de paredes, ventanas y particiones utilizadas para realizar el cálculo de carga térmica con el programa *HAP* v4.41 de Carrier Corp., se presentan en la tablas 4.3 y 4.4.

Tabla 4.3: Características de las zonas a acondicionar

No	Zona a acondicionar	Área Piso	Área Techo	Iluminación		Gente		Equipos	
		(m ²)	(m ²)	W/m ²	(W)	pers/100 m ²	No	W/m ²	(W)
1	FF111	442		10,76	4755.9	5	24	16.1	6182.7
2	FF112	468		10.76	5035.7	5	25	16.1	6546.4
3	FF121	512		10.76	5509.1	5	28	16.1	7161.9
4	FF122	512		10.76	5509.1	5	28	16.1	7161.9
5	FF131	509		10.76	5476.8	5	27	16.1	7119.9
6	FF132	566		10.76	6090.2	5	30	16.1	7917.2
7	FF141	509		10.76	5476.8	5	27	16.1	7119.9
8	FF142	566		10.76	6090.2	5	30	16.1	7917.2
9	FF151	455	360.8	10.76	4895.8	5	24	16.1	6364.5
10	FF152	512	363.2	10.76	5509.1	5	28	16.1	7161.9
11	MEZANINE	261	261.0	10.76	2808.3	5	14	16.1	3650.7
12	VESTIBULO N1	148		10.76	1592.5	2	3	5.4	796.2
13	VESTIBULO N2	56		10.76	602.6	1	1	5.4	301.3
14	VESTIBULO N3	54		10.76	581.0	1	1	5.4	290.5
15	VESTIBULO N4	54		10.76	581.0	1	1	5.4	290.5
16	VESTIBULO N5	56	61.4	10.76	602.6	1	1	5.4	301.3
17	PARQUEOS SOTANOS	11946		3.23	38561.7				
18	PARQUEOS EXTERIORES	6978		1.61	11262.5				
19	ILUMINACION FACHADAS	510 m		53.8	8364.0				

Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura

Tabla 4.4: Características paredes y ventanas de las zonas a acondicionar

No	Zona a acondicionar	Paredes Exposición TOTAL		Ventanas		Ventanas Línea Base		Particiones
		Orientación	Área (m ²)	Orientación	Área (m ²)	Orientación	Área (m ²)	Área (m ²)
1	FF111	N	83,2	N	27,0	N	27,0	80,4
		W	113,9	W	57,2	W	45,6	
		S	84,2	S	50,6	S	33,7	
2	FF112	N	83,2	N	27,0	N	27,0	51,0
		E	113,9	E	57,2	E	45,6	
		S	117,4	S	50,6	S	47,0	
3	FF121	N	65,3	N	27,0	N	26,1	51,9
		W	89,5	W	50,8	W	35,8	
		S	66,1	S	27,0	S	26,5	

		E	9,5	E	5,0	E	3,8	
4	FF122	N	65,3	N	27,0	N	26,1	51,0
		E	89,5	E	50,8	E	35,8	
		S	92,3	S	27,0	S	27,0	
		W	9,5	W	5,0	W	3,8	
5	FF131	N	65,3	N	13,5	N	13,5	51,9
		W	89,5	W	28,7	W	28,7	
		S	66,1	S	13,5	S	13,5	
		E	9,5	E	9,0	E	3,8	
6	FF132	N	65,3	N	13,5	N	13,5	51,0
		E	89,5	E	28,7	E	28,7	
		S	92,3	S	13,5	S	13,5	
		W	9,5	W	9,0	W	3,8	
7	FF141	N	65,3	N	13,5	N	13,5	51,9
		W	89,5	W	28,7	W	28,7	
		S	66,1	S	13,5	S	13,5	
		E	9,5	E	9,0	E	3,8	
8	FF142	N	65,3	N	13,5	N	13,5	51,0
		E	89,5	E	28,7	E	28,7	
		S	92,3	S	13,5	S	13,5	
		W	9,5	W	9,0	W	3,8	
9	FF151	N	65,3	N	35,4	N	26,1	47,4
		W	89,5	W	47,5	W	35,8	
		S	66,1	S	35,4	S	26,5	
		N	98,9					
10	FF152	N	65,3	N	35,4	N	26,1	47,1
		E	89,5	E	47,5	E	35,8	
		S	92,3	S	35,4	S	35,4	
		N	98,9					
11	MEZANINE	N	48,9	S	4,8	S	4,8	
		S	48,9					
12	VESTIBULO N1	N	38,3	N	36,8	N	15,3	79,2
		S	30,2	S	29,0	S	12,1	
13	VESTIBULO N2	N	30,1	N	28,6	N	12,0	66,0
14	VESTIBULO N3	N	30,1	N	28,6	N	12,0	66,0
15	VESTIBULO N4	N	30,1	N	28,6	N	12,0	66,0
16	VESTIBULO N5	N	30,1	N	29	N	12,0	54,6

Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura

En la siguiente tabla se indican los resultados del cálculo de la carga térmica para seleccionar la planta de enfriamiento (*chiller*) para el Edificio Propuesto y para el Edificio Línea Base, considerando el aumento de la tasa de aire fresco para cumplir con el crédito EQ2, cuya diferencia con la carga a valores mínimos cumpliendo con los valores de acuerdo a la norma *ASHRAE* 62.1-2004 es de un 2 a un 6% más. En el Apéndice A.10 se incluyen los resultados de los diferentes escenarios de edificios. El valor punta de carga térmica es para el mes de Junio a las 15 horas.

Tabla 4.5: Resultados de cálculo de carga térmica

Carga térmica	Edificio Propuesto	Edificio Línea Base
	kW (Ton)	kW (Ton)
Cumplimiento Norma 62.1	1192.0 (338.9)	1540.6 (438.1)
Cumpliendo crédito EQ2	1259.6 (358.1)	1558.2 (443.1)

Fuente: Resultados del programa *HAP* v4.41 de Carrier Corp.

Tomando la carga térmica del Edificio Propuesto para cumplir el crédito EQ2, se obtuvo el perfil de carga diario de acuerdo al horario de ocupación establecido para un uso normal de oficinas. Este horario se definió siguiendo las recomendaciones del Manual de Aplicaciones (*HVAC Applications Handbook*) del *ASHRAE* y del manual del programa *HAP* de Carrier Corporation basado a su vez en el Manual del Usuario de la norma *ASHRAE* 90.1-2004, que se presenta a continuación:

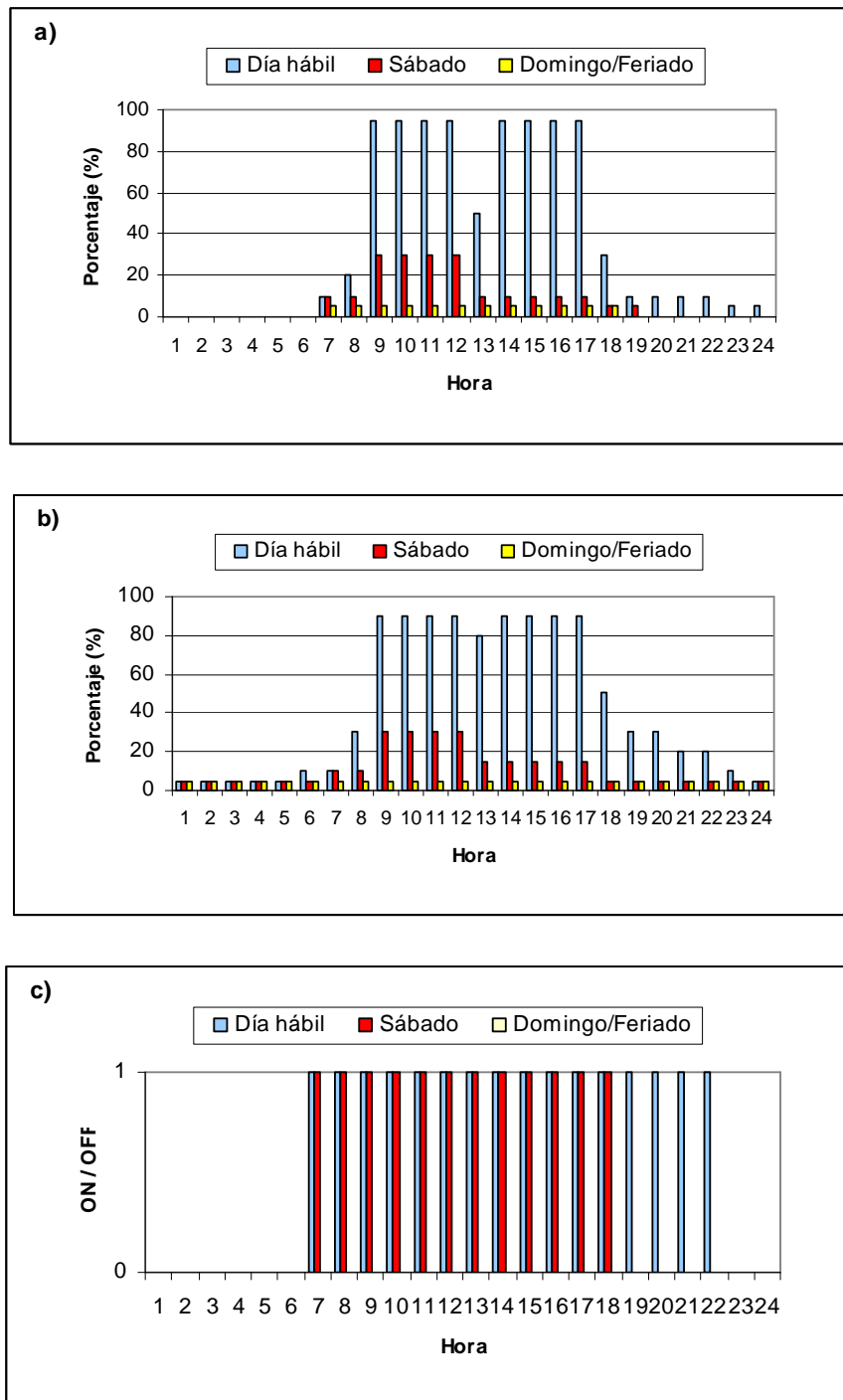


Figura 4.1: Perfiles de horarios: a) Ocupación, b) Luces y equipos, c) Termostato

Fuente: Carrier Corp. y ASHRAE 90.1-2004 Schedules

La carga térmica de enfriamiento horaria del Edificio Propuesto EQ2 calculada por el programa de cómputo es:

Tabla 4.6: Carga de enfriamiento horaria para Junio

Hora del día	Mes de Diseño	Junio	
	Temperatura de Aire Exterior (°C)	Carga de Enfriamiento (kW)	Carga de Enfriamiento (Tons)
0	20.3	0	0
1	19.9	0	0
2	19.5	0	0
3	19.2	0	0
4	18.9	0	0
5	18.8	0	0
6	18.9	943.9	268.4
7	19.4	953.0	271
8	20.2	976.6	277.7
9	21.3	1032.5	293.6
10	22.6	1051.1	298.9
11	24.1	1109.1	315.4
12	25.4	1138.3	323.7
13	26.4	1207.6	343.4
14	27.2	1231.2	350.1
15	27.4	1259.3	358.1
16	27.2	1228.7	349.4
17	26.6	1171.4	333.1
18	25.6	1115.8	317.3
19	24.5	1057.1	300.6
20	23.3	1014.5	288.5
21	22.4	953.7	271.2
22	21.6	0	0
23	20.9	0	0

Fuente: Resultados del programa *HAP* v4.41 de Carrier Corp.

A partir de los valores de esta tabla se graficó el perfil horario que se muestra en la figura 4.2 y se evaluó a partir de este perfil la capacidad de los bancos de hielo instalados para satisfacer la demanda con la premisa de sacar de operación las plantas enfriadoras de agua (*chillers*) en el horario punta de la facturación

eléctrica y fabricar hielo durante las noches con la tarifa nocturna, como medida de ahorro en la facturación.



Figura 4.2: Perfil de carga horaria para Junio
Fuente: Resultados del programa HAP v4.41 de Carrier

Las tarifas de energía de Mediana Tensión (T-MT) aplicables al proyecto por su diseño e instalación eléctrica, son las vigentes a Abril de 2010 que fueron publicadas en la Gaceta # 170 de 2009 y tomadas del sitio de internet de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (*ARESEP*). Se tabulan las tarifas en las tablas 4.7 y 4.8, tomando un tipo de cambio de 550 colones por dólar, que corresponde aproximadamente al 10 de Marzo de 2010 y cercano al promedio de los valores del tipo de cambio entre la fecha de publicación de las tarifas y la fecha de los cálculos realizados. El histórico de los tipos de cambio se tomó del sitio de internet del Banco Central de Costa Rica. Estos valores tabulados en dólares estadounidenses de las tarifas se introdujeron al programa y se observan en el Apéndice A.4 de la memoria de cálculo.

Tabla 4.7: Tarifas CNFL T-MT – Cargos por Energía

Temporada	Periodo	Horario	Unidades	\$/kWh
Todas	Punta	De 10:01 a 12:30 y de 17:31 a 20:00	kWh	0,0891
Todas	Valle	De 6:01 a 10:00 y de 12:31 a 17:30	kWh	0,0436
Todas	Nocturno	De 20:01 a 6.00	kWh	0,0327

Fuente: <http://www.aresep.go.cr/cgi-bin/index.fwx?area=09&cmd=servicios&id=9598&sub=1523>

Tabla 4.8: Tarifas CNFL T-MT - Cargos por Demanda

Temporada	Periodo	Horario	Unidades	\$/kW
Todas	Punta	De 10:01 a 12:30 y de 17:31 a 20:00	kW	15,545
Todas	Valle	De 6:01 a 10:00 y de 12:31 a 17:30	kW	11,058
Todas	Nocturno	De 20:01 a 6.00	kW	7,022

Fuente: <http://www.aresep.go.cr/cgi-bin/index.fwx?area=09&cmd=servicios&id=9598&sub=1523>

Los resultados de la simulación del Edificio Propuesto sin bancos de hielo y con las cuatro orientaciones del Edificio Línea Base, según los requerimientos de *LEED*, se presentan en las tablas 4.9 y 4.10:

Tabla 4.9: Relación de ventanas con paredes

	Edificio Propuesto	Edificio Línea Base
Relación de área de ventanas con pared total	38.9 %	38.9 %
Área total de pared (m ²)	9 030	9 030
Área total de ventana vertical (m ²)	3 510	3 510

Fuente: Resultados del programa HAP v4.41 de Carrier

Se cumple la relación de área de ventanas verticales inferior al 40% del área total de paredes exigida por *LEED*.

Tabla 4.10: Costo anual Edificio Línea Base y Edificio Propuesto

Componente	[B000] EQ2 Línea Base Oficentro (\$)	[B090] EQ2 Línea Base Oficentro (\$)	[B180] EQ2 Línea Base Oficentro (\$)	[B270] EQ2 Línea Base Oficentro (\$)	Propuesto Oficentro EQ2 AHU CAV (\$)
Ventiladores de manejadoras	54,617	61,781	55,058	61,610	46,020
Enfriamiento	77,275	81,118	77,329	80,881	69,993
Calentamiento	10	2	0	0	10
Bombas	31,405	30,683	29,575	31,370	52,229
Ventiladores de torres	24,332	23,689	22,924	24,253	19,030
HVAC Sub-Total	187,640	197,274	184,887	198,114	187,281
Luces	93,832	91,110	91,921	91,368	80,584
Equipo eléctrico	122,370	118,820	119,878	119,157	114,457
Otros equipos eléctricos	12,303	11,946	12,052	11,980	11,507
Otros uso de combustible	0	0	0	0	0
No HVAC Sub-Total	228,504	221,876	223,852	222,505	206,548
Gran Total	416,144	419,150	408,739	420,619	393,829

Fuente: Resultados del programa HAP v4.41 de Carrier

Los resultados de los costos anuales de la tabla 4.10 obtenida con la simulación, se dividieron en los componentes o equipos que pertenecen a los sistemas de climatización del edificio como: Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC, de sus siglas en inglés de Heating, Ventilation and Air-Conditioning) y los demás. Los equipos que no pertenecen a los sistemas de climatización (No HVAC) son las luces, equipos eléctricos conectados a la red eléctrica por medio de los circuitos de tomacorrientes como equipo de cómputo, de oficina y otros varios como bombas de agua potable.

Los costos anteriores para cada edificio se pueden ilustrar representándolos en los siguientes gráficos:

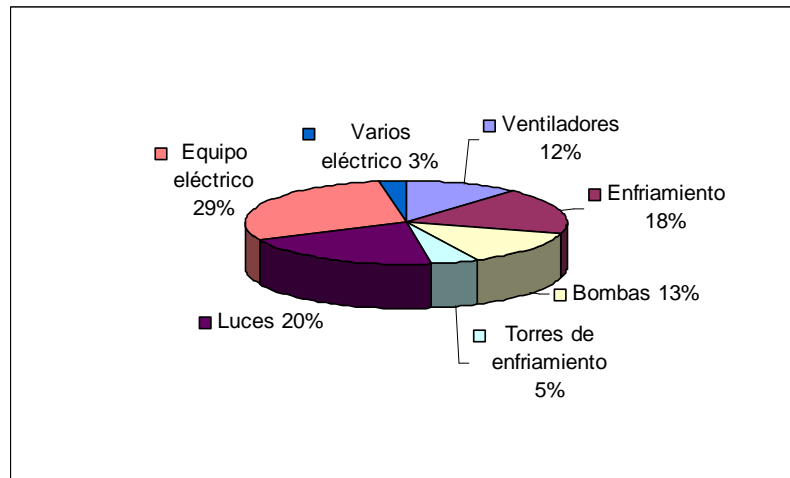


Figura 4.3: Componentes del costo anual Edificio Propuesto
Fuente: Resultados del programa *HAP* v4.41 de Carrier Corp.

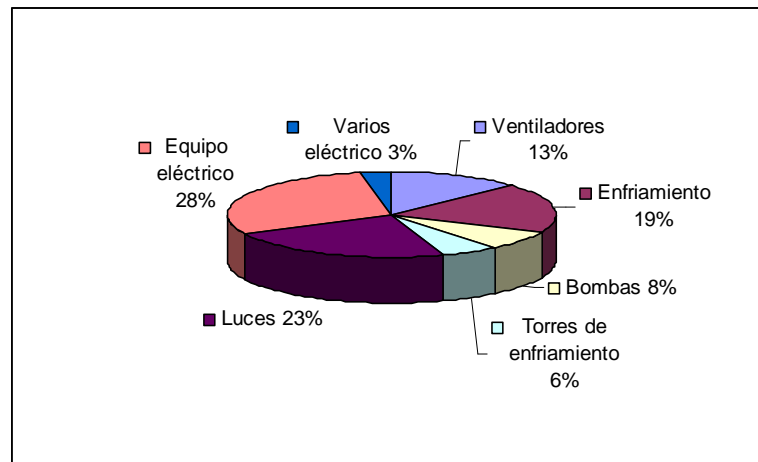


Figura 4.4: Componentes del costo anual Edificio Línea Base
Fuente: Resultados del programa *HAP* v4.41 de Carrier Corp.

Para la evaluación del desempeño energético del Edificio Propuesto con respecto al Edificio Línea Base y verificación del cumplimiento del Apéndice G de la norma de energía *ASHRAE* 90.1-2007, se generaron las siguientes tablas a partir de los resultados de la simulación realizada con el programa de Carrier Corp. *HAP* v.4.41:

Tabla 4.11: Método de Evaluación del Desempeño

Uso final	Proceso	Tipo Energía Edificio Propuesto	Edificio Propuesto Unidades	Resultados Edificio Propuesto	Edificio Línea Base Unidades	Resultados Edificio Línea Base	Porcentaje de Ahorro
Iluminación interna	No	Eléctrica	Energía kWh	541,183	Energía kWh	589,407	8 %
			Demanda kW	166.7	Demanda kW	181.5	8 %
Calefacción de espacio	No	Eléctrica	Energía kWh	67	Energía kWh	20	-230 %
			Demanda kW	3.2	Demanda kW	1.5	-115 %
Enfriamiento de espacio	No	Eléctrica	Energía kWh	470,456	Energía kWh	507,138	7 %
			Demanda kW	189.5	Demanda kW	241.1	21 %
Bombas	No	Eléctrica	Energía kWh	350,791	Energía kWh	196,978	-78 %
			Demanda kW	76.8	Demanda kW	64.0	-20 %
Calor rechazo (torres)	No	Eléctrica	Energía kWh	127,844	Energía kWh	152,426	16 %
			Demanda kW	27.0	Demanda kW	48.9	45 %
Ventiladores internos	No	Eléctrica	Energía kWh	309,045	Energía kWh	373,355	17 %
			Demanda kW	64.4	Demanda kW	102.6	37 %
Equipos de tomacorrientes	Si	Eléctrica	Energía kWh	768,683	Energía kWh	768,683	0 %
			Demanda kW	236.9	Demanda kW	236.9	0 %
Inyector aire fresco	Si	Eléctrica	Energía kWh	5,580	Energía kWh	5,580	0 %
			Demanda kW	2.1	Demanda kW	2.1	0 %
Extractor baños	Si	Eléctrica	Energía kWh	1,015	Energía kWh	1,015	0 %
			Demanda kW	0.4	Demanda kW	0.4	0 %
Extractores sótano	Si	Eléctrica	Energía kWh	51,666	Energía kWh	51,666	0 %
			Demanda kW	15.0	Demanda kW	15.0	0 %
Bombas agua potable	Si	Eléctrica	Energía kWh	19,023	Energía kWh	19,023	0 %
			Demanda kW	7.1	Demanda kW	7.1	0 %
Energía Total	Uso Total Anual de Energía kBTU			9,025,945		9,093,976	1 %
	Energía Anual Proceso kBTU			2,886,438		2,886,438	0 %

Fuente: Resultados del programa HAP v4.41 de Carrier Corp.

Tabla 4.12: Costo de energía anual. Método de Evaluación del Desempeño

Tipo de Energía	Edificio Propuesto		Edificio Línea Base		Porcentaje de Ahorros	
	Uso de Energía	Costo (\$)	Uso de Energía	Costo (\$)	Uso de Energía	Costo
Eléctrica	2,645,353 kWh	393,827	2,665,292 kWh	416,162	0.7 %	5.4 %
Total (Modelo)	9,025,945 kBTU	393,827	9,093,976 kBTU	416,162	0.7 %	5.4 %

Fuente: Resultados del programa HAP v4.41 de Carrier Corp.

Con base en los resultados de la evaluación de los bancos de hielo para la carga térmica demanda por del edificio, se calculó el consumo de la energía y su correspondiente costo de los equipos que trabajarían en el período nocturno como las plantas enfriadoras de agua (*chillers*) fabricando hielo para derretir en los períodos punta para satisfacer el enfriamiento, bombas del circuito primario, y bombas y ventiladores de las torres para el enfriamiento de las plantas enfriadoras de agua (*chillers*). Estos costos se compararon con el sistema del edificio propuesto sin bancos de hielo determinado con la simulación realizada con el programa de cómputo *HAP* v4.41 de Carrier Corp., con el fin de determinar si existe un ahorro en el consumo de energía eléctrica y en la facturación.

La siguiente tabla muestra el resumen de estos cálculos que se encuentran en el Apéndice A.12 para su verificación.

Tabla 4.13: Costo y consumo de energía anual por uso de banco de hielo

Uso Final	Edificio con Banco Hielo		Edificio sin Banco de Hielo		Porcentaje de Ahorros	
	Uso de Energía kWh	Costo (\$)	Uso de Energía kWh	Costo (\$)	Uso de Energía	Costo
Chiller	1.182.720	\$79.298	\$1.361.927	\$143.466	13,2%	44,7%
Bombas	693.873	\$67.314	\$519.932	\$61.621	-33,5%	-9,2%
Torres	226.879	\$20.401	\$151.253	\$17.926	-50,0%	-13,8%
Total	2.103.473	\$167.013	\$2.033.113	\$223.014	-3,5%	25,1%

En la tabla se observa que existe un ahorro en la facturación con el sistema de aire acondicionado utilizando banco de hielo porque las plantas de enfriadoras de agua (*chillers*) están apagadas y se hace uso del hielo en las horas del período punta de mayor facturación, además que las plantas de enfriadoras de agua (*chillers*) trabajan en su rango de mayor eficiencia, lo que hace que consuma menos energía aunque trabaje más horas en el día. Sin embargo existe un aumento en el consumo general de energía durante el año, principalmente por las bombas y ventiladores de las torres de enfriamiento.

4.3 Análisis de aire fresco

La metodología de cálculo para determinar los valores de flujo de aire fresco para cumplir con la norma *ANSI/ASHRAE 62.1-2004* se presentan en la tabla 4.14 y corresponden para el nivel 1. Adicionalmente en esta tabla se incluye la cantidad de aire fresco que se debe inyectar para cumplir con el crédito EQ2 que establece que debe ser un 30% sobre los valores mínimos de la norma 62.1.

En la tabla 4.15 se presenta un resumen de los valores para todos los pisos indicando los flujos de aire fresco para cumplir con la norma 62.1 y para cumplir con el crédito de *LEED EQ2*.

Estos valores de flujo de aire exterior se incluyeron en los cálculos de carga térmica y simulación de los edificios presentados en la sección anterior.

Tabla 4.14: Metodología de cálculo de flujo de aire exterior

Nivel Piso 1		Zona 1	Zona 2	Zona 3
		FF111	FF112	Vestíbulo
Az	Area de piso de la zona, m ²	442,0	468,0	148,0
Pz	Población de zona, mayor # de personas pueden ocupar la zona	24	25	8
	Densidad de ocupación #/100 m ²	5,4	5,3	5,4
Rp	Taza de flujo de aire exterior de Tabla 6.1, L/s/persona	2,5	2,5	2,5
Ra	Tasa de aire exterior de Tabla 6.1, L/s/m ²	0,3	0,3	0,3
Pz*Rp		60	62,5	20
Az*Ra		132,6	140,4	44,4
Ez	Efectividad de distribución de aire en zona de Tabla 6.2	1	1	1
Voz	Flujo de aire a zona corregida por efectividad de distribución de aire de la zona, (Pz*Rp + Az*Ra)/Ez, L/s	193	203	64
Vpz	Flujo de aire primario a la zona desde manejadora. Para sistemas de flujo variable VAV, usar el valor de diseño, L/s	3759,0	3539,1	1031,3
Vpzm	Mínimo valor de flujo primario a la zona desde manejadora. En sistemas de flujo constante CAV, Vpzm = Vpz , L/s	3759,0	3539,1	1031,3
Zp	Fracción de aire exterior primario, Voz/Vpzm	0,05	0,06	0,06
Vot	Mínimo flujo de entrada de aire exterior, Vou/Ev, L/s	214	225	72
Vot	Flujo de entrada de aire exterior sobre la norma, L/s	283	300	94
EQ2	Porcentaje de aire exterior sobre norma para cumplir EQ2, %	32,3%	32,9%	32,0%

SISTEMA POR NIVEL

Ps	Población del sistema, máximo número de ocupantes servido por el sistema	57
D	Diversidad de ocupación, relación entre el pico de ocupación del sistema y la suma de ocupaciones, $P_s/\Sigma P_z$	1,00
Vou	Flujo de aire exterior incorregido, $D*\Sigma R_p*P_z + \Sigma R_a*Az$, L/s	460
Xs	Relación de mezcla de flujo primario de manejadora del flujo sin corregir de aire exterior al flujo primario del sistema, Vou/Vps	0,06

EFICIENCIA DEL SISTEMA

Max Zp	Max Zp	0,06
Ev	Eficiencia del sistema de ventilación de Tabla 6.3 basado en el maxZp	0,90
Vot	Mínimo flujo de entrada de aire exterior, Vou/Ev, L/s (cfm)	511 (1083)
Vot EQ2	Flujo de entrada de aire exterior sobre la norma, L/s (cfm)	677 (1435)
	Porcentaje de entrada de aire exterior sobre la norma 62.1	32,5%

Tabla 4.15: Resumen de flujos de aire exterior por zona

Nivel	Zona	Flujo aire norma 62.1		Flujo aire EQ2		% sobre norma 62.1
		m ³ /hr	cfm	m ³ /hr	cfm	
1	FF 111	765	450	1020	600	33%
	FF112	808	475	1080	635	34%
	Vest N1	257	151	340	200	32%
2	FF 121	889	523	1190	700	34%
	FF122	889	523	1190	700	34%
	Vest N2	97	57	128	75	32%
3	FF 131	886	521	1190	700	34%
	FF132	983	578	1309	770	33%
	Vest N3	94	55	128	75	36%
4	FF 141	886	521	1190	700	34%
	FF142	983	578	1309	770	33%
	Vest N4	94	55	128	75	36%
5	FF 151	791	465	1054	620	33%
	FF152	889	523	1190	700	34%
	Mezanine	451	265	595	350	32%
	Vest N5	97	57	128	75	32%
Total Aire exterior		9855	5797	13167	7745	34%

El flujo total que maneja el inyector de aire fresco del diseño original es de 8155 m³/hr (4800 cfm) de acuerdo a la tabla 3.5, que corresponde a 1700 m³/hr (1000 cfm) por debajo de los requerimientos de la norma 62.1 de ventilación. Por lo que se debe evaluar la capacidad del inyector y potencia del motor para manejar el flujo requerido para cumplir con el crédito EQ2. Es importante señalar que el buscar cumplir con este crédito de *LEED*, puede afectar los puntos en otros tal y como sucede con el crédito de Optimizar el desempeño energético de EA1, puesto que los ventiladores deben exceder los mínimos de la norma en flujo, lo que implica mayor gasto de energía.

4.4 Análisis del refrigerante principal

Los lineamientos para el manejo de refrigerantes principales se mencionan en la sección 2.4.3 de la categoría de Energía y Atmósfera (EA), específicamente el prerrequisito 3 y el crédito 4.

El refrigerante principal del proyecto es el utilizado en las plantas enfriadoras de agua (*chillers*) y es de la familia de los HFC (HidrocloroFlouroCarbono) que cumple con el prerrequisito de no utilizar refrigerantes tipo CFC, los cuales tienen un alto potencial de la capa de ozono (ODP, de sus siglas en inglés) y un alto potencial de calentamiento global (GPW, de sus siglas en inglés).

De acuerdo con el crédito 4 de la categoría EA se debe cumplir la siguiente expresión para otorgar el punto correspondiente:

$$LCGWP + LCODP \times 10^5 \leq 100$$

En las tablas siguientes se presentan los cálculos para determinar el efecto ambiental que produce el refrigerante de las plantas enfriadoras de agua (*chillers*) del proyecto.

Tabla 4.16: Datos de entrada para análisis de impacto ambiental

Datos de entrada										
Unidades	Capacidad Qund		Refrigerante	GWPr	ODPr	Rc	Vida	Lr	Mr	Fuga Total Tr
	Tons	kW				lb/ton	años	%	%	Lr x Vida + Mr
3	193.2	679.5	R-134a	1320	0	2	23	1%	10%	33%

Tabla 4.17: Cálculo de impacto ambiental del refrigerante

Cálculos						
LCGWP	LCODP x 10 ⁵	Impacto Refrigerante en Atmósfera	(LCGWP + LCODP x 10 ⁵) x N x Qund	Capacidad Qtotal		Impacto Promedio Refrigerante en Atmósfera
(GPWr x Tr x Rc) / Vida	100,000 x (ODPr x Tr x Rc) / Vida	LCGWP + LCODP x 10 ⁵		Tons	kW	$[\sum(\text{LCGWP} + \text{LCODP} \times 10^5) \times \text{Qunit}] / \text{Qtotal}$
37.9	0	37.9	21954	579.6	131261.5	37.9

Por lo tanto de acuerdo a los cálculos presentados en las dos tablas anteriores, el refrigerante R-134a utilizado en el proyecto cumple con los requerimientos establecidos por *LEED* para el control del impacto ambiental que pueden producir estas sustancias y el crédito correspondiente, EA 4.

CAPITULO 5
DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Al no existir la distribución arquitectónica interna del proyecto, se tuvo que modelar para el Edificio Propuesto un sistema de aire acondicionado de flujo volumétrico de aire constante (CAV, de sus siglas en inglés de Constant Air Volume) con una manejadora por zona, para un total de tres manejadoras por piso, que corresponde una por finca filial y la tercera para el vestíbulo.

El sistema central de aire acondicionado que cumple con los requerimientos de la norma de energía *ASHRAE* 90.1 se denominó Edificio Línea Base, se modeló con un sistema de volumen variable de aire (VAV, de sus siglas en inglés de Variable Air Volume) con una manejadora por piso para las mismas tres zonas del sistema del Edificio Propuesto. Cada zona es controlada por una caja de flujo volumétrico de aire que varía el flujo de aire suministrado en respuesta a las necesidades de carga térmica del espacio a lo largo del día.

Esta diferencia entre el sistema CAV y VAV implica un mayor consumo energético al tener tres manejadoras en lugar de una por piso y al no existir la posibilidad de variar el flujo de aire en carga parcial asociado también a la variación de la carga por la radiación solar durante el día.

Sin embargo con la ayuda de una planta enfriadora de agua (*chiller*) más eficiente en el consumo de energía para una capacidad de refrigeración demandada y con la incorporación del banco de hielo se logra tener en el Edificio Propuesto una temperatura de agua helada de entrada al serpentín de enfriamiento menor que en el Edificio Línea Base fijada en 6.7°C (44°F). Esto implica un menor flujo de aire y una menor potencia demandada en los ventiladores de las manejadoras del Edificio Propuesto.

En el Edificio Línea Base los flujos de aire fueron determinados por el programa de cómputo al ser un sistema VAV con una temperatura de suministro de aire fijada por la norma asociada a la temperatura del cuarto.

Por los requerimientos de la norma de energía 90.1 se ocupan cajas de volumen variable con ventilador y resistencia eléctrica en el Edificio Línea Base y en

el Edificio Propuesto se tuvieron que modelar difusores de suministro de aire con resistencias eléctricas.

Por el tema de estar asociadas a un sistema de volumen constante, CAV, la demanda de energía fue mayor para el Edificio Propuesto en la simulación de la carga por calefacción, aunque por las condiciones climáticas de la zona del proyecto no se justifica pero es exigido por la norma de energía.

Los flujos de agua del Edificio Línea Base fueron determinados automáticamente por el programa de cómputo y para el Edificio Propuesto los flujos de agua estaban determinados por la fabricación de hielo realizada por la planta enfriadora de agua (*chiller*) en las noches, donde su eficiencia disminuye por tener que trabajar a temperaturas bajas para hacer hielo y el costo de la energía eléctrica es más bajo que en las horas punta. A pesar que la planta enfriadora de agua (*chiller*) con los bancos de hielo opere más horas que en el modo sin banco de hielo, el consumo total de energía incluyendo las bombas y torres de enfriamiento es similar pero existe un ahorro en la facturación eléctrica que justifica la inversión de la adquisición de los bancos de hielo.

El programa de cómputo que considera más variables y simula para las 8760 horas del año, entrega un valor mayor en el consumo energético aplicando las tarifas para la carga de enfriamiento que siguiendo el procedimiento de cálculo realizado manualmente con una hoja electrónica. No obstante lo que aclara la norma es que se compara edificios y sistemas entre ellos bajo las mismas condiciones y estos resultados no representan el costo real de la facturación eléctrica anual del edificio, es un modelo de referencia.

Aunque el Edificio Propuesto con el sistema de aire acondicionado incorporando el banco de hielo no consume menos energía que el modelo sin banco de hielo, el hecho de desplazar el mayor consumo de energía eléctrica en el horario nocturno se justifica no solo a nivel tarifario sino a nivel de utilización del recurso de la energía, que en ese momento del día la demanda de energía eléctrica del país es menor, por lo que posiblemente no se requiera generar electricidad por

medio de las plantas térmicas que utilizan combustibles fósiles disminuyendo la contaminación ambiental que éstas generan. Para complementar sobre este tema, se ilustra que en Costa Rica la generación eléctrica por plantas térmicas es del 1%, siendo la energía hidroeléctrica la principal fuente de energía con más del 80%, le sigue la geotérmica con un 15% y el restante 3% corresponde a la energía eólica, de acuerdo a datos de la página web del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Se utilizó la curva del perfil de la carga térmica horaria para la comparación de los sistemas con y sin banco de hielo. Este perfil está desplazado hacia las horas del inicio de la tarde, momento en el cual se empieza a liberar la energía almacenada por el edificio en las horas previas de exposición solar y en ambos edificios se presentó el mismo patrón de carga.

El sistema de enfriamiento del edificio tiene capacidad para manejar el incremento de ventilación para cumplir con el crédito EQ2 sin sobrepasar sus límites, no así el inyector de aire fresco que se deberá revisar su capacidad y potencia del motor para manejar el incremento de caudal de aire exterior solicitado. Este cambio es menor con relación a un cambio en el sistema de enfriamiento central.

Al subir la proporción de aire exterior para cumplir con el crédito EQ2, todavía no se garantiza una completa dilución del dióxido de carbono en los espacios densamente poblados que en este proyecto no están definidos.

La evaluación cualitativa de la guía *LEED* realizada como complemento de este trabajo se presenta en el Apéndice B, obtuvo un total de 12 puntos. El edificio analizado no calificaría para una certificación de edificación sustentable siguiendo la guía *LEED-CS*, ya que todos los edificios que obtengan más de 22 puntos, el *USGBC* los certifica como edificios “verdes” o “amigables” con el ambiente.

Algunos de estos puntos son de mayor dificultad como el alcanzar un alto desempeño energético donde intervienen principalmente los sistemas de

climatización del aire interno, iluminación y equipos eléctricos y la correcta selección de los materiales, aislamientos y acabados apegada a las guías definen el éxito de la construcción en esas áreas. Igualmente el manejo de las aguas es muy importante y no se le da la puntuación que se merece en el sistema *LEED* desde el punto de vista ambiental para la conservación del recurso hídrico, lo cual le otorgan 5 puntos frente a los 11 puntos posibles en Materiales y Recursos.

CAPITULO 6
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Con base en los análisis de los resultados obtenidos y en la investigación realizada sobre construcción sustentable se concluye lo siguiente:

El modelado de edificios mediante la simulación energética utilizando un programa de cómputo reconocido puede ayudar a diferentes propósitos, principalmente en optimizar el diseño los sistemas de climatización y modelar el consumo de energía en edificios, estableciendo las bases y retroalimentación para obtener ahorros en la facturación y en la demanda de energía.

El modelado realizado empezó con la descripción física y de sus componentes como la geometría, datos geográficos y climatológicos del proyecto, horarios de operación y ocupación, tipos de sistemas de climatización entre otros.

La simulación energética del sistema de aire acondicionado del Oficentro El Cedral realizada con el programa de cómputo de Hourly Analysis Program (*HAP*) versión 4.41 de la empresa Carrier Corporation, cumple con los requerimientos de para la simulación establecida por la norma de energía 90.1 de *ASHRAE* y que a su vez la guía de evaluación sustentable *LEED*, establece como la base de desempeño para un edificio energéticamente eficiente.

El diseño del sistema central de aire acondicionado del Oficentro El Cedral, denominado Edificio Propuesto, cumple con la mayoría de los prerrequisitos exigidos por la guía de evaluación *LEED-CS*, los cuales pueden implementarse para cumplir a cabalidad con ellos.

Se determinó que el aislamiento del techo del Oficentro El Cedral no cumple estrictamente con lo establecido por la norma de energía *ASHRAE* 90.1 para la Zona Climática donde se ubicó el país, y que el inyector de aire fresco fue seleccionado para una tasa de flujo volumétrico de aire exterior inferior con respecto a lo que establece la norma de ventilación *ASHRAE* 62.1.

A partir del cálculo de carga térmica de enfriamiento y simulación energética del Oficentro El Cedral se obtuvieron las siguientes cargas para el sistema de aire acondicionado central: 18% para las plantas enfriadoras de agua (*chillers*), 13% para las bombas, 12% para los ventiladores de las manejadoras y en menor grado los ventiladores de las torres de enfriamiento con un 5%. Las otras cargas del edificio como la iluminación, se obtuvo un 20% y los equipos eléctricos conectados a la red eléctrica de tomacorrientes consumen un 29% de la energía del edificio.

Las bombas de agua helada del circuito primario y secundario y las bombas de las torres de enfriamiento del Edificio Propuesto tienen una relación de potencia a caudal muy alta, que sobrepasa los requerimientos de la norma de energía para sistemas de bombeo eficientes (10,8 y 8,7 contra 5,8 W/lpm) y representa un consumo energético importante comparado al Edificio Línea Base afectando el desempeño global del sistema de aire acondicionado del edificio.

El efecto de bajar un 10% en la densidad de iluminación en el Edificio Propuesto con respecto al Edificio Línea Base, refleja un ahorro de un 8% en el consumo y en la demanda de energía eléctrica, que con el tiempo se ve beneficiado el utilizar luminarias más eficientes.

Se cumplió con la relación de área de ventanas contra el área total de pared expuesta, que *LEED* exige sea menor al 40%, obteniendo un 39% en el proyecto.

Investigando en diferentes sitios de internet y en artículos especializados, no se encontraron referencias de la aplicabilidad del uso de bancos de hielos como medida principal de ahorro energético de un edificio.

Con el uso del banco de hielo en este proyecto se consiguió un desplazamiento del consumo energético a períodos donde el costo de la energía es menor que en los períodos punta. Su ventaja es que baja la factura por consumo de energía eléctrica justificando su inversión y si se presentan perfiles de carga térmica como el obtenido.

Evaluar el desarrollo constructivo tipo Núcleo y Envolverte (Core & Shell) sin conocer la distribución arquitectónica, materiales a utilizar, sistemas sanitarios de bajo consumo de agua, castiga la evaluación porque no se pueden otorgar los puntos por su inexistencia. Además la guía *LEED* exige considerar un sistema de calefacción cuando en Costa Rica no se requiere por sus características climatológicas del Trópico y puede afectar en el desempeño energético del edificio.

En Costa Rica no existen edificios diseñados localmente y certificados como sustentables y algunos concebidos como tal como la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica en la Ciudad de la Investigación, de un estudio de un trabajo final de graduación de Ingeniería Civil (Acuña, 2007), llegó a obtener menos del 45% de los puntos posibles, por lo que en el país estamos en un proceso lento de alcanzar una certificación de alto nivel.

Es importante desarrollar un sistema de evaluación para las condiciones locales de Costa Rica, considerando su diversidad de climas, incorporando materiales que se produzcan localmente y sea potencialmente certificable como amigable con el ambiente, e implementar las normativas y regulaciones de construcción y seguridad nacionales. Se pueden seguir las iniciativas de los países de Europa, Japón y Australia por medio de las guías del *iisBE*, *BREEAM* y *LEED* para crear nuestra propia guía buscando el bienestar y salud de los ocupantes como la conservación del ambiente reduciendo la contaminación ambiental que produce la industria de la construcción, donde estudios realizados demuestran que posterior a la construcción, los edificios *LEED* certificados usan del 18 al 33% menos de energía por área de piso que los edificios convencionales similares (Newsham 2009).

6.2 Recomendaciones

Se recomienda revisar el consumo eléctrico real del sistema de bombeo asociado a la carga dinámica de las bombas el cual está sobre los parámetros de alto desempeño.

Igualmente conviene revisar la capacidad del inyector de aire exterior para que pueda manejar el flujo de aire requerido e incorporar un cielo falso aislado para cumplir con los prerrequisitos de la guía de evaluación.

Igualmente si se exige instalar aislamientos de mayor resistencia térmica como el utilizado en el proyecto para el techo, se puede consultar al *USGBC* si se justifica por el clima de Costa Rica mantener el techo existente y revisar otras fuentes de consumo de energía como las bombas y las manejadoras de aire, para optimizar el desempeño en busca de obtener la certificación *LEED*.

Se recomienda a los diseñadores y consultores utilizar el modelado energético con la simulación con programas de cómputo reconocidos para comparar diferentes opciones de diseño de sistemas de climatización enfocándose a diseños de bajos costos de operación, eficientes energéticamente y amigables con el ambiente.

Para obtener una certificación de construcción sustentable es necesario que la iniciativa se geste desde el inversionista, cliente y del grupo diseñador en el campo de la ingeniería y arquitectura y se debe definir el nivel de certificación meta y la factibilidad de alcanzar los puntos establecidos por los créditos.

Para un proyecto en construcción, obtener una certificación de edificio sustentable es un reconocimiento importante a nivel comercial, sin embargo el enfoque de la construcción debe apuntar hacia el desarrollo sustentable en armonía con el ambiente y acorde a las necesidades y regulaciones propias locales donde se construya la edificación.

Finalmente se recomienda incentivar a través de las Escuelas de Ingeniería y de Arquitectura por medio de cursos y el Colegio de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica el desarrollo y la implementación de un sistema propio de evaluación de construcción sustentable siguiendo las iniciativas de otras organizaciones internacionales como alternativa para minimizar el gran impacto que hace la industria de la construcción al medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

1. Acuña, Daniel. Análisis de la metodología LEED de evaluación de edificios sostenibles para su aplicación en Costa Rica. Proyecto de graduación Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2007.
2. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA, 2004.
3. ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007 Energy for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA, 2007.
4. Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. Ley Forestal. Asamblea Legislativa. San José, Costa Rica, 1996.
5. ASHRAE. Advanced Energy Design Guide for Small Office Buildings. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA, 2004.
6. ASHRAE. 2005 ASHRAE Handbook-Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA, 2005.
7. ASHRAE. 2009 ASHRAE Handbook-Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA, 2009.
8. ASHRAE. 2007 ASHRAE Handbook-HVAC Applications. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA, 2007.
9. ASHRAE. 2008 ASHRAE Handbook-HVAC Systems and Equipment. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA, 2008.

10. Colegio Federado de Ingenieros de Costa Rica, Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo. Reglamento de Construcciones. Diario Oficial La Gaceta. San José, Costa Rica, 1988.
11. Gowri, Krishnan. Green Building Rating Systems: An Overview. ASHRAE Journal (2004) November 56-59.
12. Grumman, David, ASHRAE Green Guide, ASHRAE, Atlanta, USA, 2003.
13. Gutiérrez S., Juan José. Metodología para el estudio de condiciones exteriores de diseño para estimaciones de la carga de enfriamiento en localidades costarricenses. Ingeniería 5(2) (1995) 37-47, San José Costa Rica.
14. Hernández, Silverio. El diseño sustentable como herramienta para el desarrollo de la arquitectura y edificación en México. Acta Universitaria 18 (2) (2008) Mayo-Agosto 2008, 18-23.
15. Hudson, Tom. Building Simulation for LEED EQc2 Credit. ASHRAE Journal (2007) September 58-64.
16. Hwang, Yunho, Aynur, Tolga y Radermacher, Reinhard. Simulation of VAV air conditioning system in an existing building. Energy and Buildings 41 (2009) 922-929.
17. Kawazu, Yukihiro, Shimada, Nobuhiro y otros. Comparaison of Assessment results of BREEAM, LEED, GBTOOL and CASBEE. The 2005 World Sustainable Building Conference. Tokyo, 27-29 September 2005 (SB05 Tokyo).
18. Kibert, Charles, Sustainable Construction, 2nd ed., John Wiley & Sons, USA, 2008.
19. Meza Salas, Roberto. Implementación del sistema de evaluación LEED-NC v.2.2 en empresas consultoras de ingeniería y arquitectura en Costa Rica.

- Proyecto de graduación Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2008.
20. Newsham, Guy, Mancini, Sandra y Birt, Benjamin. Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but... *Energy and Buildings* 41 (2009) 897-905.
 21. ONU, División de Población, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Previsiones demográficas mundiales, Revisión 2006. Organización de las Naciones Unidas, New York, 2007.
 22. Pan, Yiqun, Yin, Rongxin y Huang, Zhizhong. Energy modeling of two office buildings with data center for green building design. *Energy and Buildings* 40 (2008) 1145-1152.
 23. Pérez-Lombard, Luis, Ortiz, José y otros. A review of benchmarking, rating and labelling Concepts within the Framework of building energy certification schemes. *Energy and Buildings* 41 (2009) 272-278.
 24. Pérez-Lombard, Luis y otros. A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings* 40 (3) (2009) 394-398.
 25. Persily, Andrew y otros. Standard 62.1 Problems, Perceptions & Panaceas. *ASHRAE Journal* (2007) March 34-44.
 26. Taylor, Steven. LEED and Standard 62.1. *ASHRAE Journal* 47 (9) (2005), 54-57.
 27. Todd, Joel Ann y otros. Comparative assessment of environmental performance Tools and the role of the Green Building Challenge. *Building Research & Information* (2001) 29(5), 324-335.
 28. U.S. Green Building Council, LEED Green Building Rating System for Core & Shell Development, version 2.0, 2006.
 29. Woolley, Tom y Kimmins, Sam. *Green Building Handbook*. Vol. 1. Taylor & Francis, New York, 1997.

30. Woolley, Tom y Kimmins, Sam. Green Building Handbook. Vol. 2. E & FN Spon, New York, 2000.
31. Yudelson, Jerry, Green Building A to Z, New Society Publishers, Canada, 2007.

Páginas web de Internet

1. <http://www.ashrae.org>
2. <http://www.usgbc.org>
3. <http://www.imn.ac.cr>
4. <http://www.arsep.go.cr>
5. http://www.bccr.fi.cr/flat/bccr_flat.htm
6. <http://www.energy.gov>
7. <http://www.usgs.gov>
8. <http://www.eird.org>
9. <http://www.iisbe.org>
10. <http://www.cibworld.nl>
11. <http://ingenieriaverde.wordpress.com/2009/06/15/construccion-sustentable/>
12. <http://www.bream.org>
13. <http://www.gbca.org.au>
14. <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/overviewE.htm>
15. <http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=1728>
16. <http://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdo>
17. <http://www.esd-world-conference-2009.org>
18. <http://green.harvard.edu/theresource/guidelines/>

19. <http://www.carrier.com>
20. <http://www.trane.com>
21. <http://www.baltimoreaircoil.com>
22. <http://www.greenheck.com>
23. <http://www.bellgossett.com>
24. http://digeca.minae.go.cr/ozono/ozono_planr.html
25. <http://www.grupoice.com/esp/ele/infraest/proyect/icelec/hidroelec.htm>
26. <http://www.dse.go.cr>

APENDICES

APENDICE A: Memoria de cálculo

Sistema de aire acondicionado Oficentro El Cedral

Datos de entrada y resultados del programa de cómputo Carrier *HAP* v 4.41

A.1 Clima

A.2 Materiales

A.3 Horario

A.4 Tarifas eléctricas *CNFL*

A.5 Espacios modelos

A.6 Sistema de manejadora

A.7 *Chiller*

A.8 Torre de enfriamiento

A.9 Plantas *Chiller*

A.10 Dimensionado de Plantas *Chiller*

A.11 Simulación

A.12 Comparación banco de hielo

A.1 Clima

A.2 Materiales

Paredes

Vidrio

Techo

A.3 Horarios

Ocupación para termostato

Iluminación

Equipo de oficina

Luces de estacionamiento subterráneo

A.4 Tarifas eléctricas *CNFL*

Tarifas de la *CNFL* Media Tensión incluidas en el programa de cómputo

A.5 Espacios modelos

Nomenclatura para los espacios

Abreviatura	Descripción de la zona	Ubicación
FF	Finca Filial	
FF 111	Edificio Propuesto	Edificio 1 - Piso 1 - Finca 1
EQ2 FF 111	Edificio Propuesto: Cumplimiento crédito EQ2	Edificio 1 - Piso 1 - Finca 1
BB FF 111	Edificio Línea Base	Edificio 1 - Piso 1 - Finca 1
EQ2 BB FF 111	Edificio Línea Base: Cumplimiento crédito EQ2	Edificio 1 - Piso 1 - Finca 1

A.6 Sistema de manejadora

Para el Edificio Propuesto se calculó una manejadora de volumen constante por zona o finca filial en todos los pisos: Sistema CAV

Para el Edificio Línea Base se calculó una manejadora de volumen variable de aire por piso con tres zonas: Sistema AHU VAV

A.7 Planta enfriadora de agua (*Chiller*)

El *chiller* para el Edificio Línea base se llamó *Chiller Baseline* que es un *chiller* genérico de tornillo según *ASHRAE 90.1*

El *chiller* del Edificio Propuesto se llamó *Chiller Trane RTHD*, de acuerdo a las características del equipo instalado.

Se incluyeron los *chillers* para los cuatro modelos de edificio: Edificio Propuesto, Edificio Propuesto cumpliendo crédito EQ2, Edificio Línea Base y Edificio Línea Base cumpliendo crédito EQ2.

A.8 Torre de enfriamiento

La torre de enfriamiento para el Edificio Línea Base se llamó “Cooling Tower Baseline” según *ASHRAE* 90.1

La torre de enfriamiento del Edificio Propuesto se llamó Torre de Enfriamiento con las características del equipo instalado.

A.9 Planta enfriadora de agua (*Chiller*)

Datos de entrada del *chiller*, torre de enfriamiento, manejadoras, bombas para formar una planta, llamada *Chiller Plant*, para cada modelo de edificio.

A.10 Dimensionado de Plantas *Chiller*

Resultados del dimensionamiento de cada planta *chiller* por modelo de edificio.

A.11 Simulación

Resultados de la simulación con el programa de cómputo para el Edificio Propuesto y el Edificio Línea Base con las cuatro orientaciones, y la simulación correspondiente para ambos edificios cumpliendo el crédito EQ2.

A.12 Comparación banco de hielo

Comparación energética y tarifaria del Edificio Propuesto cumpliendo con el crédito *LEED* EQ2 con y sin banco de hielo.

APENDICE B: Evaluación cualitativa Sistema *LEED-CS*

Como complemento a este trabajo se realizó una evaluación cualitativa del sistema *LEED-CS* al Oficentro El Cedral con fines académicos.

Mediante visitas al sitio, análisis de los planos de construcción se logró recopilar la información necesaria para evaluar el cumplimiento de cada inciso de la guía *LEED-CS*, según los criterios expuestos en el marco teórico, sección 2.4.

Se utilizó la siguiente simbología para la evaluación de cada inciso donde *PP* son los puntos posibles que puede otorgar cada crédito y *PO*, son los puntos obtenidos u otorgados de una forma cualitativa basado en algunos caso en los cálculos realizados y en la observación e información recopilada.

1. Sitios Sostenibles (SS)

1.1 Prerrequisito 1: Prevención de la contaminación generada en la construcción

Al evaluarse el proyecto en la fase constructiva final, no se garantiza que se haya cumplido este prerrequisito durante la construcción.

1.2 SS Crédito 1: Selección del sitio

Cumple con el artículo 33 de la Ley Forestal pues se encuentra a más de 50 metros de separación del Río Tiribí, que es el cuerpo de agua más cercano. También se evitó la construcción en terrenos con tendencia a inundaciones o en áreas protegidas (PP 1, PO 1).

1.3 SS Crédito 2: Densidad del desarrollo

Se otorga el punto porque la edificación cuenta con tres edificios de cinco pisos y un sótano cada uno, comprendiendo un área de construcción significativa relativa al terreno del proyecto, evitando la expansión del desarrollo urbano y sus problemas asociados (PP 1, PO 1).

1.4 SS Crédito 3: Redesarrollo de zonas industriales

Este inciso no aplica en el proyecto puesto que las áreas aledañas a los edificios que serían potencialmente recuperables no se pueden realizar lo que plantea este crédito, además que la zona no es industrial (PP 1, PO 0).

1.5 SS Crédito 4.1: Acceso a transporte público

Se asigna el punto correspondiente porque la edificación cuenta con una parada de autobús a menos de cien metros de sus instalaciones, del servicio de Escazú con varias líneas hacia el centro de San José (PP 1, PO 1).

1.6 SS Crédito 4.2: Parqueo de bicicletas

La edificación no cuenta con parqueos exclusivos para bicicletas, por lo tanto no se otorga el punto correspondiente (PP 1, PO 0).

1.7 SS Crédito 4.3: Vehículos con combustible alternativo

No existe estímulo para uso de vehículos que consuman combustibles alternativos, por lo que no se otorga el punto (PP 1, PO 0).

1.8 SS Crédito 4.4: Capacidad de parqueo

La edificación tiene una huella de construcción de un área de 4467 m², por lo que debería contar con un máximo de 45 espacios de parqueo para cumplir con este inciso, sin embargo su capacidad de parqueo a nivel del terreno es de 69 espacios, por lo que no se otorga el punto (PP 1, PO 0).

1.9 SS Crédito 5.1: Desarrollo de sitio, protección del hábitat

Este punto si se cumple, ya que los alrededores de la edificación se restauraron mediante la siembra de zacate, que ayuda a mantener el terreno permeable (PP 1, PO 1).

1.10 SS Crédito: 5.2 Maximizar los espacios abiertos

Este inciso se cumple debido a que el edificio tiene un 21% de cobertura del terreno (PP 1, PO 1).

1.11 SS Crédito 6.1: Diseño pluvial – Control de la cantidad

El punto asignado a este inciso no se otorga porque la construcción de este edificio causó una importante impermeabilización del terreno, y además no se tomaron en cuenta medidas para mitigar este efecto como la utilización de pavimentos permeables en lugar del asfalto y concreto (PP 1, PO 0).

1.12 SS Crédito 6.2: Diseño pluvial – Control de la calidad

El proyecto no cuenta con los sistemas para controlar la calidad de agua pluvial que se vierten al río a través de la red municipal, por lo que no se le otorga el punto (PP 1, PO 0).

1.13 SS Crédito 7.1: Efecto isla de calor en superficies no techadas

El proyecto no toma ninguna consideración para evitar el efecto isla de calor, utilizando asfalto y concreto en los parqueos exteriores al aire libre. Cuenta con pocos elementos naturales ni arquitectónicos que brinden una sombra significativa a los edificios, por lo que no obtiene el punto (PP 1, PO 0).

1.14 SS Crédito 7.2: Efecto isla de calor en superficies techadas

El punto que corresponde a este inciso si se obtiene porque el edificio posee un techo aislado que no aumenta la temperatura interna (PP 1, PO 1).

1.15 SS Crédito 8: Reducción de la contaminación luminosa

El edificio no cuenta por ahora con luces con sensores de movimiento para no producir un exceso de iluminación en las noches tanto al interior como al exterior, por lo cual no se asigna el punto (PP 1, PO 0).

1.16 SS Crédito 9: Directrices de diseño y construcción al inquilino

El diseño no contempla estas guías y directrices para acoplarse con la parte de remodelación interna, por lo que no se otorga el punto (PP 1, PO 0).

2. Eficiencia en el Manejo del Agua (WE)

2.1 WE Crédito 1.1: Uso eficiente del agua para riego – Reducción del 50% de agua potable

El edificio no cuenta con ningún sistema de riego que reduzca en un 50% el consumo de agua potable, por lo que no se le asigna ningún punto (PP 1, PO 0).

2.2 WE Crédito 1.2: Uso eficiente del agua para riego – Uso de agua no potable

No se cumple el objetivo de reducción de agua potable para riego usando agua no potable, que exige un 100% de reducción (PP 1, PO 0).

2.3 WE Crédito 2.1: Uso de tecnologías innovadoras en aguas residuales

No se cuenta con tecnologías innovadoras en el tratamiento de las aguas, por lo que no se otorga el punto posible (PP 1, PO 0).

2.4 WE Crédito 3.1: Reducción en uso de agua potable (20%)

No se otorgan el punto porque los edificios no cuentan con dispositivos instalados que de bajo consumo para reducir el consumo de agua potable en un 20% como exige el crédito (PP1, PO 0).

2.5 WE Crédito 3.2: Reducción en uso de agua potable (30%)

Igual que el inciso anterior, no se otorgan los puntos porque no se cuentan con dispositivos instalados de bajo consumo de agua potable (PP 1, PO 0).

3. Energía y Atmósfera (EA)

3.1 EA Prerrequisito 1: Inspección de los sistemas de energía del edificio

No se contrató ni realizó la inspección con su respectiva verificación documentada por una figura acreditada para evaluar lo que exige este proceso.

3.2 Prerrequisito 2: Desempeño mínimo de energía

De acuerdo a los cálculos el Edificio Propuesto genera un ahorro del 0.7% de energía y del 5.4% en costo con respecto al Edificio Línea Base que es el de mínimo desempeño siguiendo la norma de energía *ASHRAE 90.1-2007*, sin embargo se deben hacer ajustes como el aislamiento del techo para cumplir a cabalidad con este prerrequisito.

3.3 Prerrequisito 3: Manejo de los refrigerantes principales

De acuerdo a la sección 4.4 sobre manejo de refrigerantes, el refrigerante principal del sistema de aire acondicionado es R-134a que no es de la familia de los CFC, por lo que se satisface el prerrequisito.

3.4 EA Crédito 1: Optimizar desempeño energético

Para este crédito no se pudo determinar un ahorro significativo de la energía, que se exige un mínimo del 14% sobre el Edificio Línea Base que otorga los dos puntos, por lo tanto no se otorga ningún punto en este crédito (PP 8, PO 0).

3.5 EA Crédito 2: Energía renovable en sitio

El edificio no cuenta con energía producida por fuentes renovables, no obtiene puntaje en este rubro (PP 1, PO 0).

3.6 EA Crédito 3: Verificación mejorada

No se realizó ni siquiera la verificación exigida en el prerrequisito, por lo que no se otorga el punto correspondiente (PP 1, PO 0).

3.7 EA Crédito 4: Manejo mejorado de los refrigerantes

Como se menciona en la sección 4.4 sobre el manejo de refrigerantes, por el tipo de refrigerante y los cálculos requeridos en este crédito, se cumple con el impacto que pueden producir estas sustancias en el ambiente. Se asigna el punto correspondiente (PP 1, PO 1).

3.8 EA Crédito 5: Medición y verificación de Edificio Base y Submedición

No aplica en el contexto del proyecto (PP 2, PO 0).

3.9 EA Crédito 6: Energía verde

El edificio no cuenta con este tipo de energía, por lo tanto no obtiene puntaje en este rubro (PP 1, PO 0).

4. Recursos y Materiales (MR)

4.1 Prerrequisito 1: Almacenaje y recolección de productos reciclables

Las instalaciones no cuentan con sitios de recolección de estos productos. Se continúa con el estudio pues esta situación es fácil de revertir con un plan de reciclaje para el edificio y se debe implementar para cumplir con el prerrequisito.

4.2 MR Crédito 1: Reuso del edificio - Conservar paredes, piso y techo

Debido a que el proyecto se realizó con materiales y componentes nuevos, no obtiene ninguno de los tres puntos posibles en este inciso (PP 3, PO 0).

4.3 MR Crédito 2: Manejo de los desechos de la construcción

Para mantener el sitio de construcción en condiciones de orden, durante toda la etapa de construcción se llevó a cabo la recolección de desechos en forma regular y periódica. Además, el edificio cuenta una cantidad sustancial de ventanas, barandas metálicas y cerramientos con paredes livianas, de manera que se disminuye el uso de formaleta para el colado de concreto (PP 2, PO 1).

4.4 MR Crédito 3: Reutilización de materiales

Al igual que el crédito MR1, este punto no se obtiene ya que el inmueble es completamente nuevo (PP 1, PO 0).

4.5 MR Crédito 4: Contenido de reciclados

El edificio presenta componentes con material reciclado como el acero de refuerzo estructural, barandas y escaleras, y el plástico de muchos de los

acabados. Sin embargo, este inciso mide el porcentaje de contenido reciclado con respecto al costo total de la obra, la cual por ser a base de concreto en sus fundaciones y estructura, y tomando en cuenta que los acabados en su mayoría, no son reciclados, no se otorga los puntos posibles para este rubro (PP 2, PO 0).

4.6 MR Crédito 5.1: Materiales locales (20%)

Si bien el proyecto posee componentes importados como los equipos y materiales del sistema de aire acondicionado, material de acabado de pisos, la planta eléctrica, los ascensores y todo el sistema eléctrico interno, este punto se obtiene debido a que la gran mayoría de los materiales utilizados son de procedencia nacional, por ejemplo, únicamente el concreto y sus agregados sobrepasan el mínimo requerido para el puntaje de este rubro (PP 1, PO 1).

4.7 MR Crédito 5.2: Materiales locales (del 20% de 5.1, 50% del sitio)

Debido a que el criterio se refiere a materiales locales como los disponibles en la GAM, también se obtiene el punto pues más del 10% de los componentes de la obra proceden de depósitos de materiales cercanos al proyecto (PP 1, PO 1).

4.8 MR Crédito 6: Madera certificada

No existe documentación que la madera utilizada en la construcción proviene de una fuente reforestadora y amigable al ambiente y no representa un porcentaje importante en los materiales de acabado, por lo que no se otorga el punto correspondiente (PP 1, PO 0).

5. Calidad del Ambiente Interno (EQ)

5.1 Prerrequisito 1: Calidad mínima del aire

Se realizaron los cálculos para determinar si el inyector cumple con los requerimientos mínimos siguiendo la norma ANSI/ASHRAE 62.1-2004 y se tuvo que aumentar el flujo de aire que el inyector maneja actualmente. Por ser un

prerrequisito se debe hacer los ajustes al sistema de inyección de aire para cumplir con los requerimientos mínimos de ventilación establecidos por esta norma.

5.2 Prerrequisito 2: Control del humo de tabaco en el ambiente

Aplicando la ley 7501 que prohíbe el fumado en edificios de uso público, no deberían existir problemas de tabaco en el ambiente interno del edificio, sin embargo no existen en el proyecto lugares diseñados y destinados exclusivamente para el fumado y control del humo generado por esta actividad.

5.3 EQ Crédito 1: Monitoreo de aire exterior

No tiene sensores para monitoreo de Dióxido de Carbono (CO₂) que controlen el flujo de aire exterior (PP 0, PO 0).

5.4 EQ Crédito 2: Incremento de la ventilación

Para alcanzar este crédito se realizaron los cálculos a un mínimo de un 30% sobre los valores mínimos por norma y se realizaron las simulaciones correspondientes para determinar la capacidad de enfriamiento del sistema al incrementar el flujo de aire exterior, lo cual si se cumple (PP 1, PO 1).

5.5 EQ Crédito 3: Manejo de la calidad del aire interno (etapa construcción y antes de ocupar)

Debido a que estos rubros se refieren a la protección de los materiales utilizados en los sistemas de aire acondicionado y el edificio en cuestión no cuenta con estos equipos, no obtiene ningún punto de los dos disponibles (PP 2, PO 0).

5.6 EQ Crédito 4: Materiales de bajas emisiones (adhesivos, pinturas, alfombrado y maderas)

Por la fase de construcción no se conoce los materiales de acabados internos, mobiliario y alfombras, por lo que no se puede determinar si emitirán compuestos volátiles orgánicos contaminantes (PP 4, PO 0).

5.7 EQ Crédito 5: Control de químicos y contaminantes

No aplica (PP 0, PO 0).

5.8 EQ Crédito 6: Capacidad de control del sistema de confort térmico

Por la fase de construcción el edificio no cuenta sistemas sofisticados para el control térmico (PP 1, PO 0).

5.9 EQ Crédito 7: Diseño de confort térmico

Por la fase del desarrollo, no existen espacios internos definidos para tener un diseño que garantice un confort térmico para los ocupantes (PP 1, PO 0).

5.10 EQ Crédito 8: Luz natural y vistas

Este inciso se cumple para las áreas perimetrales por la gran cantidad de ventanas, no se puede asegurar el punto al no conocer la distribución interna de los edificios (PP 2, PO 0).

6. Proceso de diseño e innovación (ID)**6.1 ID Crédito 1.1 a 1.4: Innovación en el diseño**

La edificación cuenta con el sistema de enfriamiento con banco de hielo y un intercambiador de calor para evitar el transporte del agua helada con anti-congelante a los edificios y se contenga este fluido en el área de casa de máquinas. Esto lo convierte en un sistema innovador en la parte de manejo de la facturación energética (PP 4, PO 1).

6.2 ID Crédito 2: Profesional LEED-AP

Durante la fase de diseño y construcción no se contó con la asesoría de un profesional acreditado por *LEED (LEED-AP)* (PP 1, PO 0).

En la siguiente tabla se muestran los resultados del análisis realizado, incluyendo todas las categorías y sus rubros, con los puntajes posibles y obtenidos.

Tabla B.1: Evaluación sistema *LEED-CS*

	PP	PO
Sitios sostenibles (SS)	15	6
Prerrequisito 1: Prevención de la contaminación	Requerido	Cumplido
SS 1: Selección del sitio	1	1
SS 2: Densidad del desarrollo	1	1
SS 3: Redesarrollo del terreno	1	0
SS 4.1: Acceso a transporte público	1	1
SS 4.2: Parqueo de bicicletas	1	0
SS 4.3: Vehículos con combustible alternativo	1	0
SS 4.4: Capacidad de parqueo	1	0
SS 5.1 Desarrollo del sitio	1	1
SS 5.2: Maximizar los espacios abiertos	1	1
SS 6.1: Diseño pluvial (cantidad)	1	0
SS 6.2: Diseño pluvial (calidad)	1	0
SS 7.1: Efecto isla de calor en superficies no techadas	1	0
SS 7.2: Efecto isla de calor en superficies techadas	1	1
SS 8: Reducción de contaminación luminosa	1	0
SS 9: Directrices de diseño y construcción al inquilino	1	0
Eficiencia en el manejo del agua (WE)	5	0
WE 1.1: Uso eficiente del agua potable para riego (50%)	1	0
WE 1.2: Uso eficiente del agua para riego con agua no potable	1	0
WE 2: Uso de tecnologías innovadoras en aguas residuales	1	0
WE 3.1: Reducción en uso del agua potable (20%)	1	0
WE 3.2: Reducción en uso del agua potable (30-60%)	1	0

Energía y Atmósfera (EA)	14	1
Prerrequisito 1: Inspección de los sistemas del edificio	Requerido	No Cumplido
Prerrequisito 2: Eficiencia mínima de energía	Requerido	Cumplido
Prerrequisito 3: Manejo de refrigerantes principales	Requerido	Cumplido
EA 1: Optimizar desempeño de energía	8	0
EA 2: Energía renovable en sitio	1	0
EA 3: Inspecciones adicionales	1	0
EA 4: Manejo mejorado de refrigerantes	1	1
EA 5: Medición y verificación	2	0
EA 6: Energía verde	1	0
Materiales y Recursos (MR)	11	3
Prerrequisito 1: Recolección de productos reciclables	Requerido	No Cumplido
MR 1: Reuso del edificio	1	0
MR 2: Manejo de desechos de la construcción	2	1
MR 3: Reutilización de materiales	1	0
MR 4: Contenido de reciclados	2	0
MR 5: Materiales locales	2	2
MR 6: Madera certificada	1	0
Calidad del Ambiente Interno (EQ)	11	1
Prerrequisito 1: Desempeño mínimo de calidad mínima del aire	Requisito	No Cumplido
Prerrequisito 2: Control del humo del tabaco en el ambiente	Requisito	Cumplido
EQ 1: Monitoreo del aire exterior	1	0
EQ 2: Efectividad de la ventilación	1	1
EQ 3: Manejo de la calidad del aire interno	1	0
EQ 4: Materiales de bajas emisiones	4	0

EQ 5: Control de fuentes internas de químicos y contaminantes	1	0
EQ 6: Capacidad de control de sistemas control térmico	1	0
EQ 7: Diseño de control térmico	1	0
EQ 8: Luz natural y vistas	1	0
Proceso de Diseño e Innovación (ID)	5	1
ID 1: Innovación en el diseño	4	1
ID 2: Profesional acreditado LEED-AP	1	0

En la siguiente tabla se resume los puntajes obtenidos (PO) en cada categoría, y con respecto al total de puntos posibles (PP), donde no se logra la puntuación mínima de 22 puntos para alcanzar la Certificación *LEED-CS*.

Tabla B.2: Resumen de la evaluación cualitativa Sistema *LEED-CS*

Categoría	PP	PO
Sitios sostenibles (SS)	15	6
Eficiencia en el Manejo del Agua (WE)	5	0
Energía y Atmósfera (EA)	14	1
Materiales y Recursos (MR)	11	3
Calidad del Ambiente Interno (EQ)	11	1
Proceso de Diseño e Innovación (ID)	5	1
Puntaje Total	61	12

ANEXOS

ANEXO No 1: Datos del proyecto

1.1 Datos climatológicos

1.2 Selección del *chiller* de proyecto

1.3 Selección de las torres de enfriamiento

1.4 Selección del banco de hielo

1.5 Datos del techo

1.6 Datos del vidrio de ventanas

Anexo 1.1 Datos climatológicos

PAVAS														
INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL														
GESTION DE INFORMACION Y COMERCIALIZACION														
PROMEDIOS MENSUALES DE DATOS CLIMATICOS (datos de 0 a 24)														
ESTACION		AEROP. TOBIAS BOLAÑOS		No 84195		Lat.09° 58' N		Long. 84° 08' O		Altitud 987 m.				
Elementos	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiem.	Octubr.	Noviem.	Diciem.	Anual
LLUVIA	1995-08	14,0	11,4	11,1	59,8	237,8	211,4	165,2	199,4	293,8	287,9	127,6	30,5	1649,9
DIA LLUVIA	1995-08	4	3	4	9	21	22	21	22	25	26	18	9	184
TEM.MAX.	1995-08	26,1	26,9	28,0	28,5	27,8	27,4	27,2	27,4	27,3	26,5	26,1	26,1	27,1
TEM.MIN.	1995-08	17,9	17,9	18,2	18,8	19,0	18,8	18,9	18,8	18,2	18,3	18,4	18,3	18,5
TEM.MED.	1995-08	22,0	22,4	23,1	23,7	23,4	23,1	23,1	23,1	22,8	22,4	22,3	22,2	22,8
VIENTO	1995-08	23,0	22,8	21,4	19,1	13,4	11,8	13,9	12,9	9,2	9,8	14,3	19,5	15,9
HUMEDAD	1995-08	75	73	73	73	78	79	78	78	81	82	79	76	77

Lluvia en Milímetros - 1Mm. = 1 Litro por m². Dias con Lluvia =>0,1
 Elaboró: AERIAS Humedad Relativa en % E = Este Predominante Viento en K/k. Estación Automática operada por el IIMN.
 Temperaturas en Grados Celsius

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

Anexo 1.2 Selección del chiller de proyecto

Water-Cooled Series R(TM)

Job Information

Oficentro El Cedral
TIG

Tag	RTHD-1	Compressor configuration	B2
Model number	RTHD	Evap configuration	B2
Quantity	1	Cond configuration	B2
Product Version	2.6		

Unit Information

Capacity	193.20 tons	Efficiency	0.660 kW/ton
NPLV	0.541 kW/ton	Operating weight	10019.0 lb
Refrigerant charge (HFC-134a)	410.0 lb	Shipping weight	9402.0 lb
Full load sound pressure (ARI Condition)	83 dBA	Oil cooler	Without Oil Cooler

Evaporator Information

Evap leaving temp	43.00 F	Evap flow rate	413.00 gpm
Evap entering temp	55.00 F	Evap pressure drop	12.50 ft H2O
Minimum evap flow rate	233.00 gpm	Evap fouling factor	0.00010 hr-sq ft-deg F/Btu
Number of evap passes	3 Pass	Evap fluid freeze point	11.40 F
Evap fluid type	Ethylene glycol	Evap fluid concentration	25.00 %

Condenser Information

Cond entering temp	85.00 F	Number of cond passes	2 Pass
Cond leaving temp	95.00 F	Cond fouling factor	0.00025 hr-sq ft-deg F/Btu
Cond flow rate	554.10 gpm	Cond pressure drop	12.70 ft H2O
Cond fluid type	Water	Cond fluid concentration	0.00 %
Cond tube type	Enhanced Fin - Copper		

Electrical Information

Unit voltage	460/60/3	Starter type	Wye-delta
Unit power	127.50 kW	Min circuit ampacity	225.50 A
Max overcurrent protection	400.00 A	Run load amps	180.40 A
Motor locked rotor amps	1280.00 A	Starter expected inrush	400.00 A

Notes: All weights +/- 3%. Weights include 150 psig water boxes.

Operating weights include refrigerant, oil, and water charges.

Performance for above conditions is rated in accordance with ARI Standard 550/590. The following are outside the scope of ARI Standard 550/590: Glycol, 50 Hz units below 200 tons.

This unit complies with the efficiency requirements of ASHRAE Standard 90.1 and CAN/CSA C743.

Sound pressure measured in accordance with ARI Standard 575-94.



Anexo 1.3 Selección de las torres de enfriamiento

**BAC Closed Circuit Cooling Tower Selection Program**

Release 6.3 NA

Program data and calculations are correct as of Jun. 20, 2007.

Copyright © 2006 Baltimore Aircoil Company, Inc. All rights reserved.



To:	Inquiry No.:	
Attn:	Project Name:	EL CEDRAL
From:	Date:	Dec. 2, 2009

Selection ParametersModel & Fan Motor

Product Line:	Series FXV w/ Low Sound Fan
Number of Units:	1
Model:	FXV-443
Coil Type:	Standard Coil
Standard Total Fan Motor	
Power Per Unit:	15 HP
Fan Motor:	Standard Motor
Total Pump Motor	
Power Per Unit:	3.0 HP

Model Accessories

Unit Intake Option:	(None)
Unit Internal Option:	(None)
Unit Discharge Option:	(None)
Unit Access Option:	(None)

Maximized Capability, per Unit, Wet Operation

Thermal performance for this selection is certified by the Cooling Technology Institute (CTI).

Flow Rate:	554.00 GPM
Fluid:	Water
Heat Rejection:	2,810,425 BTUH
Fluid Pressure Drop:	15.15 psi
Entering Fluid Temperature:	95.00° F
Leaving Fluid Temperature:	84.85° F
Wet Bulb Temperature:	72.00° F
Range:	10.15° F

Anexo 1.4 Selección del banco de hielo

Baltimore Aircoil Company ICE CHILLER® Thermal Storage Selection
Release 2.01

Program data and calculations are current as of May 7, 2004.
© 2004 Baltimore Aircoil Company, Inc. All rights reserved.

Ice Storage Units: (6) TSU-L592M
Glycol Chiller Capacity: 590 ARI Tons
Chiller Upstream

File: Oficentro El Cedral
Subject: Seleccion de Banco de Hielo

Date: 4/18/2010

		GLYCOL CHILLER DATA					
Hour	Mode	% Chiller Loaded	Glycol Chiller Tons	Glycol Chiller Flow GPM	Condenser °F	Chiller Peak kW	Chiller Average kWh
0	B	100	353	1239	85.0	367	367
1	B	100	347	1239	85.0	366	366
2	B	97	333	1239	85.0	355	355
3	B	95	128	1239	85.0	348	137
4	S	--	--	1239	85.0	--	--
5	S	--	--	1239	85.0	--	--
6	C	54	268	1239	85.0	205	205
7	C	54	271	1239	85.0	207	207
8	C	56	278	1239	85.0	211	211
9	C	58	294	1239	85.0	222	222
10	I	--	--	1239	85.0	--	--
11	I	--	--	1239	85.0	--	--
12	I	--	--	1239	85.0	--	--
13	C	67	343	1239	85.0	255	255
14	C	68	350	1239	85.0	260	260
15	C	70	358	1239	85.0	265	265
16	C	68	349	1239	85.0	259	259
17	I	--	--	1239	85.0	--	--
18	I	--	--	1239	85.0	--	--
19	I	--	--	1239	85.0	--	--
20	C	57	288	1239	85.0	218	218
21	C	54	271	1239	85.0	207	207
22	B	100	368	1239	85.0	368	368
23	B	100	360	1239	85.0	367	367

Water Cooled Screw Chiller Chiller Capacity: 590 ARI Tons				
	Capacity Tons		Power kW	
LBT (°F)	22	43	22	43
CWT (°F)				
80	372	601	326	353
85	350	580	367	380

Glycol Chiller Flow: 1239 GPM

Anexo 1.5 Datos del techo

Sistema de techo hermético Construtec TS-20

Generalidades

Sistema de techo hermético, de tornillos ocultos.

Norma de acero base: ASTM A 568-M (JIS G 3141 SPCC)

Norma de galvanización: ASTM A 653-M

Norma de Esmaltado: ASTM A 755.

Materiales

Cubierta de techos del sistema de producción continua Total Span tipo TS-20 Compuesta con dos láminas de acero esmaltado calibre 26, con una bandeja de 500mm de ancho con un peralte de cresta de 38mm, unidas a la estructura de soporte mediante clips de fijación ocultos específicos para el sistema. Entre las dos láminas llevará aislamiento térmico de poliestireno expandido de 38mm de espesor, densidad media de 15 kg/m³, tipo F-1015 con aditivos retardantes de la llama, cumpliendo con los requerimientos ASTM E-84 VOL 94, factor R=7.14.

Acabado

Esmaltado. Cara superior e inferior de cubierta color blanca, ancho por definir. Los accesorios serán pintados en gris igual o similar al usado en las fachadas, con la autorización final de la Inspección.

Instalación

Las láminas se fijan por columnas, de canoa a cumbrera. Se fija con sujetadores al clavadores, se coloca la siguiente columna y se fija nuevamente al clavador.

Una vez fijada la segunda lámina, se debe sellar con el equipo portátil y continuar con ese proceso sucesivamente.

El uso de un escantillón a lo largo de la lámina es recomendable para que estas queden paralelas y debidamente apoyadas en todo su ancho sobre el clavador.

La fijación al clavador debe hacerse colocando el sujetador sobre el ala inferior de la lámina y de inmediato atomillar este al clavador, luego se coloca la siguiente lámina con su ala superior sobre la lámina anterior.

Se recomienda utilizar tornillo 6.3x2.5mm.

Se recomienda dejar una luz no superior a los 2cm entre las láminas que forman la cumbrera.

Al inicio de la instalación es importante asegurarse que la primera lámina quede correctamente alineada para obtener un buen acabado.

Durante la instalación se debe caminar apoyándose a la altura de los clavadores y en los valles de la cubierta.

Al concluir la instalación se debe limpiar el techo para limpiar virutas y residuos.

Las cumbreras y botaguas se instalarán uniéndolas a las alas superiores de las láminas con tornillos de 19mm.

Número de sujetadores: $(N+1)*Na$, donde N= número de láminas, y Na = número de apoyos por hilera.

Para pendientes menores al 15% es recomendable utilizar un sellador elastomérico entre los traslapes.

Mano de Obra

El personal encargado deberá de ser calificado y con vasta experiencia en este tipo de labores.

Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura

Anexo 1.6 Datos del vidrio de ventanas

Ref.: Oficentro El Cedral

Estimado Ingeniero, reciba un cordial saludo.

Adjunto te envío las características técnicas del vidrio verde 10 mm. Para el proyecto en referencia

- Vidrio Verde 10 mm:

Luz Visible:

Transmisión	63%
Reflexión	6%

Energía Solar:

Transmisión	31%
Reflexión	5%
Absorción	64%

Factor U 5.6

SHGC 0.38

Coefficiente de Sombra 0.44

Fuente: FSA Ingeniería & Arquitectura

ANEXO No 2: Norma *IESNA/ANSI/ASHRAE* 90.1-2007

Tablas utilizadas

Apéndice G: Método de desempeño

ANEXO No 3: Norma *ANSI/ASHRAE* 62.1-2004

Tablas utilizadas

ANEXO No 4: Lista de chequeo Sistema *LEED-CS*

Sistema *LEED* for Core and Shell versión 2.0 año 2006, *USGBC*