



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LOS SISTEMAS DE AIRE
ACONDICIONADO TIPO EXPANSIÓN DIRECTA Y AGUA
HELADA EN EDIFICIOS DE OFICINAS EN COSTA RICA CON
EL FIN DE OBTENER LA CERTIFICACIÓN LEED® BD+C
v4

Trabajo final de graduación sometido a la consideración de la

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

como parte de los requisitos
para aspirar al título y grado de

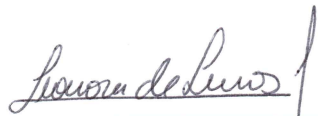
LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA

Luis Diego Jiménez Cordero

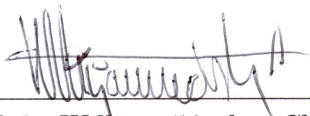
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
Enero 2022

Hoja de tribunal

Este proyecto de graduación fue aceptado por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado y título de Licenciatura en Ingeniería Mecánica.



Representante Director de la Unidad Académica
M.Sc. Leonora de Lemos Medina
Representante del Director Escuela de Ingeniería mecánica




Asesor director
M.Sc. William Sánchez Chacón
Escuela de Ingeniería Mecánica



Asesor interno
Lic. José Pablo Coto Solano
Escuela de Ingeniería Mecánica



Asesor externo
M.Sc. Brigitte Solís Wolffson
Gerente del Departamento de Sostenibilidad de Johnson Controls



Docente curso Proyecto II
M.Sc. Juan Gabriel Monge Gapper
Escuela de Ingeniería Mecánica



Ponente
Luis Diego Jiménez Cordero

Agradecimientos

A Dios por darme la sabiduría y perseverancia para concluir esta etapa.

Al Ing. William Sánchez Chacón por toda la dedicación, apoyo y conocimiento aportado. Fue primordial no solo para la finalización de este proyecto sino también para mi vida académica y profesional.

Al Ing. José Pablo Coto Solano por todos los aportes realizados que fueron fundamentales.

A la Arq. Brigitte Solís Wolffson por toda la confianza y conocimiento brindado.

Al Departamento de Sostenibilidad de la empresa Johnson Controls por todo el material, información y recursos que me facilitaron.

Dedicatoria

A mis padres por enseñarme a nunca darme por vencido y siempre luchar por mis sueños, sin importar que tan grandes sean o que tan duro sea el camino.

A mi futura esposa que sin su apoyo incondicional nunca hubiera podido concluir este trabajo.

A cada uno de los lectores que espero que esta investigación sea de su agrado y que genere en ustedes la inspiración para hacer un mundo mejor.

Índice general

Hoja de tribunal	i
Agradecimientos	ii
Dedicatoria	iii
Índice de ilustraciones	viii
Índice de cuadros	x
Resumen	xi
1. Introducción	1
1.1. Descripción general	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Justificación	3
1.4. Antecedentes	4
1.5. Metodología	4
1.6. Alcance y limitaciones	6
2. Marco teórico	7
2.1. Sostenibilidad	7
2.1.1. Definición	7
2.1.2. Sostenibilidad Social	8
2.1.3. Sostenibilidad Económica	9
2.1.4. Sostenibilidad Ambiental	9
2.2. Certificación LEED [®]	10
2.2.1. Definición	10
2.2.2. Sistemas de evaluación	11
2.2.3. Categorías	13
2.2.4. Sistema de puntaje	14
2.2.5. Prerrequisito/Crédito Rendimiento Energético	15
2.3. Estándar ASHRAE [®] 90.1-2010	16
2.3.1. Historia	16
2.3.2. Definición	17
2.3.3. Requerimientos mandatorios	17
2.4. Aire Acondicionado	24
2.4.1. Definición	24
2.4.2. Componentes básicos	25
2.4.3. Tipos de sistema	26

2.5. Modelado Energético	30
2.5.1. Definición	30
2.5.2. Beneficios del modelado energético	31
2.5.3. Software de modelado	31
3. Análisis energético	34
3.1. Ubicación del proyecto	34
3.2. Materiales de envolvente	35
3.2.1. Paredes Exteriores	36
3.2.2. Azotea	40
3.2.3. Vidrio	43
3.2.4. Selección final de materiales para análisis energético	45
3.3. Selección de edificio y cálculo de cargas térmicas	46
3.4. Selección de equipos de aire acondicionado	50
3.4.1. Flujo Variable de Refrigerante (VRF)	50
3.4.2. Chillers enfriados por aire	55
3.4.3. Chillers enfriados por agua	57
3.5. Modelado Energético	59
3.5.1. Parámetros iniciales y Supuestos	60
3.5.2. Modelado	62
3.5.3. Resultados	64
4. Análisis financiero	67
4.1. Costos operativos	67
4.1.1. Costos por consumo de energía eléctrica	68
4.1.2. Costos por emisiones de CO ₂	75
4.1.3. Costos relacionados al suministro de agua	77
4.2. Costo inicial	78
4.2.1. Costo inicial de los sistemas de aire acondicionado	78
4.2.2. Costo inicial del sistema fotovoltaico	83
4.3. Costos de mantenimiento	84
4.4. Análisis financiero	85
4.5. Impacto ambiental por refrigerante y desechos	86
5. Certificación LEED®	88
5.1. Línea Base ASHRAE 90.1-2010	88
5.2. Rendimiento Energético Mínimo	92
6. Conclusiones	97
Referencias	100
Anexos	103
Anexo 1. Selección de equipos tipo VRF	103
Anexo 2. Selección de equipos tipo agua helada	108
Anexo 3. Resultados de modelos energéticos de análisis de sistemas de aire acondicionado	121
Anexo 4. Presupuesto inversión inicial de sistemas de aire acondicionado	128

Anexo 5. Memoria de cálculo de consumo de agua para chillers enfriados por agua . . .	140
Anexo 6. Análisis financiero de los sistemas de aire acondicionado	143
Anexo 7. Datos climáticos del Aeropuerto Juan Santamaría, Alajuela, Costa Rica . .	148

Índice de figuras

2.1. Tres ejes de la sostenibilidad (Landoni, s.f.)	8
2.2. Sistemas de valoración LEED [®] v2009 - LEED V4 (Villanueva, 2015)	12
2.3. Sistema de puntaje LEED [®] V4 (U.S. Green Building Council, 2020)	14
2.4. Sistema de puntaje LEED [®] a lo largo del tiempo (Villanueva, 2015)	15
2.5. Tabla de valores de envolvente de ASHRAE [®] 90.1-2010 (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2010)	18
2.6. Tabla de eficiencia de chiller de ASHRAE [®] 90.1-2010 (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2010)	19
2.7. Tabla de eficiencia de VRF de ASHRAE [®] 90.1-2010 (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2010)	20
2.8. Tabla de densidad de carga de iluminación de ASHRAE [®] 90.1-2010 (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2010)	21
2.9. Esquema básico de un sistema de aire acondicionado (Ramírez, s.f.)	25
2.10. Esquema de un sistema de agua helada (Conforempresarial, s.f.)	27
2.11. Sistema de agua helada enfriado por aire (York, s.f.-a)	28
2.12. Sistema de agua helada enfriado por agua (York, s.f.-a)	28
2.13. Sistema de expansión directa tipo VRF (York, s.f.-b)	29
2.14. Modelado energético de un edificio con el programa eQuest (Departamento de Sostenibilidad de Johnson Controls)	32
3.1. Tipo 1 de pared exterior (Elaboración Propia)	36
3.2. Tipo 2 de pared exterior (Elaboración Propia)	37
3.3. Tipo 3 de pared exterior (Elaboración Propia)	37
3.4. Concreto colado en sitio (Elaboración Propia)	37
3.5. Ejemplo de gypsum (Elaboración Propia)	38
3.6. Ejemplo de lana mineral (Hilti, s.f.)	38
3.7. Ejemplo de panel aislante (Hilti, s.f.)	39
3.8. Modelo energético realizado en el software eQuest (Elaboración propia)	40
3.9. Tipo 1 de azotea (Elaboración Propia)	41
3.10. Tipo 2 de azotea (Elaboración Propia)	41
3.11. Ejemplo de membrana polimérica (Elaboración Propia)	42
3.12. Ejemplo de panel tipo “sandwich” (Elaboración propia)	42
3.13. Ejemplo de vidrio insulado de dos capas (Extralum, s.f.)	44
3.14. Representación gráfica del proyecto a utilizar en el análisis energético (Departamento de Sostenibilidad Johnson Controls)	46
3.15. Sótano 1 del proyecto seleccionado (Elaboración propia)	47

3.16. Nivel 1 del proyecto seleccionado (Elaboración propia)	48
3.17. Nivel 2 al nivel 8 del proyecto seleccionado (Elaboración propia)	48
3.18. Unidad interior tipo ducto media estática marca YORK (York, s.f.-b)	51
3.19. Unidad interior tipo cassette marca YORK (York, s.f.-b)	51
3.20. Unidad interior tipo mini-cassette marca YORK (York, s.f.-b)	52
3.21. Unidad interior tipo pared alta marca YORK (York, s.f.-b)	52
3.22. Unidad interior tipo ducto baja estática marca YORK (York, s.f.-b)	53
3.23. Unidad interior tipo ducto media estática marca YORK (York, s.f.-b)	53
3.24. Unidad interior tipo ducto alta estática marca YORK (York, s.f.-b)	53
3.25. Funcionamiento del compresor tipo Scroll (Vega, s.f.)	55
3.26. Funcionamiento del compresor tipo Tornillo (Vega, s.f.)	55
3.27. Chiller tipo Scroll modelo YLAA (York, s.f.-a)	56
3.28. Chiller tipo Tornillo modelo YVAA (York, s.f.-a)	57
3.29. Chiller tipo Scroll modelo YCWL (York, s.f.-a)	58
3.30. Chiller tipo Scroll modelo YVWA (York, s.f.-a)	59
3.31. Sótano 1 del proyecto seleccionado (Elaboración propia)	61
3.32. Nivel 1 del proyecto seleccionado (Elaboración propia)	61
3.33. Nivel 2 al nivel 8 del proyecto seleccionado (Elaboración propia)	61
3.34. Interfaz de usuario del software EQUEST (Elaboración propia)	63
3.35. Modelo 3D del edificio seleccionado en el software eQUEST (Elaboración propia)	64
3.36. Gráfico de consumo energético por tipo de sistema de aire acondicionado (Elaboración propia)	65
4.1. Gráfico de costos energéticos por tipo de sistema de aire acondicionado (Elaboración propia)	69
4.2. Gráfico de costos energéticos por tipo de tarifa eléctrica (Elaboración propia)	72
4.3. Nivel Techos del proyecto seleccionado (Elaboración propia)	74
5.1. Modelo energético de la línea base del estándar ASHRAE 90.1-2010 (Elaboración propia)	91
5.2. Cuadro de asignación de puntajes para ahorros en costos de energía para el crédito de Rendimiento Energético para la certificación LEED [®] v4 (U.S. Green Building Council, 2013)	93
5.3. Cuadro de asignación de puntajes de disminución de huella de carbono para el crédito de Rendimiento Energético para la certificación LEED [®] v4.1 (U.S. Green Building Council, 2021)	95

Índice de cuadros

2.1. Extracto traducido de la tabla G3.1 del Apéndice G del estándar ASHRAE 90.1-2010 (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2010)	23
3.1. Listado de ubicaciones de proyectos del Departamento de Sostenibilidad (Elaboración propia)	35
3.2. Materiales de paredes exteriores (Elaboración propia)	36
3.3. Resultados energéticos de paredes exteriores (Elaboración propia)	40
3.4. Materiales de azotea (Elaboración propia)	41
3.5. Resultados energéticos de azotea (Elaboración propia)	43
3.6. Tipos de vidrios (Elaboración propia)	44
3.7. Resultados energéticos de vidrios (Elaboración propia)	45
3.8. Resultados generales de cálculo de cargas térmicas (Elaboración propia)	49
3.9. Resultados generales de selección de equipos tipo VRF (Elaboración propia)	54
3.10. Resultados generales de selección de equipos tipo chiller enfriados por aire (Elaboración propia)	56
3.11. Resultados generales de selección de equipos tipo chiller enfriados por agua (Elaboración propia)	57
3.12. Resultados generales de modelado energético (Elaboración propia)	65
4.1. CNFL Tarifa Comercial Primer Semestre 2021 (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2021)	68
4.2. Resultados de consumo eléctrico (Elaboración propia)	69
4.3. Resultados de costos de energía eléctrica (Elaboración propia)	69
4.4. CNFL Tarifa Industrial Primer Semestre 2021 (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2021)	71
4.5. CNFL Tarifa Media Tensión Primer Semestre 2021 (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2021)	71
4.6. CNFL Tarifa Media Tensión B Primer Semestre 2021 (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2021)	71
4.7. Resultados de costos de energía eléctrica según variación de tarifas eléctricas (Elaboración propia)	72
4.8. Resultados de modelado energético con sistema fotovoltaico (Elaboración propia)	75
4.9. Resultados de emisiones de carbono (Elaboración propia)	76
4.10. Resultados de costos por emisiones de carbono (Elaboración propia)	77
4.11. Resultados de volumen anual de agua de reposición (Elaboración propia)	77
4.12. Costos de agua de reposición (Elaboración propia)	78

4.13. Presupuesto del Sistema VRF (Elaboración propia)	79
4.14. Presupuesto del Sistema Chiller enfriador por aire SCROLL (Elaboración propia)	80
4.15. Presupuesto del Sistema Chiller enfriador por aire TORNILLO (Elaboración propia)	81
4.16. Presupuesto del Sistema Chiller enfriado por agua SCROLL (Elaboración propia)	82
4.17. Presupuesto del Sistema Chiller enfriado por agua TORNILLO (Elaboración propia)	83
4.18. Costo de mantenimientos preventivos por tipo de sistema de aire acondicionado (Elaboración propia)	85
4.19. Resultados del análisis financiero (Elaboración propia)	86
5.1. Materiales de envolvente de la línea base del estándar ASHRAE 90.1-2010 (Elaboración propia)	90
5.2. Sistema de aire acondicionado de la línea base del estándar ASHRAE 90.1-2010 (Elaboración propia)	91
5.3. Resultado del modelo base del estándar ASHRAE 90.1-2010 (Elaboración propia)	91
5.4. Resultados de modelado energético para sistemas de aire acondicionado (Elaboración propia)	92
5.5. Ahorros de cada modelo energético en comparación con la línea base de ASHRAE (Elaboración propia)	93
5.6. Puntaje obtenido en el crédito de Rendimiento Energético con base en ahorros de costos de energía (Elaboración propia)	94
5.7. Resultados de emisiones de carbono generales (Elaboración propia)	94
5.8. Ahorros de cada modelo energético en comparación con la línea base de ASHRAE (Elaboración propia)	94
5.9. Puntaje obtenido en el crédito de Rendimiento Energético con base en disminución de huella de carbono (Elaboración propia)	95
5.10. Puntaje total obtenido en el crédito de Rendimiento Energético (Elaboración propia)	96

Resumen

Se realiza un análisis energético para efectuar una comparación de los sistemas de aire acondicionado tipo flujo variable de refrigerante (VRF) y diferentes tipos de sistemas de agua helada, específicamente chillers. Este análisis se realiza en un edificio de oficinas ubicado dentro de la región central del Gran Área Metropolitana, Costa Rica.

Para esta investigación se realiza un estudio de los principales proyectos desarrollados en el Departamento de Sostenibilidad de la empresa Johnson Controls. Con esto se determina cuál va a ser el edificio que se va a utilizar en el análisis. Fruto de este mismo estudio, se definen cuáles son los materiales más utilizados dentro de las construcciones de edificios de oficinas. Luego se desarrolla un cálculo de cargas térmicas para así seleccionar los equipos de aire acondicionado y proceder con el modelado energético. Además del sistema de aire acondicionado, se analiza el impacto de los paneles solares en los ahorros energéticos dentro de un edificio. Estos paneles se incluyen dentro del modelado energético a realizar.

Ya con los resultados del análisis energético, se efectúa el análisis financiero para verificar la viabilidad de cada una de las opciones de sistemas de aire acondicionado. En este análisis se incluyen los costos iniciales y costos operativos de cada opción. Finalmente, se hace un estudio de los créditos de energía de la certificación LEED[®] BD+C v4 para determinar cuántos puntos se obtienen con cada una de las opciones de aire acondicionado, incluyendo el aporte de cada uno de estos sistemas y de los paneles solares.

Con esta investigación se determina la opción de aire acondicionado con mejor rendimiento energético y financiero, y además que tenga el mayor aporte en esta certificación, es decir, la opción más sostenible de sistema de aire acondicionado.

Capítulo 1

Introducción

Con este proyecto se ha pretendido generar un análisis con el cual proponer un sistema de aire acondicionado que sea energéticamente eficiente y que contribuya con el desarrollo de construcciones sostenibles. Este análisis se va a realizar con respecto a dos opciones: sistema de expansión directa y sistema de agua helada. Finalmente, se realizará un análisis de las propuestas con respecto a lo solicitado por la certificación LEED[®] BD+C v4 y el crédito de Rendimiento Energético.

1.1. Descripción general

La idea principal de este proyecto es proponer un sistema de aire acondicionado eficiente por medio de un análisis energético con el cual realizar una comparación de los sistemas tipo expansión directa y agua helada. Dentro de estos tipos de sistemas existen una variedad de opciones las cuales se van a seleccionar durante la investigación. Una vez efectuado este análisis energético, se realizará un análisis financiero de cada una de las opciones tomando en cuenta costos operativos de los sistemas de aire acondicionado y sus inversiones iniciales. Con esto poder determinar cuál es la opción más rentable financieramente. Finalmente, se efectuará una comparación con lo solicitado por la certificación LEED[®] BD+C. Todo esto con el fin de poder dar recomendaciones respecto a un edificio que busque esta certificación, o bien, que simplemente busque la eficiencia energética dentro de su funcionamiento.

Para lograr esta propuesta, se tomarán como base un estándar y una certificación de edificios sostenibles, ASHRAE[®] y LEED[®] respectivamente. Estos documentos abarcan temas como eficiencia energética, utilización de recursos naturales y calidad del ambiente interior, pero en este caso la investigación se enfocará principalmente en la parte energética.

Este proyecto nace en el Departamento de Sostenibilidad de la empresa Johnson Controls. En este departamento, se desarrollan consultorías de certificaciones como las anteriormente mencionadas. Por esta razón se ha visto la necesidad de poder desarrollar una investigación donde se den recomendaciones para saber cuál es el sistema de aire acondicionado óptimo para un proyecto en específico. La mayoría de proyectos desarrollados en este departamento son de oficinas, o bien, edificios de fincas filiales primarias. En este momento, las recomendaciones que se hacen con respecto al aire acondicionado, se basan en la experiencia obtenida a lo largo de los años con los diversos proyectos, pero no existe documentación que recopile y fundamente estos supuestos. A raíz de esto, durante este proyecto se tendrá un apoyo completo de esta empresa con todo el recurso documental y humano.

Para elaborar este análisis, se debe comenzar por definir la características del edificio de oficinas más común que se certifica según las estadísticas de este departamento. Con esto se dispondrá a seleccionar un proyecto real que se ajuste a estas. Luego de esto se pretende estudiar cuáles son los sistemas de aire acondicionado más utilizados a nivel nacional tanto tipo expansión directa como agua helada. Con esta información se procede a realizar el análisis energético por medio de un software previsto para este fin. Una vez finalizado, con la información del software de modelado energético, se procede realizar un análisis financiero para comparar la opciones de sistema de aire acondicionado y poder asegurar su viabilidad. Finalmente, se analizarán los sistemas comparándolos con lo solicitado en la certificación LEED® BD+C v4, específicamente en el prerrequisito de Rendimiento Energético Mínimo y el crédito Rendimiento Energético Mejorado donde se comparará con la línea base dada por ASHRAE® 90.1-2010.

1.2. **Objetivos**

1.2.1. **Objetivo general**

Proponer un sistema de aire acondicionado energéticamente eficiente para un edificio de oficinas en la región central del Gran Área Metropolitana de Costa Rica por medio de un análisis energético donde se comparen los sistemas de expansión directa y agua helada con el fin de obtener puntos en los créditos de energía de la certificación LEED® BD+C v4.

1.2.2. **Objetivos específicos**

- Delimitar el perfil de comportamiento climático utilizando archivos meteorológicos locales para efectos del estudio de consumo energético con base en la ubicación geográfica real del proyecto base a utilizar.
- Caracterizar el edificio de oficinas a utilizar a partir de estadísticas dadas por el Departamento de Sostenibilidad de la empresa Johnson Controls para llevar a cabo el estudio energético.
- Comparar energéticamente los sistemas de aire acondicionado tipo expansión directa y agua helada por medio de modelado en el software eQuest para determinar el consumo de cada sistema.
- Realizar un estudio financiero de los sistemas de aire acondicionado analizando los costos de inversión inicial, de operación y de mantenimiento para definir la viabilidad del sistema tanto energéticamente como financieramente.
- Distinguir el aporte de un sistema fotovoltaico incluyendo los ahorros de costos de energía en el estudio financiero de los sistemas de aire acondicionado para promover prácticas de construcción sostenible dentro del panorama nacional.
- Analizar el aporte de los sistemas de aire acondicionado en la certificación LEED® BD+C v4 por medio del análisis de los créditos de energía para determinar cuántos puntos se estarían obteniendo en esta certificación.

1.3. Justificación

Los edificios en general consumen el 40 % de la energía eléctrica a nivel mundial (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2019). Específicamente en Costa Rica, el consumo eléctrico de casi el 40 % de la red nacional se da por el sector comercial, dentro de los cuales se encuentran los edificios de oficinas y fincas filiales primarias tanto públicos como privados (Instituto Costarricense de Electricidad, 2018). Por otro lado, según las Estadísticas de la Construcción del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, en Costa Rica, solo en el año 2018 se construyeron un total de $676\,079\text{ m}^2$ de edificios de oficinas y edificios de fincas filiales primarias (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2018). En el sector público, se construyeron $222\,003\text{ m}^2$ de edificios de oficinas.

Todos los datos anteriores reflejan la gran importancia que tienen los edificios de oficinas en el sector de construcción nacional. Cualquier aporte a nivel de ahorro energético en este tipo de edificios puede ser significativo a nivel nacional.

A nivel mundial, cerca del 60 % del consumo de energía eléctrica de un edificio de oficinas es por el aire acondicionado, calefacción y ventilación en general (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2019). En Costa Rica, al no tener calefacción el consumo baja a un 40 % aproximadamente que incluye aire acondicionado y ventilación. Tal y como observamos el consumo a pesar de que disminuye, sigue siendo un factor muy importante de consumo de energía en un edificio.

Con base en todos estos datos, se puede determinar que el sistema de aire acondicionado es el gran consumidor de energía eléctrica dentro de un edificio. La búsqueda de un sistema energéticamente eficiente debe ser una prioridad tanto para la parte ambiental como para el operador. Un sistema de alta eficiencia nos asegura que los costos operativos del edificio y el impacto ambiental disminuyan. De ahí la gran importancia que se generen estudios donde se propongan opciones viables donde se dé un balance eficiente entre la energía y la parte financiera. A nivel internacional sí existen este tipo de estudios pero a nivel nacional no, por lo que toma relevancia en estas épocas donde se está dando un gran desarrollo del sector construcción por lo que se deben adaptar las medidas y recomendaciones internacionales a nuestra realidad nacional y que sean adoptadas por empresas desarrolladoras y constructoras.

Por otro lado, LEED[®] es una de las certificaciones más importantes tanto a nivel nacional como internacional. Alrededor del mundo existen más de 96 000 proyectos certificados. En Costa Rica existen dos certificaciones que son las más relevantes. Una de ella es EDGE la cual se enfoca en la parte de materiales, agua y energía pero no en calidad del ambiente interior por lo que es una certificación un poco más sencilla de obtener. Para el 2019, existen un total de $55\,805\text{ m}^2$ de área bajo esta certificación. La segunda y más importante certificación de Costa Rica es LEED[®] la cual reúne un total de $1\,202\,462\text{ m}^2$ con 131 proyectos certificados comerciales hasta el mes de Agosto de 2021. Además, existen más de 40 profesionales acreditados con LEED[®] Green Associate la cual es una acreditación de conocimientos generales sobre esta certificación. Asimismo, se tienen 57 profesionales acreditados LEED[®] AP entre totales y específicos. Esta última acreditación evalúa conocimientos más específicos sobre la certificación ya sea a nivel general, o en algún tipo de proyecto en particular como por ejemplo edificios, remodelaciones internas u operación y mantenimiento. Como se observa, la certificación LEED[®] es la más importante en el departamento de Sostenibilidad de Johnson Controls donde la mayoría de proyectos que se trabajan son bajo esta certificación, de ahí radica la importancia de no solo recomendar un sistema de aire acondicionado eficiente y sostenible para construcciones nacionales, sino también enfocado en ayudar a obtener una certificación

tan importante como LEED®.

1.4. Antecedentes

Las construcciones sostenibles son un tema que se viene tratando a nivel internacional desde los años 90. Por ejemplo, la certificación LEED® se comenzó a implementar desde el año 1998 con sus diversas versiones hasta el día de hoy que se utiliza la versión 4 y la versión 4.1 en su forma beta (U.S. Green Building Council, 2013). Por otro lado, en el año 2001 se dio la reforma del estándar ASHRAE® 90 para dar lugar al estándar ASHRAE® 90.1 que es la que estipula los requisitos mínimos para diseños eficientes energéticamente, enfocados especialmente en el mercado norteamericano (America Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, s.f.).

A nivel nacional, la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) cuenta con una guía con algunas recomendaciones básicas para optimizar el uso de la energía eléctrica en edificios de oficinas (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2020). Además, existe un programa piloto impulsado por el Green Building Council de Costa Rica (GBCCR) con cuatro municipalidades del país llamado Acelerado de Eficiencia en Edificios (BEA por sus siglas en inglés). Este programa tiene la intención de impulsar medidas dentro de las comunidades para promover la eficiencia energética en los edificios municipales y privados.

Por otro lado, ya se han realizado algunas investigaciones que comparan sistemas de aire acondicionado. Para el diseño de un local comercial en Heredia, Costa Rica se realizó un análisis energético entre un sistema de agua helada enfriado por aire y un sistema VRF (Pérez, 2018). Por otro lado, a nivel internacional se han realizado otros estudios de este tipo. En el año 2016, se realizó un estudio por el Laboratorio Nacional de Lawrence Berkley en donde se tomaron varios edificios en China que tenían una mezcla de sistemas de aire acondicionado de varios tipos. Se tomaron cada uno de ellos y se midieron sus consumos a lo largo de ese año (Yu, 2016).

Resulta evidente que existen gran cantidad de investigaciones, programas, certificaciones y estándares que buscan la eficiencia energética y comparan diversos sistemas de aire acondicionado. La propuesta de esta investigación va más allá integrando tanto la parte energética como la parte financiera donde se busque la viabilidad de las recomendaciones por medio de su retorno de inversión. Además, se pretende estudiar el mercado nacional a nivel de sistemas de aire acondicionado y de edificios, para poder dar una solución realista y ajustada a nuestra realidad. El enfoque hacia la certificación LEED® ha tomado un gran relevancia a nivel nacional en los últimos años razón por la cual esta investigación está siendo impulsada por la empresa Johnson Controls por medio de su Departamento de Sostenibilidad.

1.5. Metodología

La metodología a seguir en este proyecto fue la siguiente:

1. Definir la ubicación exacta del proyecto a utilizar a lo largo del análisis.
 - Realizar un desglose de las ubicaciones reales de los proyectos desarrollados en el Departamento de Sostenibilidad de la empresa Johnson Controls.
 - Determinar la ubicación del proyecto a trabajar ya que este es un punto importante en este análisis.

- Verificar que se cuenta con un archivo climático que cuente con datos de la ubicación seleccionada.
2. Preparar un desglose de los materiales del envolvente de los proyectos que se trabajan en el Departamento de Sostenibilidad de la empresa Johnson Controls.
 - Realizar una búsqueda general de los materiales utilizados en la construcción de proyectos reales que son trabajados en el departamento de Sostenibilidad.
 - Determinar cuáles son los materiales más utilizados para así utilizarlos en el proyecto a tratar en este análisis.
 - Efectuar iteraciones con los diferentes materiales para así ver como varía el consumo energético del edificio dependiendo del material del envolvente.
 3. Desarrollar un análisis de cargas térmicas para así seleccionar los equipos de aire acondicionado a incluir en este análisis
 - Definir una distribución anticipada ya que el proyecto seleccionado es un proyecto “Núcleo y Envolvente” o un edificio de fincas filiales primarias, por lo que no cuenta con una distribución interna definida.
 - Realizar el cálculo de cargas térmicas por medio del software HAP para poder determinar las capacidades de los equipos a seleccionar.
 4. Seleccionar los equipos de aire acondicionado a incluir dentro del análisis.
 - Seleccionar los equipos tipo VRF con el software de cálculo de selección de equipos de la marca York. En este caso se seleccionan las unidades evaporadoras y condensadoras de todo el proyecto.
 - Seleccionar los equipos tipo agua helada con el software de selección de equipos de agua helada llamado York Works. En este caso se seleccionan cuatro (4) chillers en total, dos (2) de diferentes tecnologías.
 5. Realizar los modelos energéticos en el software eQuest.
 - Confeccionar los modelos energéticos de todas las opciones de equipos de aire acondicionado seleccionado anteriormente.
 - Realizar los cambios necesarios según los resultados obtenidos ya que se presentan algunos resultados incongruentes por incongruentes a lo largo del proceso de modelado.
 - Preparar el modelo energético según la línea base solicitada por ASHRAE 90.1-2010 y LEED[®] v4 para ver el comportamiento energético de los modelos anteriores y sus ahorros con respecto a este.
 6. Desarrollar el análisis financiero de las opciones de equipos seleccionados anteriormente.
 - Determinar la inversión inicial necesaria para instalar los equipos de aire acondicionado según las opciones dadas.
 - Calcular el costo de mantenimiento de los equipos de aire acondicionado para incluirlo dentro del análisis.

- Incluir, dentro del análisis, el costo de operación de los equipos de aire acondicionado según lo obtenido en los modelos energéticos.
 - Distinguir el impacto de la tarifas eléctrica en el costo operativo de un edificio.
 - Determinar el ahorro en costos de energía eléctrica de un sistema fotovoltaico. Asimismo, incluir estos ahorros dentro del análisis financiero.
 - Calcular el consumo de agua potable de los equipos enfriados por agua y su tratamiento químico respectivo.
 - Establecer cuál es la mejor opción de equipo de aire acondicionado según este análisis realizado.
7. Realizar el estudio de la certificación LEED[®].
- Estudiar cuál es el aporte de cada sistema de aire acondicionado en el puntaje de los créditos de energía de la certificación LEED BD+C v4.

1.6. Alcance y limitaciones

Se propone como alcance de este trabajo realizar un análisis energético de los sistemas de aire acondicionado solamente tipo expansión directa y agua helada. Dentro de la investigación, se utilizarán los sistemas más utilizados de este tipo a nivel nacional donde se espera que dentro de los mismos esté el sistema VRF que es el más utilizado en los diseños dentro del departamento de Sostenibilidad de Johnson Controls.

Por otro lado, para modelar los edificios de los proyectos del Departamento de Sostenibilidad de la empresa Johnson Controls se hará solamente para la región del Gran Área Metropolitana de Costa Rica, específicamente en Alajuela, Heredia y San José. Para el tipo de edificios se tomarán en cuenta de tipo oficinas, o bien, edificios de condominios de fincas filiales primarias, que eventualmente se convertirían en complejos de oficina. La zona climática a utilizar será en alguna ciudad del país donde se ubique el proyecto seleccionado que responda a la caracterización realizada, pero siempre dentro de la zona central del Gran Área Metropolitana.

Además, para el análisis financiero se utilizaran precios de equipos, instalación y mantenimiento aproximados según el tipo de sistema de aire acondicionado. Se contará con la ayuda de la empresa Johnson Controls la cual distribuye la marca YORK que son los equipos que se utilizarán para este análisis.

Cabe recalcar que las recomendaciones dadas para el sistema de aire acondicionado serán para edificios en etapa de diseño. Esto permitirá la implementación de esta y otras prácticas sostenibles en la etapa de construcción.

Finalmente, se utilizarán las recomendaciones dadas para el desarrollo del prerrequisito de Rendimiento Energético Mínimo y el crédito Rendimiento Energético Mejorado de la certificación LEED[®], específicamente en su versión 4 para la categoría BD+C. Para complementar el análisis, se determinará el puntaje obtenido a partir de la reducción de la huella de carbono con la actualización de este crédito en la versión 4.1.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Sostenibilidad

2.1.1. Definición

La Sostenibilidad es un tema relativamente nuevo que ha ido tomando importancia en la planificación de la construcción. El origen se da a inicios de los años 80, a partir de perspectivas científicas sobre la relación entre el ambiente y la sociedad. El concepto surge como resultado de los análisis de la situación del mundo, que puede describirse como una situación insostenible, fruto de las actividades humanas, que amenaza el futuro de la humanidad (Klemes, 2011).

El concepto actual de Sostenibilidad se da por primera vez en 1987 en el Informe Brundtland, también llamado “Nuestro futuro común”. Este documento elaborado para Naciones Unidas alertó por primera vez sobre las consecuencias medioambientales negativas del desarrollo económico y la globalización, tratando de ofrecer soluciones a los problemas derivados de la industrialización y el crecimiento poblacional (Gómez, 2018). Es notable que existen gran cantidad de definiciones derivadas de ese primer intento dado por la ONU.

Varios autores coinciden que el desarrollo lleva consigo el concepto de sostenibilidad solo que esto va más allá de la controversia de “crecimiento” versus “crecimiento con distribución”. De hecho, la sostenibilidad requiere una estabilidad dinámica lograda mediante un cambio que sea económicamente sólido, socialmente justo y que mantenga la base de recursos naturales. El desarrollo, según este modelo, significa cambiar con crecimiento y equidad. El desafío central del desarrollo es iniciar y mantener un proceso mediante el cual se mejora el bienestar espiritual de una población y los beneficios del desarrollo se distribuyen equitativamente de acuerdo con principios de justicia social (Goodman y Hastak, 2015).

Por otro lado, Attmann (2010) menciona que la sostenibilidad se define como la capacidad de un ecosistema para mantener procesos ecológicos, funciones, biodiversidad y productividad en el futuro. Además, se podría definir como un término que describe edificios económicamente asequibles, ambientalmente saludables y tecnológicamente eficientes y de alto rendimiento.

Tal y como se observa, un concepto preciso es muy complicado de dar ya que depende de cada contexto desde donde se defina. A pesar de ello, abarcando todas estas perspectivas, la sostenibilidad se podría definir como un proceso por medio el cual se garanticen las necesidades del presente sin comprometer a las futuras generaciones sin renunciar a ninguno de los tres pilares esenciales: la protección ambiental, el desarrollo social y el crecimiento económico, tal y como se presenta en la figura 2.1:



Figura 2.1: Tres ejes de la sostenibilidad (Landoni, s.f.)

La cohesión de estos tres pilares da lugar a la sostenibilidad por lo que ninguno puede implementarse sin el otro. En los siguientes apartados de este capítulo se extenderá la definición y el alcance de cada uno de estos puntos.

2.1.2. Sostenibilidad Social

La parte social es la menos definida y entendida de las diferentes ópticas de abordar la sostenibilidad. La sostenibilidad social ha tenido menos atención en el diálogo público en comparación con la sostenibilidad económica.

Como primer punto, el Diccionario Panhispánico del Español Jurídico define la Sostenibilidad Social como:

”... aquella que busca fomentar las relaciones entre los individuos y el uso colectivo de lo común conjugando crecimiento económico y respeto ambiental con bienestar social, fomentando el mantenimiento y la creación de empleo, protegiendo la seguridad y la salud de las personas, asegurando la reducción y las desigualdades, y evitando las situaciones de exclusión social.”

Asimismo, se brinda un segundo enfoque válido donde los aspectos sociales de la sostenibilidad los divide en términos políticos y culturales, y más general como cualquier actividad humana. Con ello es que define a la sostenibilidad social como “la que se produce cuando los procesos formales e informales, los sistemas, las estructuras y las relaciones respaldan activamente la capacidad de las generaciones actuales y futuras para crear comunidades sanas y habitables. equitativo, diverso, conectado y democrático y proporcionar una buena calidad de vida” (Hisour, s.f.).

De todas estas definiciones, se puede denotar que la Sostenibilidad Social es la que se rige bajo los tres siguientes supuestos:

- Mantener la calidad del ser humano y sus libertades siendo equitativo en sus oportunidades.

- Asegurar un bajo impacto ecológico de sus acciones.
- Asegurar los beneficios de las generaciones futuras.

A pesar de su complejidad forma una base sólida de los demás pilares de sostenibilidad. El desarrollo planteado por el ser humano siempre será para obtener un cierto beneficio de él por lo que implementar este concepto se torna importante para considerar un desarrollo sostenible (Klemes, 2011).

2.1.3. Sostenibilidad Económica

El papel de la economía también juega un papel sumamente importante en la sostenibilidad y tiene un rol estrechamente relacionado con lo social y lo ambiental. La sostenibilidad económica se basa en la creación de empleo igualitario, mejoras en la productividad y la rentabilidad, y crecimiento del comercio en general. Pueden surgir beneficios sociales si estos beneficios económicos están vinculados a mejores resultados en la calidad de vida. El mantenimiento ambiental también puede ir de la mano con las ganancias en productividad si se siguen procesos más eficientes, mejoras en eficiencia energética, reducción de residuos o de impacto sobre el ambiente (Mahamid, 2020).

Asimismo, muchos aspectos de la sostenibilidad económica son necesarios para beneficios de otras ramas. Sin viabilidad económica a largo plazo, es posible que no sea posible respaldar los sistemas que brindan servicios sociales y necesidades ambientales (Haselbach, 2008).

La sostenibilidad económica y el concepto de economía sostenible se pueden aplicar tanto a escala local como de forma más amplia. Lograr una economía sostenible a menudo requiere la colaboración entre los intereses públicos y privados, incluido el gobierno, organizaciones empresariales y no gubernamentales (Klemes, 2011).

Los enfoques de la sostenibilidad económica pueden adaptarse a partes específicas de la economía, incluidas la agricultura, sistemas de alimentación, manufactura e industria, y energía o tecnología. Las consideraciones para la sostenibilidad pueden variar entre estas partes de la economía debido a la escala de las operaciones, los ciclos temporales, las tendencias más amplias del sector, las políticas de apoyo y otros factores (Mahamid, 2020). Ésta puede ser respaldada por esfuerzos liderados por la comunidad, así como por iniciativas comerciales y políticas (Goodman y Hastak, 2015).

Las medidas de sostenibilidad económica van más allá del esfuerzo de una sola empresa individualmente para desarrollar las condiciones y oportunidades de una comunidad. La presencia de diversas oportunidades de empleo, pequeñas y grandes empresas, sectores de servicios y tecnología, sistemas de salud y educación también pueden contribuir a la sostenibilidad económica dentro de una comunidad o región. La disponibilidad de recursos naturales también puede ser un componente fundamental de una economía sostenible.

2.1.4. Sostenibilidad Ambiental

Dentro de los esfuerzos de sostenibilidad también hay importantes consideraciones ambientales. De hecho, este pilar es uno de los más importante y más conocidos de este concepto. Algunos de estas consideraciones ambientales se relacionan directamente con el pilar social de la sostenibilidad. Por ejemplo, el agua limpia es buena para satisfacer las necesidades de las personas y también para hábitats acuáticos saludables y el mantenimiento de toda la vida silvestre (Attmann, 2010).

Sin embargo, existen algunas consideraciones de sostenibilidad ambiental en las que los beneficios compartidos para las personas son menos directos o incluso indefinidos. Por ejemplo, se realizan esfuerzos importantes para mantener especies en peligro incluso en situaciones en las que la especie no es de interés directo y donde los intereses humanos pueden de hecho ser disminuido. Este tipo de situaciones ilustran cómo los tres pilares de sostenibilidad están interconectados y cómo existe la necesidad de una buena comprensión de estas conexiones y los posibles impactos de acciones alternativas (McCarty, Jordan, y Probst, 2011).

La sostenibilidad ambiental, a menudo, se complica por los desafíos de comprender nuestra posición para influir en su mantenimiento y productividad. Existen muchas incógnitas sobre las especies o ecosistemas que estamos tratando de proteger, restaurar o mejorar. Nuestra capacidad de lograr la sostenibilidad ambiental a menudo se ve limitada por la información disponible y nuestro conocimiento. Para enfrentar estas limitaciones, es necesario integrar conocimientos de diversas fuentes, incluida la investigación científica, así como la experiencia de practicantes de estas medidas (Gudiño, 2019).

El logro de la sostenibilidad ambiental también es un desafío debido al cambio continuo. Estrategias para la sostenibilidad ambiental incluye esfuerzos para proteger, restaurar y mejorar el medio. Por ejemplo, en algunas situaciones, un ecosistema forestal natural puede ser hogar de gran cantidad de especies nativas y poblaciones saludables. Este tipo de bosques puede ser un candidato para la protección a través de límites de manejo especiales u otros métodos que apoyan la estabilidad. Sin embargo, esta situación puede cambiar muy rápidamente si el bosque se ve afectado por un incendio forestal, huracanes, brotes de insectos o especies invasoras. Cuando ocurren estos impactos, puede ser necesario tomar acción de manejo para restaurar o mejorar el bosque y restablecer las condiciones deseadas o combatir las amenazas. Muchas áreas del mundo se han visto afectadas por perturbaciones humanas y naturales pasadas que llevar a muchos administradores de tierras a priorizar los esfuerzos relacionados con la restauración y mejora para aumentar la resiliencia y reducir amenaza (Mahamid, 2020). La necesidad de estrategias activas para apoyar la sostenibilidad ambiental puede aumentar a medida que los impactos del cambio climático crean nuevos desafíos para la resiliencia de los ecosistemas (Attmann, 2010).

2.2. Certificación LEED®

2.2.1. Definición

La Certificación LEED® (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, por sus siglas en inglés) es un sistema de certificación con reconocimiento internacional para edificios sustentables creado por el Consejo de Edificación Sustentable de Estados Unidos (USGBC por sus siglas en inglés). Entre los beneficios que proporciona esta evaluación se encuentran (Haselbach, 2008):

- Reduce la contribución del cambio climático
- Mejora la salud de cada individuo
- Protege y restaura los recursos
- Protege y mejora la biodiversidad y los ecosistemas
- Promueve materiales sustentables y regenerativos

- Mejora la calidad de vida de los ocupantes

En 1993, dentro del Instituto Americano de Arquitectos (AIA por sus siglas en inglés), se fundó el USGBC. El USGBC se organizó como una organización sin fines de lucro para promover el mejoramiento de los edificios a través de prácticas sostenibles en la industria de la edificación y la construcción. Aunque el sistema BREEAM (Método de Evaluación Ambiental de Establecimientos de Investigación de Edificios) del Reino Unido surgió como el primer método de evaluación de la sostenibilidad para edificios del mundo en 1990, USGBC tuvo la necesidad de tener su propia certificación personalizada para el mercado de los Estados Unidos. En 1995, el USGBC se asoció con el Consejo de Defensa de Recursos Naturales (NRDC por sus siglas en inglés) para crear el primero sistema de calificación de edificios sostenibles en Estados Unidos. La primera versión de LEED® fue solidificada, adoptada por el USGBC y lanzada en agosto de 1998 (Megan, 2016).

Si bien LEED® primera versión fue un excelente punto de partida, la USGBC descubrió que muchos de los criterios no medían de manera suficiente el rendimiento energético. En marzo de 2000, LEED® v2 fue aprobado con una expansión de 40 a 69 créditos y cuatro niveles de certificación. Luego, se lanzó en 2007 la tercera versión de LEED® con la capacidad de ganar hasta 110 puntos. La última actualización de LEED® v3 se completó en 2009 (v2009). En noviembre de 2013, se lanza por la última versión vigente que es LEED® v4. En 2018, se lanza una versión de prueba de LEED® v4.1 pero aún se están haciendo diferentes cambios para perfeccionarla según lo que la USGBC desea (Goodman y Hastak, 2015)).

Aunque ha habido diferentes versiones a lo largo de los años, la base de LEED® es un sistema de puntos donde los proyectos de construcción deben cumplir con todos los requisitos mínimos del programa, mientras que los créditos LEED® son opcionales. Los equipos de proyecto deben perseguir un mínimo de 40 puntos LEED® con cualquier combinación de créditos de su elección. Hay cuatro niveles de certificación diferentes: Certificado, Plata, Oro y Platino. Aunque todavía es parte del USGBC, a partir de 2007 las certificaciones de proyectos LEED® se administran a través de la organización, Green Business Certification Inc. (GBCI) (Megan, 2016).

2.2.2. Sistemas de evaluación

A lo largo del tiempo, la certificación LEED® ha buscado que cualquier tipo de proyecto pueda buscar esta certificación. Los sistemas de valoración es la subdivisión que da LEED® dependiendo del tipo de proyecto que se quiera certificar, entre los cuales están los siguiente: nuevas construcciones, renovaciones interiores, operaciones y mantenimiento, núcleo y cubierta, entre otros. A continuación, se presentan cada uno de los sistemas de valoración que contempla LEED® (U.S. Green Building Council, 2020).

- BD+C (Diseño y Construcción de Edificios): este sistema de valoración se da específicamente para nuevas construcciones o renovaciones mayores y toma en cuenta proyectos de tipo finca filiales primarias, más conocidos como “Core and Shell”, entre otros.
- ID+C (Diseño y Construcción de Interiores): este sistema se aplica para renovaciones interiores completas en edificios ya existentes. Se incluyen proyectos como oficinas, comercios y salubridad.
- O+M (Operación y Mantenimiento): edificios existentes pueden optar por esta certificación donde no implique grandes renovaciones o intervenciones. Este tipo de sistema

de valoración toma cualquier tipo de edificio e incluye también certificaciones para interiores de edificio.

- ND (Desarrollo de vecindario): Para nuevos proyectos de desarrollo de terrenos o proyectos de remodelación que contengan usos residenciales, usos no residenciales o una combinación. Los proyectos pueden estar en cualquier etapa del proceso de desarrollo, desde la planificación conceptual hasta la construcción.
- Homes (Casas): para proyectos residenciales unifamiliares, multifamiliares o desarrollos condominiales de hasta 6 niveles.

Los sistemas de valoración que se detallan anteriormente se basan en la certificación LEED® v4. Cabe recalcar que esta evaluación se modifica versión a versión para actualizarlo dependiendo de los tipos de proyectos que surjan, o bien, dependiendo de las necesidades que tengan los consultores encargados de las certificaciones. Para ilustrar mejor estos sistemas de valoración se adjunta la siguiente figura:

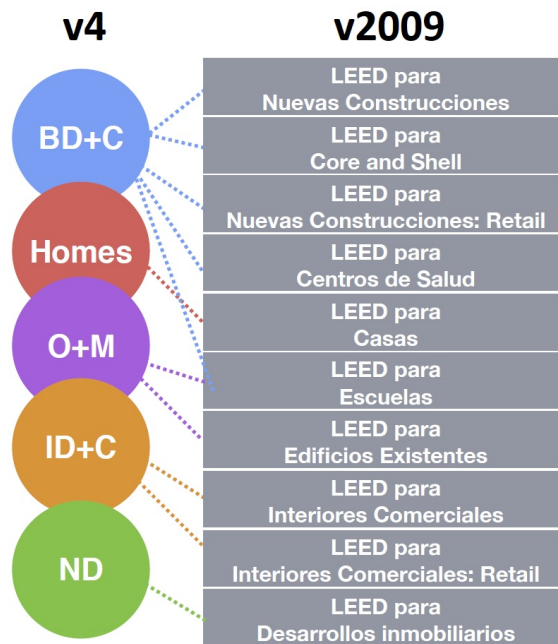


Figura 2.2: Sistemas de valoración LEED® v2009 - LEED V4 (Villanueva, 2015)

Como se puede observar en la figura 2.2, entre la versión anterior y la vigente existen pocos cambios y más bien lo que se hace es subdividir aún más estos sistemas de valoración. Por el momento en la versión 4.1 aún se siguen manteniendo los mismos sistemas de valoración que en la versión 4 pero no se descarta que en actualizaciones posteriores se modifiquen estos dependiendo de las necesidades del mercado.

2.2.3. Categorías

Las categorías de la certificación LEED® se define como los diferentes aspectos que toma en cuenta dentro de su desarrollo. Básicamente es una agrupación de sus diferentes créditos dependiendo del aspecto donde se vayan a desarrollar. Para la versión 4 se toma en cuenta un total de 9 categorías. A continuación, se desglosan cada una de ellas (U.S. Green Building Council, 2013):

- **Diseño Integrativo:** intenta maximizar la oportunidad de realizar un diseño donde se integren todas las partes involucradas en el edificio. Esto se hace con el fin de genera estrategias de construcción sostenibles, enfatizando la salud humana, la rentabilidad económica y el bajo impacto ambiental. Se trata de utilizar enfoques innovadores y técnicas de diseño y construcción ecológicos.
- **Ubicación y Transporte:** se busca recompensa el desarrollo de estrategias para una buena ubicación del edificio, fomentado el desarrollo compacto, el transporte alternativo y la conexión con servicios, como restaurantes y parques. En esta categoría se consideran las características existentes de la comunidad circundante y cómo esta infraestructura afecta el comportamiento de los ocupantes y el desempeño ambiental.
- **Sitios Sostenibles:** se premia las decisiones sobre el entorno que rodea al edificio. Esta categoría enfatiza la relación existente entre edificios y ecosistemas. Se enfoca en restaurar elementos del sitio del proyecto, integrando el sitio con ecosistemas locales y regionales, y preservando la biodiversidad que dependen de los sistemas naturales.
- **Eficiencia del Agua:** se aborda la utilización del agua de manera integral, considerando el uso en interiores, el uso en exteriores y su respectiva medición. La sección se basa en un enfoque de “eficiencia primero” para la conservación del agua. Además, busca premiar a los proyectos por la utilización de fuentes de agua no potable para usos donde no se requiere agua potable.
- **Energía y Atmósfera:** toma en cuenta la energía desde una perspectiva holística, abordando la reducción del uso de energía, las estrategias de diseño de eficiencia energética y las fuentes de energía renovables. Cabe recalcar que esta es la categoría más importante de la certificación ya que es la que más aporta puntos al proyecto. Más adelante en este proyecto, se desarrollará el prerrequisito y el crédito más importante de esta categoría el cual es Rendimiento Energético sobre el cual se basa este proyecto.
- **Materiales y Recursos:** se enfoca en minimizar el impacto asociado con la extracción, procesamiento, transporte, mantenimiento y eliminación de materiales de construcción. Los requisitos están diseñados para respaldar un enfoque de ciclo de vida que mejora el rendimiento y promueve la eficiencia de los recursos. Cada requisito identifica una acción específica que encaja en el contexto más amplio de un enfoque de ciclo de vida para la reducción del impacto incorporada.
- **Calidad del Ambiente Interior:** se recompensa las decisiones tomadas por los equipos del proyecto sobre la calidad del aire interior y el confort térmico, visual y acústico. Los edificios sostenibles con buena calidad ambiental interior protegen la salud y el confort de los ocupantes del edificio. Los ambientes interiores de alta calidad también mejoran

la productividad, disminuyen el ausentismo, mejoran el valor del edificio y reducen la responsabilidad de los diseñadores y propietarios de edificios.

- **Innovación:** esta categoría busca que se promueve la innovación de diseño en los proyectos con estrategias que beneficien otras categorías de la certificación. USGBC está en constante investigación para brindarle a los equipos de diseño herramientas para que implementen estos conceptos de innovación.
- **Prioridad Regional:** las necesidades ambientales varían dependiendo de la ubicación geográfica de cada proyecto, por lo que la certificación LEED® ha identificado prioridades dentro de cada área y los créditos que abordan esos problemas. Estos créditos de Prioridad Regional alientan a los equipos de proyectos a enfocarse en sus prioridades ambientales locales.

Cada categoría se subdivide a su vez en prerequisites y créditos. Los prerequisites son consideraciones mínimas que debe tener el proyecto para que logre optar por los créditos de la categoría en específico. En este caso los prerequisites no aportan puntos a la certificación. Por otro lado, los créditos son estrategias específicas que identifica cada una de las categorías dependiendo de su aspecto de interés, tal y como se desglosó anteriormente. Cada crédito tiene su puntaje diferente que aporta a la certificación final del proyecto (U.S. Green Building Council, 2013).

Las categorías desglosadas anteriormente corresponden a la versión 4 de esta certificación. Al igual que con los sistemas de evaluación, las categorías varían de versión a versión dependiendo de los cambios que se vean necesarios hacer para abarcar más aspectos de una construcción sostenible. Además, poco a poco se han ido implementando medidas de innovación para fomentar el desarrollo creativo de los equipos de diseño (U.S. Green Building Council, s.f.).

2.2.4. Sistema de puntaje

LEED® basa su nivel de certificación por puntajes obtenido en el proyecto. Como se desarrolló anteriormente, existen créditos de diferentes categorías los cuales otorgan puntos para la certificación. Dependiendo de la cantidad de puntos, así va a ser el nivel de certificación para un máximo de 110 puntos. A continuación, se presentan los distintos niveles que puede alcanzar un proyecto en la figura 2.3 (U.S. Green Building Council, 2013) .



Figura 2.3: Sistema de puntaje LEED® V4 (U.S. Green Building Council, 2020)

Conforme pasan las diferentes versiones de la certificación, se ha buscado que el impacto ambiental se disminuya. En versiones anteriores, dependiendo del nivel que haya obtenido el

proyecto, se hubiera podido tener cierto impacto. A partir de versión 4, las USGBC se ha puesto la meta que desde el nivel Certificado exista más bien un impacto positivo sobre el ambiente. Esto lo ha logrado con mayor cantidad de categorías y créditos donde los equipos de diseño pueden buscar diferentes estrategias para lograr la certificación. Por otro lado, también se han aumentado la complejidad de los prerrequisitos y créditos para que las medidas que se tomen para ganarlos reduzcan el impacto de cada proyecto. La figura 2.4 refleja los cambios de la certificación a lo largo del tiempo en su impacto (Villanueva, 2015).

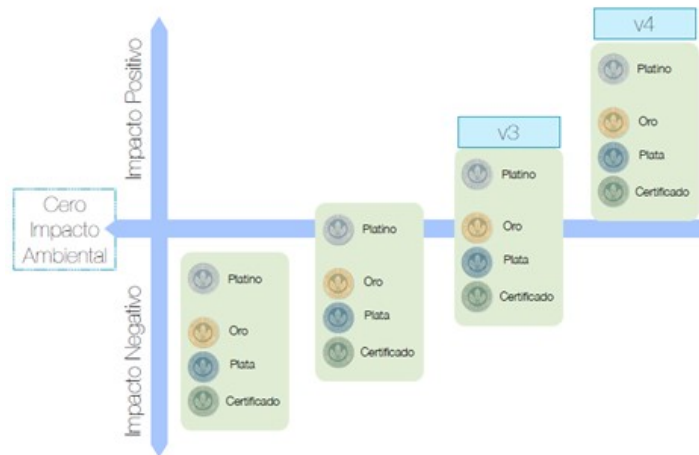


Figura 2.4: Sistema de puntuaje LEED® a lo largo del tiempo (Villanueva, 2015)

2.2.5. Prerrequisito/Crédito Rendimiento Energético

Rendimiento Energético corresponde al prerrequisito y crédito más importante de toda la certificación. El prerrequisito compila una serie de requerimientos mínimos que debe cumplir el proyecto con respecto a su rendimiento energético. Por otro lado, el crédito premia cualquier mejora adicional que se le realice al proyecto para poder optimizar aún más el consumo energético. Dependiendo de su rendimiento así va a ser el puntaje que se le va a otorgar, hasta un máximo de 18 puntos (U.S. Green Building Council, 2013). Ningún otro crédito de esta certificación brinda la posibilidad de lograr tantos puntos.

Los requerimientos mínimos que se solicita en el prerrequisito se basan en el estándar ASHRAE® 90.1-2010 y sus disposiciones obligatorias. Este estándar abarca aspectos como envolvente, aire acondicionado, agua caliente, sistemas de potencia, iluminación y equipos eléctricos (U.S. Green Building Council, 2013). Se desarrollará el contenido de este estándar más adelante en este proyecto, pero es importante conocer de donde surge lo solicitado por este crédito (U.S. Green Building Council, 2013).

Para conocer el rendimiento de un edificio, se recurre al modelado energético por medio de algún software que realice esta tarea. En el desarrollo de este proyecto se utilizó la herramienta eQuest pero más adelante se abarcarán otros programas que realizan este mismo fin. Una vez realizado el modelo energético, se debe comparar el resultado del edificio real en función de un modelo base. Este modelo base lo otorga ASHRAE® 90.1-2010 a partir de diversos estudios realizados sobre edificios energéticamente eficientes. El resultado de esta comparación otorga un porcentaje de ahorro el cual determina el puntaje final obtenido por el edificio en este crédito (U.S. Green Building Council, 2013).

Para lograr este porcentaje de ahorro, el equipo de diseño debe optar por medidas de eficiencia energética que abarquen diferentes sistemas del edificio. Por ejemplo, muchas veces no se pueden implementar opciones eficientes de envolvente, pero se compensa ese aspecto con sistemas eficientes de aire acondicionado, iluminación, ventilación, entre otros. En este caso es donde los equipos de diseño deben optar por medidas innovadoras donde se tengan soluciones económicamente viables, ecológicamente sostenibles y socialmente accesibles.

Todo lo detallado anteriormente corresponde a la versión 4 de la certificación LEED®. En la versión 4.1 existe una actualización de este crédito en el que se analiza, no solamente el porcentaje de ahorro en costos de energía, sino también la huella de carbono que se genera a partir de este consumo.

La huella de carbono es un indicador de la cantidad de gases de efecto invernadero generados y emitidos por una empresa o durante el ciclo de vida de un producto a lo largo de la cadena de producción, a veces incluyendo también su consumo, recuperación al final del ciclo y su eliminación. La huella de carbono considera los 6 gases de efecto invernadero identificados en el Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). La huella de carbono se mide en toneladas equivalentes de dióxido de carbono (tCO₂e), a fin de poder expresar las emisiones de los distintos gases de efecto invernadero en una unidad común (Frohman y Olmos, 2013).

Para su apropiada gestión, la huella de carbono corporativa agrupa las emisiones de gases de efecto invernadero en 3 alcances:

- Emisiones directas (Alcance 1): son aquellas emisiones de gases de efecto invernadero que provienen de fuentes que son propiedad o son controladas por la empresa, como por ejemplo, consumo de combustibles fósiles en fuentes fijas y/o móviles, fugas no intencionadas de los equipos de climatización, etc.
- Emisiones indirectas por consumo y distribución de energía (Alcance 2): corresponden a las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al consumo de electricidad y/o vapor generados por terceros.
- Otras emisiones indirectas (Alcance 3): son aquellas emisiones de gases de efecto invernadero que no son de propiedad ni están controladas por la empresa, como por ejemplo, transporte de los funcionarios, viajes aéreos o terrestres por motivos de trabajo, transporte de insumos, generación y transporte de residuos, entre otros.

La certificación LEED® versión 4.1 evalúa la disminución de la huella de carbono del proyecto analizado en comparación con la línea base de ASHRAE® 90.1-2010. Con base en este ahorro, se asigna un puntaje total que toma en cuenta el ahorro en costos de energía y la disminución de la huella de carbono.

2.3. Estándar ASHRAE® 90.1-2010

2.3.1. Historia

El estándar ASHRAE® 90.1-2010 tiene su origen con el estándar ASHRAE® 90 que se publicó en 1975 y las ediciones posteriores que se publicaron en 1980, 1989 y 1999 utilizando los procedimientos de mantenimiento periódico de ANSI y ASHRAE®. Con base en estos

procedimientos, el estándar completo fue revisado públicamente y publicado en su totalidad cada vez. A medida que la tecnología y la energía comenzaron a cambiar más rápidamente, la Junta Directiva de ASHRAE® votó en 1999 para colocar el estándar en mantenimiento continuo, permitiendo que el estándar se actualice varias veces al año mediante la publicación de adendas a la norma (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, s.f.).

A partir del año 2001, surge el estándar ASHRAE® 90.1 y se publica cada tres años. Este cronograma permite que la norma se presente para su inclusión o referencia en los modelos de códigos de construcción y energía. Todos los apéndices y erratas aprobados se incluyen en la nueva edición, que se publica cada tres años. Este procedimiento permite a los usuarios tener cierta certeza del momento de publicación de las nuevas ediciones. La edición 2010 del estándar tiene cambios extensos como resultado de las propuestas de mantenimiento continuo del público y los voluntarios del comité (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2010).

El objetivo del Comité de ASHRAE®, para la edición de 2010, es reducir el costo de energía en un 30 % en comparación con la versión de 2004 de la norma. Con ese objetivo, el comité procesó 109 apéndices que fueron aprobados por las juntas directivas de ASHRAE® e IES y se incluyen en esta edición. Esta edición también corrige todos los errores tipográficos conocidos en el estándar 2007.

2.3.2. Definición

ASHRAE® 90.1 es un estándar publicado por ASHRAE® (Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado por sus siglas en ingles). Este estándar es un punto de referencia para los códigos de energía de edificios comerciales en los Estados Unidos y una base clave para los códigos y estándares en todo el mundo durante más de 35 años. Este estándar proporciona los requisitos mínimos para el diseño de eficiencia energética de la mayoría de los edificios, excepto los edificios residenciales de poca altura. Ofrece, en detalle, los requisitos mínimos de eficiencia energética para el diseño y construcción de nuevos edificios y sus sistemas, nuevas porciones de edificios y sus sistemas, y nuevos sistemas y equipos en edificios existentes, así como criterios para determinar el cumplimiento de estos requisitos. Es una referencia indispensable para ingenieros y otros profesionales involucrados en el diseño de edificios y sistemas constructivos (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2010).

Para la certificación LEED®, este estándar es de suma importancia. Como se menciona en el apartado anterior, el prerrequisito y el crédito de Rendimiento Energético se basan en este estándar. Toman sus disposiciones obligatorias como requisitos mínimos de un edificio que busca esta certificación. Además, esta certificación basa los requerimientos de modelado energético en lo que menciona este estándar.

2.3.3. Requerimientos mandatorios

Los requerimientos mandatorios son características mínimas que debe tener un edificio eficiente energéticamente los cuales son incluidos dentro del estándar de ASHRAE® 90.1-2010. Cada uno de estos requerimientos se agrupan dentro del estándar dependiendo de la categoría a la cual pertenezcan. La certificación LEED® toma estos requerimientos como disposiciones obligatorias dentro de un edificio que desea optar por esta certificación (U.S.

Green Building Council, 2013).

Los requerimientos mandatorios se agrupan principalmente en las siguientes categorías: envolvente, aire acondicionado y ventilación, agua caliente, potencia, iluminación y equipos eléctricos. A continuación, se detallan estos requerimientos mínimos para cada una de las categorías.

2.3.3.1. Envolvente

Este apartado abarca los materiales requeridos para un edificio sostenible. En los requerimientos mandatorios se estipulan las especificaciones para los valores de aislamiento de techos, paredes, pisos, puertas y vidrios. Cabe recalcar que gran parte de las ganancias de calor de un edificio se dan por el envolvente. A continuación, en la figura 2.5 se presenta un extracto de la tabla de valores mínimos del estándar.

TABLE 5.5-2 Building Envelope Requirements for Climate Zone 2 (A, B)*

Opaque Elements	Nonresidential		Residential		Semiheated	
	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value
<i>Roofs</i>						
Insulation Entirely above Deck	U-0.048	R-20.0 c.i.	U-0.048	R-20.0 c.i.	U-0.218	R-3.8 c.i.
Metal Building ^a	U-0.055	R-13.0 + R-13.0	U-0.055	R-13.0 + R-13.0	U-0.097	R-10.0
Attic and Other	U-0.027	R-38.0	U-0.027	R-38.0	U-0.081	R-13.0
<i>Walls, Above-Grade</i>						
Mass	U-0.151 ^b	R-5.7 c.i. ^b	U-0.123	R-7.6 c.i.	U-0.580	NR
Metal Building	U-0.093	R-16.0	U-0.093	R-16.0	U-0.113	R-13.0
Steel-Framed	U-0.124	R-13.0	U-0.064	R-13.0 + R-7.5 c.i.	U-0.124	R-13.0
Wood-Framed and Other	U-0.089	R-13.0	U-0.089	R-13.0	U-0.089	R-13.0
<i>Walls, Below-Grade</i>						
Below-Grade Wall	C-1.140	NR	C-1.140	NR	C-1.140	NR
<i>Floors</i>						
Mass	U-0.107	R-6.3 c.i.	U-0.087	R-8.3 c.i.	U-0.322	NR
Steel-Joist	U-0.052	R-19.0	U-0.052	R-19.0	U-0.069	R-13.0
Wood-Framed and Other	U-0.051	R-19.0	U-0.033	R-30.0	U-0.066	R-13.0
<i>Slab-On-Grade Floors</i>						
Unheated	F-0.730	NR	F-0.730	NR	F-0.730	NR
Heated	F-1.020	R-7.5 for 12 in.	F-1.020	R-7.5 for 12 in.	F-1.020	R-7.5 for 12 in.
<i>Opaque Doors</i>						
Swinging	U-0.700		U-0.700		U-0.700	
Nonswinging	U-1.450		U-0.500		U-1.450	
Fenestration	Assembly Max. U	Assembly Max. SHGC	Assembly Max. U	Assembly Max. SHGC	Assembly Max. U	Assembly Max. SHGC
<i>Vertical Glazing, 0%–40% of Wall</i>						
Nonmetal framing (all) ^c	U-0.75	SHGC-0.25 all	U-0.75	SHGC-0.25 all	U-1.20	SHGC-NR all
Metal framing (curtainwall/storefront) ^d	U-0.70		U-0.70		U-1.20	
Metal framing (entrance door) ^d	U-1.10		U-1.10		U-1.20	
Metal framing (all other) ^d	U-0.75		U-0.75		U-1.20	

Figura 2.5: Tabla de valores de envolvente de ASHRAE® 90.1-2010 (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2010)

Tal y como se observa en la figura 2.5, se presentan los valores mínimos de aislamiento (R) y la transmitancia térmica (U) máxima permitida. Por otro lado, se desglosa el coeficiente de ganancia de calor para los vidrios del edificio. Estos valores son de suma importancia ya que son los que se utilizan para confeccionar la línea base del modelo energético para la certificación LEED®.

2.3.3.2. Aire Acondicionado y Ventilación

Este es el apartado más importante de este estándar ya que el sistema de aire acondicionado y ventilación es uno de los mayores consumidores de energía en un edificio. Uno de los requerimientos más importantes es el desglose de eficiencias de los diferentes tipos de aire acondicionado. A continuación, se presenta un extracto de las tablas de equipos de agua helada y VRF (Flujo Variable de Refrigerante).

TABLE 6.8.1C Water Chilling Packages—Efficiency Requirements^a

Equipment Type	Size Category	Path A	Path B	Test Procedure ^c
Air-Cooled Chillers	<150 tons	≥9.562 EER ≥12.500 IPLV	NA ^d	
	≥150 tons	≥9.562EER ≥12.750 IPLV	NA ^d	
Air-Cooled without Condenser, Electrical Operated	All Capacities	Air-cooled chillers without condensers must be rated with matching condensers and comply with the air-cooled chiller <i>efficiency</i> requirements.		
Water-Cooled, Electrically Operated, Reciprocating	All Capacities	Reciprocating units must comply with water-cooled positive displacement <i>efficiency</i> requirements		
Water-Cooled, Electrically Operated, Positive Displacement	<75 tons	≤0.780 kW/ton ≤0.630 IPLV	≤0.800 kW/ton ≤0.600 IPLV	AHRI 550/590
	≥75 tons and <150 tons	≤0.775 kW/ton ≤0.615 IPLV	≤0.790 kW/ton ≤0.586 IPLV	
	≥150 tons and <300 tons	≤0.680 kW/ton ≤0.580 IPLV	≤0.718 kW/ton ≤0.540 IPLV	
	≥300 tons	≤0.620 kW/ton ≤0.540 IPLV	≤0.639 kW/ton ≤0.490 IPLV	
Water-Cooled, Electrically Operated, Centrifugal	<150 tons	≤0.634 kW/ton ≤0.596 IPLV	≤0.639 kW/ton ≤0.450 IPLV	
	≥150 tons and <300 tons	≤0.634 kW/ton ≤0.596 IPLV	≤0.639 kW/ton ≤0.450 IPLV	
	≥300 tons and <600 tons	≤0.576 kW/ton ≤0.549 IPLV	≤0.600 kW/ton ≤0.400 IPLV	
	≥600 tons	≤0.570 kW/ton ≤0.539 IPLV	≤0.590 kW/ton ≤0.400 IPLV	

Figura 2.6: Tabla de eficiencia de chiller de ASHRAE® 90.1-2010 (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2010)

**TABLE 6.8.1J Electrically Operated Variable Refrigerant Flow Air-to-Air and Applied Heat Pumps—
Minimum Efficiency Requirements**

Equipment Type	Size Category	Heating Section Type	Sub-Category or Rating Condition	Minimum Efficiency	Test Procedure
VRF Air Cooled, (cooling mode)	<65,000 Btu/h	All	VRF Multi-split System	13.0 SEER	AHRI 1230
	≥65,000 Btu/h and <135,000 Btu/h	Electric Resistance (or none)	VRF Multi-split System	11.0 EER 12.3 IEER 12.9 IEER (as of 7/1/2012)	
	≥65,000 Btu/h and <135,000 Btu/h	Electric Resistance (or none)	VRF Multi-split System with Heat Recovery	10.8 EER 12.1 IEER 12.7 IEER (as of 7/1/2012)	
	≥135,000 Btu/h and <240,000 Btu/h	Electric Resistance (or none)	VRF Multi-split System	10.6 EER 11.8 IEER 12.3 IEER (as of 7/1/2012)	
	≥135,000 Btu/h and <240,000 Btu/h	Electric Resistance (or none)	VRF Multi-split System with Heat Recovery	10.4 EER 11.6 IEER 12.1 IEER (as of 7/1/2012)	
	≥240,000 Btu/h	Electric Resistance (or none)	VRF Multi-split System	9.5 EER 10.6 IEER 11.0 IEER (as of 7/1/2012)	
	≥240,000 Btu/h	Electric Resistance (or none)	VRF Multi-split System with Heat Recovery	9.3 EER 10.4 IEER 10.8 IEER (as of 7/1/2012)	

Figura 2.7: Tabla de eficiencia de VRF de ASHRAE® 90.1-2010 (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2010)

Tal y como se observa, este apartado estipula las eficiencias mínimas de diversos tipos de sistemas de aire acondicionado. En este caso se presentan los equipos de agua helada y tipo VRF pero el estándar toma en cuenta otra gran variedad de ellos.

Por otro lado, este apartado abarca aspectos como las certificaciones con las cuales deben contar los sistemas de aire acondicionado para la verificación de su eficiencia y demás características. La certificación más importante es AHRI (Instituto de Aire Acondicionado, Calefacción y Refrigeración por sus siglas en inglés) bajo sus diferentes procedimientos que ella desglosa. En las figuras 2.6 y 2.7 se detallan los diferentes certificados que se solicitan para cada equipo.

Además, se toma en cuenta aspectos como cálculo de carga, sistema de control y la construcción de cada uno de estos sistemas. Dentro de cada uno de estos puntos, se desglosan muchos más requerimientos que son recomendados para un edificio sostenible. Todo esto es de cumplimiento obligatorio para un edificio que busque la certificación LEED®.

2.3.3.3. Calentadores de agua

Al igual que en los demás requerimientos, el estándar estipula las características mínimas para un sistema de calentamiento de agua. Por ejemplo, estipula las eficiencias mínimas de cada sistema, el control y los cálculos que se deben realizar para la escogencia del tipo adecuado. Igualmente, esto es parte de las disposiciones mínimas para un edificio certificado LEED®.

2.3.3.4. Potencia

Este apartado es conciso ya que desglosa las caídas de voltaje para los circuitos eléctricos alimentadores y cada uno de los ramales dependiendo de su tipo. Además, declara que al

menos el 50 % de los tomacorrientes de 20 A a 120 V deben tener una programación horaria la cual limite su uso a las horas donde el edificio está ocupado. A nivel nacional esta no es una práctica muy utilizada por lo que es parte de los retos que presenta un edificio certificado.

2.3.3.5. Iluminación

La segunda carga de importancia en un edificio es la iluminación. Un sistema correctamente diseñado y con un control óptimo puede generar gran cantidad de ahorros. Esto es lo que busca el estándar con este apartado. El encendido manual y el apagado automático por medio de programación horaria o de sensores de ocupación son las principales medidas que busca ASHRAE® para darle un uso optimizado a la iluminación. Además, solicita otros sistemas de control como sensores de luz día y atenuadores para optimizar la intensidad de la luz dependiendo de los requerimientos del usuario.

Por otro lado, se estipulan la densidad de carga máxima de iluminación dependiendo del tipo de edificio o del tipo de espacio. A continuación, se presenta un extracto de estos valores.

**TABLE 9.5.1 Lighting Power Densities
Using the Building Area Method**

Building Area Type ^a	LPD (W/ft ²)
Automotive facility	0.82
Convention center	1.08
Courthouse	1.05
Dining: bar lounge/leisure	0.99
Dining: cafeteria/fast food	0.90
Dining: family	0.89
Dormitory	0.61
Exercise center	0.88
Fire station	0.71
Gymnasium	1.00
Health-care clinic	0.87
Hospital	1.21
Hotel	1.00
Library	1.18
Manufacturing facility	1.11
Motel	0.88
Motion picture theater	0.83
Multifamily	0.60
Museum	1.06
Office	0.90
Parking garage	0.25

Figura 2.8: Tabla de densidad de carga de iluminación de ASHRAE® 90.1-2010 (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2010)

Como se observa, el estándar abarca diversos tipos de edificios. Los valores de densidad de carga de la figura anterior presentan un ponderado por tipo de edificio. También existen desgloses dados por tipo de espacio lo cual es óptimo para proyectos donde se conozca el uso de cada área. El objetivo de un edificio certificado LEED® es que el consumo por iluminación sea igual o menor a lo solicitado por este estándar.

2.3.3.6. Equipos eléctricos

Este es el apartado final de requerimientos obligatorios para el estándar ASHARE 90.1-2010 el cual consisten en las eficiencias mínimas solicitadas para motores y equipos eléctricos. Además, toma en cuenta los elevadores donde regula el consumo del motor, del sistema de ventilación y de iluminación. Este apartado es conciso y de corta extensión, pero sigue siendo requisito para la certificación LEED®.

2.3.3.7. Apéndice G

Este no es un apartado de requisitos obligatorios de ASHRAE® 90.1-2010 pero es parte esencial de la certificación LEED®. Este apéndice desglosa el método de modelado energético tanto para la línea base como para el caso propuesto. A continuación, se presenta un extracto traducido de este apéndice.

Cuadro 2.1: Extracto traducido de la tabla G3.1 del Apéndice G del estándar ASHRAE 90.1-2010 (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2010)

Desarrollo del edificio propuesto	Desarrollo del edificio base
<p>10. Sistema de Aire Acondicionado, Ventilación y Calefacción</p> <p>El tipo de sistema HVAC y todos los parámetros de rendimiento relacionados en el diseño propuesto, como las capacidades y eficiencias del equipo, se determinarán de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Cuando exista un sistema HVAC completo, el modelo reflejará el tipo de sistema real utilizando las capacidades y eficiencias reales de los componentes. ■ Cuando se ha diseñado un sistema HVAC, el modelo HVAC debe ser coherente con los documentos de diseño. Las eficiencias de los equipos mecánicos se deben ajustar de las condiciones de diseño reales a las condiciones de clasificación estándar especificadas en la Sección 6.4.1 si así lo requiere el modelo de simulación. ■ Cuando no exista un sistema de calefacción o no se haya especificado ningún sistema de calefacción, se asumirá que la clasificación del sistema de calefacción es eléctrica y las características del sistema serán idénticas al sistema modelado en el diseño del edificio de referencia. ■ Cuando no exista un sistema de refrigeración o no se haya especificado ningún sistema de refrigeración, el sistema de refrigeración será idéntico al sistema modelado en el diseño del edificio de referencia. <p>Excepción: espacios que utilizan sistemas de HVAC de referencia de los tipos 9 y 10</p>	<p>Los sistemas HVAC en el diseño base del edificio deben ser del tipo y descripción especificados en la Sección G3.1.1, deben cumplir con los requisitos generales del sistema HVAC especificados en la Sección G3.1.2 y deben cumplir con los requisitos específicos del sistema en la Sección G3.1.3 que sean aplicables a los tipos de sistemas HVAC de referencia.</p>

Como se observa en el cuadro 2.1, la columna izquierda de la tabla incluye todos los sistemas y cuáles características se deben incluir en el modelado del caso diseñado o propuesto. A la columna derecha, se desglosan los requerimientos de la línea base con el cual se realizará la comparación de consumo energético. En el cuadro 2.1 solamente se presenta el caso del sistema de aire acondicionado, pero en este apéndice se incluyen todos los sistemas detallados en los requerimientos mandatorios. La certificación LEED® toma este apéndice como la base general para su comparación de consumo energético en los créditos de energía y dependiendo del porcentaje de ahorro, así asignará el puntaje obtenido para el proyecto en cuestión.

2.4. Aire Acondicionado

2.4.1. Definición

El aire acondicionado es un proceso combinado que realiza muchas funciones al mismo tiempo. Este es un proceso donde se acondiciona el aire, se transporta y se introduce a un espacio acondicionado. También, se proporciona calefacción y refrigeración desde sus unidades condensadoras o exteriores. Además, se controla y se mantiene la temperatura, la humedad, el movimiento del aire, la limpieza del aire, el nivel de sonido y el diferencial de presión en un espacio dentro de límites predeterminados para la comodidad y salud de los ocupantes del espacio acondicionado o con el propósito de llevar a cabo un proceso determinado (Wang, 2001).

Los sistemas de ventilación para edificios existen desde hace siglos. Las chimeneas y las ventanas, las primeras formas de ventilación de interiores, siguieron siendo los medios principales de calefacción y ventilación de los edificios hasta finales del siglo XIX. En ese momento fue cuando los ingenieros comenzaron a utilizar sistemas de calentamiento de vapor, que consistían en calderas, tuberías y radiadores de carbón, para calentar edificios. Los sistemas de calentamiento de vapor todavía se utilizan ampliamente en la actualidad, aunque el gas natural ha reemplazado al carbón como fuente principal de combustible (Angel, 2020).

En la Edad Media, las personas empezaron a hacer la distinción de “aire malo” en habitaciones abarrotadas o llenas de humo y las enfermedades. En los siglos XVIII y XIX, los científicos y los médicos comenzaron a estudiar las fuentes de contaminantes del aire interior y los efectos que estos contaminantes tenían en la salud humana. Como resultado, en 1895 la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción y Ventilación (ASHVE por sus siglas en inglés) adoptó una tasa de ventilación mínima de 30 cfm de aire exterior por ocupante como estándar de ventilación para edificios públicos. Las tasas de ventilación del aire exterior que se requieren para producir una calidad de aire interior aceptable para diversas ocupaciones continúan siendo estudiadas por la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE®), sucesora de ASHVE. La norma ANSI / ASHRAE® 62.1 está dedicada al tema de la calidad del aire interior (Angel, 2020).

Los sistemas de enfriamiento mecánico (aire acondicionado) son un desarrollo relativamente reciente. El primer sistema de aire acondicionado del edificio se mostró al público durante la Feria Mundial de 1904 celebrada en St. Louis. Desde entonces, se ha realizado una gran cantidad de investigaciones y se ha desarrollado una amplia variedad de equipos de aire acondicionado para satisfacer las diversas necesidades de aire acondicionado de los edificios modernos (Wang, 2001).

Además de calentar, ventilar y acondicionar el ambiente interior para satisfacer las necesidades de comodidad y salud de los ocupantes del edificio, con frecuencia se requieren sistemas

de aire acondicionado modernos para proteger la seguridad de los ocupantes o, en aplicaciones industriales, para proporcionar un ambiente limpio para los procesos realizados dentro del edificio. Además, es posible que se requieran sistemas de aire acondicionado para mantener las relaciones de presión de aire entre los espacios adyacentes donde se manipulan materiales peligrosos o se tratan pacientes infecciosos y para activar los sistemas de ventilación de emergencia si no se mantienen estas relaciones de presión. También se puede requerir que los sistemas de aire acondicionado proporcionen un alto nivel de filtración de aire para mantener un ambiente interior limpio para procesos como la fabricación de semiconductores (Soler & Palau, 2017).

2.4.2. Componentes básicos

Los sistemas de aire acondicionado se basan en el ciclo de refrigeración básico. Este es un ciclo ideal de transferencia de calor donde se absorbe energía por medio de un intercambiador y se transporta hacia el exterior. A continuación, se presenta un diagrama de este ciclo (Ramírez, s.f.).

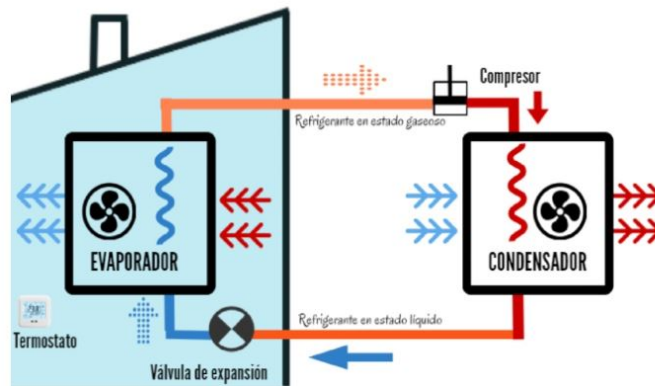


Figura 2.9: Esquema básico de un sistema de aire acondicionado (Ramírez, s.f.)

Según la figura 2.9, dentro de este sistema viaja refrigerante el cual es el encargado del transporte del calor que se absorbe de un lugar y se deposita en el otro. Los componentes principales de este ciclo son el condensador, compresor, evaporador y la válvula de expansión. A continuación se detallan cada uno de ellos (Calor y Frío, 2019):

- **Evaporador:** este es un elemento de intercambio de calor entre el espacio acondicionado y el refrigerante. En este se absorbe el calor del espacio lo que provoca un aumento de temperatura del refrigerante llevándolo hasta su evaporación.
- **Compresor:** en este componente se lleva a cabo la compresión del refrigerante, ya en estado gaseoso, el cual eleva su presión para llegar al condensador. Este proceso se lleva a cabo mediante energía exterior, en este caso, energía eléctrica. De hecho, este componente es uno de los principales consumidores de energía en los sistemas reales.
- **Condensador:** su principal objetivo es expulsar el calor absorbido por el refrigerante para disminuir su temperatura y presión. En los sistemas de aire acondicionado reales, este componente está ubicado en el exterior del espacio.

- **Válvula de expansión:** la válvula de expansión es una parte esencial de este ciclo ya que disminuye radicalmente la presión y temperatura del refrigerante para que logre entrar al evaporador a la temperatura deseada. Con esto se da el intercambio de calor requerido para conseguir las condiciones solicitadas por el usuario.

Los componentes anteriores corresponden a los de un ciclo ideal por lo que un sistema de aire acondicionado real posee una cantidad mucho mayor de componentes que varían sustancialmente dependiendo del tipo de sistema que se esté diseñando. En esencia, cualquier tipo de estos sistemas se basa en el funcionamiento de este ciclo ideal de refrigeración por lo que contiene estos componentes. El tipo de refrigerante, el tipo de compresor, la válvula de expansión a utilizar pueden ser variables de sistema a sistema, pero su funcionamiento es el mismo. Para el alcance de este proyecto, no se requiere desglosar cada componente de cada tipo de sistema. Lo que se quiere dar es un contexto que englobe el funcionamiento general de un sistema de aire acondicionado.

2.4.3. Tipos de sistema

Los sistemas de aire acondicionado son muy versátiles y depende de muchos factores para que un diseñador seleccione de manera correcta el tipo a utilizar en un proyecto dado. Algunos de estos factores a considerar son los siguientes (Angel, 2020):

- Tipos de sistemas de aire acondicionado que están disponibles para satisfacer las necesidades del proyecto.
- Preferencias o estándares del propietario del edificio
- Presupuesto del propietario del edificio
- Costo de instalación, costo operativo y costo de mantenimiento de las posibles opciones del sistema de aire acondicionado
- Limitaciones de espacio, tanto interiores como exteriores, y coordinación con otros elementos del edificio como los sistemas arquitectónicos, estructurales y eléctricos

Por otro lado, existen gran cantidad de clasificaciones de los sistemas de aire acondicionado dependiendo de su funcionamiento, de su uso, de su objetivo, de su construcción y operación, entre otros (Angel, 2020). Esto genera que desarrollar cada clasificación de aire acondicionado sea impráctico ya que sería un desarrollo demasiado extenso. Para esta investigación, se va a hacer énfasis en los sistemas de aire acondicionado tipo agua helada y tipo expansión directa específicamente flujo variable de refrigerante (VRF). Estos van a ser los casos de estudio a lo largo de este proyecto.

2.4.3.1. Sistema de agua helada

Los sistemas de aire acondicionado tipo agua helada son aquellos que utilizan el agua como refrigerante para la absorción de calor del espacio acondicionado. Estos sistemas consisten en un enfriador (chiller) el cual toma el calor absorbido por el agua y lo transfiere al refrigerante a utilizar para cumplir con el ciclo de refrigeración. Una vez que el agua es enfriada sale nuevamente hacia las unidades interiores las cuales están ubicadas en cada uno de los espacios

acondicionados. A continuación, se presenta un diagrama de un sistema de agua helada (Pérez, 2018).

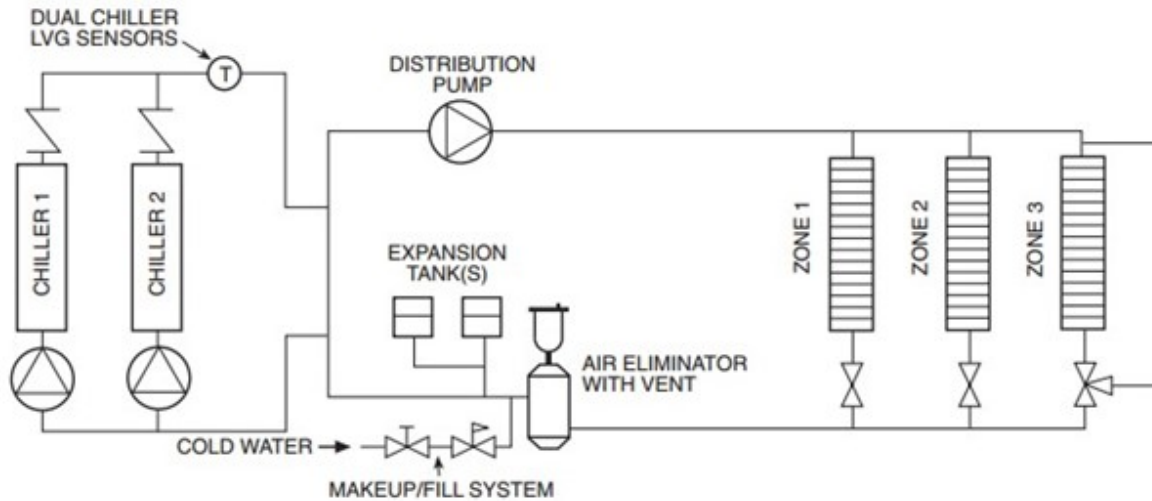


Figura 2.10: Esquema de un sistema de agua helada (Conforempresarial, s.f.)

En la figura 2.10 se tiene un sistema de agua helada con dos enfriadores (chiller) en paralelo los cuales entregan agua a baja temperatura a tres zonas diferentes. Cada enfriador se compone de evaporador, condensador, válvula de expansión y compresor, entre otros componentes. Cada uno de estos posee una función similar a la del ciclo de refrigeración ideal explicado anteriormente.

Por otro lado, este tipo de sistemas necesita un sistema de bombeo el cual distribuye el agua helada por cada una de las unidades interiores que acondicionan los espacios. Además, cuenta con tanques de expansión el cual se encarga de compensar la posible expansión del agua cuando aumenta de temperatura y así evitar daños en las tuberías y equipos. Todos estos componentes son básicos ya que este tipo de sistemas cuentan con gran cantidad de accesorios, medidores y sensores los cuales son necesarios para su correcto funcionamiento (Wang, 2001).

Los sistemas de agua helada se utilizan en edificios de gran tamaño ya que, por la robustez de estos equipos, tienden a ser de altas capacidades. También, se utilizan para procesos en industrias donde se requieran suministro de agua a bajas temperatura. Existen gran cantidad de configuraciones de estos equipos dependiendo de las condiciones de espacios físico donde se van a instalar. Estos sistemas pueden ser enfriados por aire o enfriados por agua. A continuación, se detalla cada uno de estos (Conforempresarial, s.f.).

- **Enfriado por aire:** es un sistema que utiliza un flujo de aire por medio de ventiladores para disminuir la temperatura del refrigerante una vez que absorbe el calor transportado por agua.



Figura 2.11: Sistema de agua helada enfriado por aire (York, s.f.-a)

- Enfriado por agua: estos enfriadores utilizan un flujo de agua para enfriar el condensador. Esta agua es enfriada a su vez por torres de enfriamiento los cuales son ubicadas en el exterior del edificio.



Figura 2.12: Sistema de agua helada enfriado por agua (York, s.f.-a)

Esta subdivisión de enfriadores genera que existan innumerables tipos de chillers, definidos según el tipo de compresor que usan. Por ejemplo, existen chiller centrífugos, scroll, tornillos, entre otros. Todo esto señala que estos sistemas de aire acondicionado son muy versátiles ya que se adaptan a las condiciones que necesite cada proyecto por lo que es muy utilizado a nivel nacional e internacional. Por otro lado, un equipo de este tipo correctamente diseñado e instalado, con un mantenimiento preventivo y correctivo óptimo puede tener una vida útil muy larga por lo que es muy buscado para reducir costos de recambios de equipos lo que genera ahorros a los dueños de edificios.

2.4.3.2. Sistema de expansión directa

Los sistemas de expansión directa son aquellos equipos de aire acondicionado donde el refrigerante intercambia calor directamente con el aire del espacio acondicionado por medio del evaporador. El refrigerante en forma de gas pasa por la válvula de expansión por lo que reduce su temperatura drásticamente llegando al evaporador con una baja temperatura. Por medio de un intercambiador de calor, absorbe el calor del espacio disminuyendo su temperatura. Finalmente, el refrigerante evaporado sube su presión por medio del compresor para llegar al condensador y ser enfriado para repetir este proceso. Básicamente sigue los lineamientos dados por el ciclo de refrigeración ideal. Este es uno de los sistemas más utilizados en muchos equipos de aire acondicionado por su flexibilidad ya que pueden ser de capacidades bajas, para acondicionado solo un espacio pequeño, hasta capacidades altas para dar aire acondicionado a todo un edificio (Pérez, 2018).

Igualmente, este tipo de aire acondicionado cuenta con una subdivisión muy amplia dependiendo de la configuración del equipo, de su uso y de la cantidad de unidades. En este caso se va a enfocar el estudio a los equipos Flujo Variable de Refrigerante (VRF por sus siglas en inglés).

Los sistemas VRF utilizan refrigerante como fluido de trabajo para proporcionar acondicionamiento de aire tal y como lo hacen los sistemas de expansión directa comunes. En este caso la diferencia es que el flujo de refrigerante dentro del sistema se puede modular a través de un variador de velocidad en el compresor. Esta modulación del flujo permite que los sistemas VRF hagan coincidir estrechamente la capacidad del sistema de refrigeración con la carga de calefacción o refrigeración del sistema. Los motores del ventilador del condensador de velocidad variable también mejoran las capacidades de adaptación de carga de estos sistemas (Bell y Angel, 2016).

Los sistemas VRF también utilizan colectores de circuito, o bien, bifurcadores de tubería los cuales permiten conectar múltiples unidades interiores a una única unidad exterior. Estos valores de unidades interiores pueden ser desde una sola hasta 50 unidades o más dependiendo de los fabricantes y las configuraciones de los casos, tal y como se muestra en la siguiente imagen (Fernandez, 2016).



Figura 2.13: Sistema de expansión directa tipo VRF (York, s.f.-b)

En la figura 2.13 se tiene un sistema de aire acondicionado VRF con cinco unidades interiores conectadas que pueden funcionar individualmente. Por la regulación de refrigerante, cada unidad se maneja de manera diferenciada, es decir, cada una puede tener condiciones de temperatura diferente, si así se deseara. En este caso se tiene la tubería que transporta el refrigerante desde la unidad exterior hasta cada una de las unidades interiores por medio de los bifurcadores anteriormente mencionados (Fernandez, 2016).

Estos sistemas son muy utilizados ya que son muy flexibles en su funcionalidad. Puede ser utilizados desde una residencia con solo dos o tres unidades interiores hasta un edificio de gran cantidad de pisos donde se tengan varios sistemas acondicionando diferentes espacios. La inversión inicial es accesible para los beneficios que otorga un sistema de este tipo por lo que es muy buscado por constructores y dueños de edificios.

2.5. Modelado Energético

2.5.1. Definición

En el pasado la toma de decisiones en el proceso de diseño de edificios se realizaba de acuerdo con factores estéticos, y por supuesto, financieros y de presupuesto. En un contexto de cambio climático, es imperativo no solo tomar acciones desde el punto de vista estético, sino también desde el ámbito de eficiencia. Es a partir de aquí donde se busca predecir el comportamiento energético de un edificio con herramientas confiables y disponibles durante el proceso de diseño (Bautista, 2018).

Este proceso se considera como la simulación virtual o computarizada de un edificio o complejo que se centra en el consumo de energía, las facturas de servicios públicos y los costos del ciclo de vida de varios elementos relacionados con la energía, como aire acondicionado, luces y agua caliente. También se utiliza para evaluar la recuperación de la inversión de soluciones de energía verde como paneles solares y fotovoltaica, turbinas eólicas y electrodomésticos de alta eficiencia (Revitaliza Consultores, 2018).

Para el modelado energético se requiere conocer ciertos aspectos específicos del edificio, como los que se mencionan a continuación: (Energy Models, s.f.-b):

- Localización y volumetría del edificio o espacios a modelar.
- Datos climáticos de la región donde está ubicado el proyecto.
- Materiales del edificio tales como vidrios, techos, losas, paredes exteriores, paredes interiores.
- Operación general del edificio dentro de los cuales está el horario del edificio y de cada uno de sus sistemas.
- Cargas interiores del edificio como iluminación, cargas directas, cantidad de ocupantes, nivel de actividad.
- Características específicas del sistema de aire acondicionado
- Requerimientos de cada uno de los espacios modelados a nivel de cargas y de condiciones.

Una de las principales ventajas de esta herramienta es que se puede evaluar cómo un sistema del edificio impacta a otro. Por ejemplo, si parte de la selección de los materiales del edificio es un vidrio bajo emisivo, el dimensionamiento de la instalación HVAC arrojará una menor capacidad requerida, y si el sistema de iluminación tiene una baja densidad de potencia en los espacios acondicionados también aportará a disminuir la capacidad requerida (Bautista, 2018). Esto es de gran utilidad en un proceso integrativo donde se desea que cada decisión que se toma durante el diseño y construcción sea avalado por todas las disciplinas concernientes.

2.5.2. Beneficios del modelado energético

Existen diversas medidas de eficiencia energética, sistemas y tecnología en el mercado; sin embargo, no todas impactan de igual forma en un proyecto y en otro. Lo esencial es evaluar diferentes propuestas y tomar las que tengan una mejor relación costo beneficio. Por lo tanto, los propietarios se pueden beneficiar directamente de esta herramienta, ya que ayuda a maximizar la inversión antes de la construcción, optimizando alternativas que permitan priorizar la inversión en estrategias que generen un mayor impacto en la reducción del consumo energético y bienestar de los ocupantes (Bautista, 2018).

Por otro lado, los ocupantes del edificio se ven beneficiados con este tipo de modelado ya que se asegura el confort con diversas medidas que pueden ser evaluadas durante este proceso. Utilizar un vidrio con una baja emisividad provoca que el aire acondicionado reduzca su capacidad asegurando las condiciones óptimas para la ocupación del edificio. Por otro lado, si se instalan sensores de luz día en los accesos a luz natural, estos graduarán la intensidad de la iluminación dependiendo de la luz exterior. Todas estas medidas anteriormente son probadas en el proceso de diseño por medio del modelado energético (Bautista, 2018).

Para los ingenieros es una herramienta inmejorable para el desarrollo del proyecto. Si bien se puede predecir el consumo energético del edificio, esa no es la única ventaja de una herramienta así. Al compilar la información de todos los sistemas en un solo modelado, este puede servir para futuras consultas, y al final del proceso constructivo, se puede consultar como un modelo igual a la realidad (modelo “as built”). (Energy Models, s.f.-b).

Cualquier producto de un fabricante puede ser cargado a un modelo energético para probar su rendimiento. Esto es una gran ventaja ya que se puede ver su comportamiento antes de ponerlo a la venta y así generar una estrategia de mercado según su desarrollo en un edificio teniendo el respaldo de una simulación fiable (Revitaliza Consultores, 2018).

Sin duda el mayor beneficio de un proyecto con un modelo energético son los aspectos de sostenibilidad. En la parte económica puede ser un gran ahorro en la inversión inicial y en los costos operativos de un edificio. En la parte social, se puede describir la influencia del proyecto en el confort de sus ocupantes. Finalmente, la parte más beneficiada es la ambiental. La eficiencia energética y el bajo consumo es lo que en su mayoría se busca en un modelo energético lo cual contribuye a la disminución de la huella de carbono y el bajo impacto en el calentamiento global (Revitaliza Consultores, 2018).

Finalmente, ante la necesidad de combatir el cambio climático, organizaciones dentro de la industria del diseño, construcción y operación de edificios han desarrollado estándares, guías y procesos que fomentan la reducción del consumo de energía por medio de modelados energético. Uno de los ejemplos más claros es la certificación LEED® la cual utiliza esta herramienta en uno de sus más importantes prerequisites y créditos de energía (Bautista, 2018).

2.5.3. Software de modelado

El modelado energético es una herramienta muy versátil por la gran cantidad de sistemas y variables que se toman en cuenta. Esta misma característica genera que existan gran cantidad de programas que realicen este tipo de modelado. TRACE 700 es un programa de licencia pagada de la empresa TRANE. Este programa es una herramienta de análisis muy completo ya que contempla lo que es el modelado de cargas térmicas de un edificio como el modelado energético (Trane, s.f.). En esta misma línea, se puede utilizar el programa Hourly Analysis Program (HAP) el cual pertenece a la empresa CARRIER. Este es un programa de

diseño de aire acondicionado y ventilación, pero en él también se puede desarrollar modelados energéticos de edificios (Carrier, s.f.).

Por otro lado, existen algunos programas de licencia abierta y gratuita. Uno muy utilizado es el EnergyPlus que fue desarrollado a partir de 1997 y está aprobado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos. EnergyPlus toma en cuenta la volumetría detallada del edificio para la transferencia de aire, humedad y calor; calcula métricas de iluminación, sombreado y comodidad visual; admite la configuración flexible a nivel de componentes de aire acondicionado; entre otras funciones de este programa (Departamento de Energía, s.f.).

Cabe recalcar que existen múltiples programas que realizan modelados energéticos, tal y como se menciona anteriormente. En este apartado solo se mencionan unas pocas, pero una de las más importante es eQUEST.

eQUEST probablemente sea la herramienta de modelado más popular y utilizada por su facilidad de uso. Su nombre significa “Herramienta Rápida de Simulación Energética” (Quick Energy Simulation Tool en inglés). Uno de sus principales atractivos es que es de licencia gratuita y abierta por lo que cualquier persona tiene acceso a ella, además que también es avalado y respaldado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (Energy Models, s.f.-a).

eQUEST permite importar geometría de edificios a partir de modelos arquitectónicos o puede construir la volumetría de un edificio dentro del programa. En la figura 2.14, se presenta un ejemplo de un modelo energético.

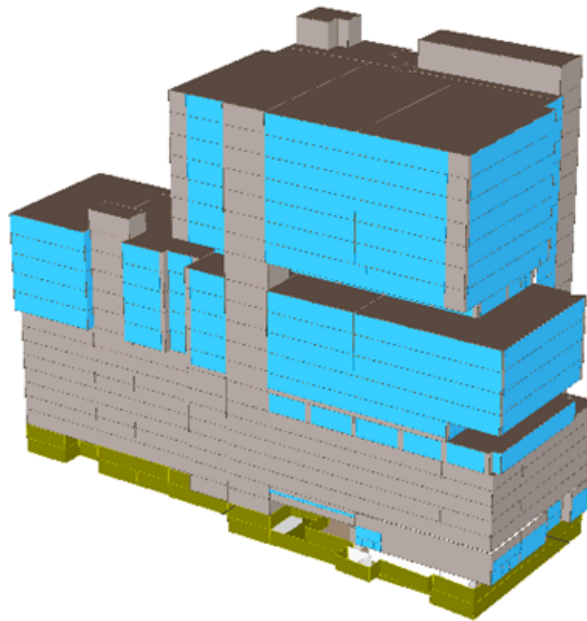


Figura 2.14: Modelado energético de un edificio con el programa eQuest
(Departamento de Sostenibilidad de Johnson Controls)

En la figura 2.14, se presenta el diseño volumétrico de un proyecto a nivel nacional desarrollado con este programa. A pesar de que lo que permite realizar son diseños relativamente sencillos, esto genera un gran beneficio al modelador ya que muchos programas no permiten

hacer este diseño tridimensional, sino que se generan cada uno de los componentes del edificio por medio de código.

Este diseño tridimensional permite que se puedan ejecutar simulaciones simples o modelos muy complejos dependiendo de la etapa de diseño en la que se encuentre en proyecto. En el programa hay tres asistentes de inicio que tienen diferentes niveles de complejidad, o puede usar una interfaz detallada la cual desglosa cada uno de los parámetros del edificio. Estos asistentes son los siguientes: asistente de diseño esquemático (diseños simples), asistente de desarrollo de diseño (entrada detallada) y asistente de eficiencia energética. Cada asistente tiene amplias entradas predeterminadas que se basan en los códigos de energía de los Estados Unidos. Por eso es por lo que se deben adecuar cada parámetro a la ubicación real del proyecto. Uno de estos parámetros son los datos meteorológicos que pueden cargarse al modelo por medio de este programa. El programa permite la inclusión gran cantidad de sistemas y entradas. A continuación, se enlistan alguno de ellos (Ramírez, 2019):

- Envoltente del edificio
- Iluminación artificial y natural
- Aire Acondicionado y ventilación
- Equipos de refrigeración
- Sistema de agua caliente
- Cargas externas y misceláneas
- Energías renovables
- Equipos de refrigeración
- Archivos climatológicos

Estos son algunos de los sistemas que se pueden cargar en un modelo desarrollado por eQUEST. Uno de los parámetros más importantes es el archivo de datos climatológicos. Este archivo es de gran relevancia ya que se definen todos los aspectos del clima específicos para la ubicación del proyecto con lo cual se basa el programa para realizar el modelado energético. En un país como el nuestro este archivo es importante ya que las condiciones climatológicas varían mucho de región a región por lo que se necesita precisar muy bien estos datos y la ubicación (Ramírez, 2019).

Con todos estos parámetros se permite hacer un análisis energético de consumo, un análisis financiero de costos de operación y un análisis de ciclo de vida del edificio. Todo esto lo hace una herramienta muy completa para el mercado de diseño y construcción de edificios. Cabe recalcar que el programa eQUEST es de gran importancia para esta investigación ya que es el programa para utilizar a lo largo del análisis energético propuesto.

Capítulo 3

Análisis energético

La sostenibilidad es un tema que ha tomado gran relevancia en los últimos años. Este concepto está compuesto por tres ejes donde uno de los principales es la sostenibilidad ambiental. Los edificios de oficinas son de los mayores consumidores de energía eléctrica de nuestras sociedades. Del mismo modo, los sistemas de aire acondicionado es el principal sistema electromecánico que influyen no solo en el confort de los ocupantes, sino también en el consumo energético. En este capítulo se desarrollarán los modelos energéticos con diferentes tipos de sistemas de aire acondicionado donde se podrá analizar el consumo de cada opción con respecto a la variación de cada parámetro del modelo, apoyando así a la sostenibilidad ambiental.

3.1. Ubicación del proyecto

En el capítulo anterior se expusieron algunos puntos importantes a tomar en cuenta dentro de un modelado energético. La ubicación del proyecto es uno de los más importantes ya que define las condiciones climatológicas sobre las cuales se estará haciendo el análisis energético.

En esta sección se ampliará sobre la selección de la ubicación definitiva del proyecto a tratar en este análisis. Para ello, se tomaron las ubicaciones de aquellos proyectos desarrollados por el departamento de Sostenibilidad de la empresa Johnson Controls. El alcance de este trabajo se incluye solamente proyectos dentro de San José, Costa Rica pero para el estudio de los diferentes proyectos se tomaron en cuenta los ubicados dentro de la región central del Gran Área Metropolitana.

En total se incluyeron, dentro del estudio de ubicaciones, un total de diez (10) proyectos. Estos proyectos son edificios de oficinas, o de fincas filiales primarias, los cuales contemplan un diseño para futuras oficinas de diferentes empresas. Por motivos de confidencialidad no se revelará el nombre de cada proyecto pero a estos se les asigna un número que se estará utilizando a lo largo de este análisis.

Para este análisis se ubican los proyectos por provincia, cantón y distrito todos localizados dentro de Costa Rica desarrollados en este departamento. En el cuadro 3.1 se detallan cada una de sus ubicaciones:

Cuadro 3.1: Listado de ubicaciones de proyectos del Departamento de Sostenibilidad (Elaboración propia)

Número de Proyecto	Provincia	Canton	Distrito
Proyecto 1	San José	Escazú	San Rafael
Proyecto 2	Heredia	Heredia	Ulloa
Proyecto 3	Heredia	Heredia	Ulloa
Proyecto 4	San José	Escazú	San Rafael
Proyecto 5	Heredia	Heredia	Heredia
Proyecto 6	San José	San José	Mata Redonda
Proyecto 7	Heredia	Belen	Ribera
Proyecto 8	San José	Escazú	San Rafael
Proyecto 9	San José	Escazú	San Rafael
Proyecto 10	San José	Santa Ana	Pozos

Las ubicaciones se centran principalmente en las provincias de Heredia y San José, especialmente en esta última. El cantón donde se tiene mayor ubicación de proyectos es en Escazú lo cual coincide con el gran desarrollo comercial que se ha dado en esta zona en los últimos años. La ubicación y el alto régimen socioeconómico hacen de esta zona una muy atractiva para empresas tanto nacionales como internacionales.

Por otro lado, los archivos climatológicos requeridos por el software de modelado energético poseen un formato específico por lo que se encuentran solamente en fuentes digitales internacionales. Los archivos más veraces y exactos son los del Aeropuerto Juan Santamaría ubicado en Alajuela, Costa Rica. Al ser un aeropuerto internacional, se tienen datos muy precisos por lo que su fiabilidad es mayor a los demás. Para consultar estos datos, favor referirse a la sección de Anexos donde se puede encontrar un gráfico resumen de la temperatura y humedad relativa a lo largo del año de esta ubicación específica.

Por la razón detallada anteriormente se decide utilizar los archivos climatológicos del Aeropuerto Juan Santamaría a pesar que no coinciden con la ubicación más común de los proyectos analizados. Esto no genera variaciones importantes en los resultados del modelo energético ya que este aeropuerto se encuentra a un radio aproximado de 10 km del cantón de Escazú por lo que las condiciones climatológicas no varían considerablemente. Además, en Costa Rica no existen cambios estacionales extremos lo cual genera una estabilidad de condiciones climatológicas a lo largo del año.

3.2. Materiales de envolvente

Al igual que los datos meteorológicos, los materiales del envolvente tienen gran relevancia en el rendimiento energético de un edificio. Por envolvente se entiende como todos aquellos materiales que separan el interior del exterior de un edificio. Estos materiales están completamente expuestos a las condiciones climatológicas externas.

Para el estudio de materiales de envolventes se consideran las paredes exteriores, azotea y vidrios. Se seleccionaron los mismos diez (10) proyectos de la sección anteriores y se detallaron estos tres materiales para cada edificio.

3.2.1. Paredes Exteriores

En el cuadro 3.2 se resumen los materiales de paredes exteriores de cada uno de estos edificios. Cabe recalcar que en algunos edificios se tiene una combinación de diversos tipos de pared exterior, pero para este análisis se toma aquel que tiene mayor cobertura a nivel de área.

Cuadro 3.2: Materiales de paredes exteriores (Elaboración propia)

Número de Proyecto	Materiales Pared Exterior
Proyecto 1	Concreto expuesto 50 cm con impermeabilizante
Proyecto 2	Concreto expuesto 30 cm con lana mineral 3" y gypsum 1/2"
Proyecto 3	Concreto expuesto 50 cm con impermeabilizante
Proyecto 4	Concreto expuesto 50 cm con impermeabilizante
Proyecto 5	Panel aislante 4" con gypsum 5/8", aire 6" y gypsum 1/2"
Proyecto 6	Concreto expuesto 50 cm con impermeabilizante
Proyecto 7	Concreto expuesto 50 cm con impermeabilizante
Proyecto 8	Concreto expuesto 50 cm
Proyecto 9	Concreto expuesto 50 cm
Proyecto 10	Concreto expuesto 40 cm

Como se observa, principalmente se tiene tres tipos de paredes exteriores en todos los edificios. Para aclarar mejor cada tipo de pared, se tiene los siguientes detalles en los cuales se pueden observar cada capa.

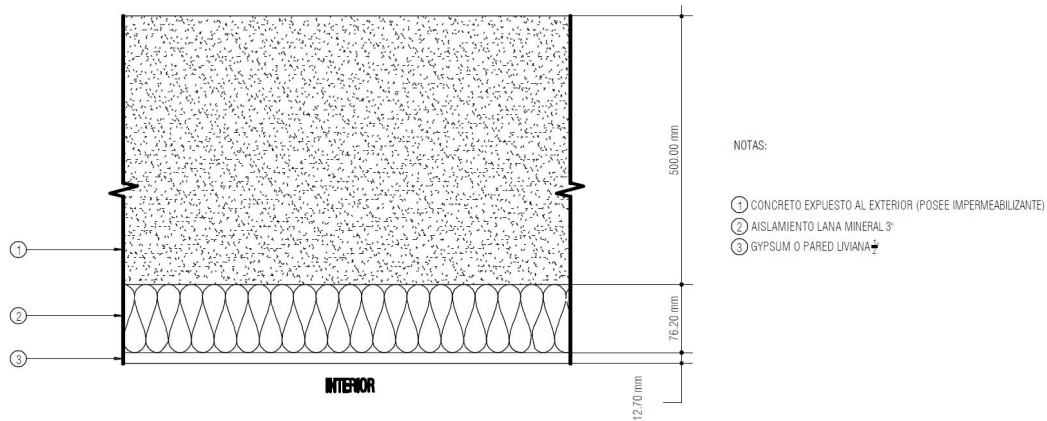


Figura 3.1: Tipo 1 de pared exterior (Elaboración Propia)

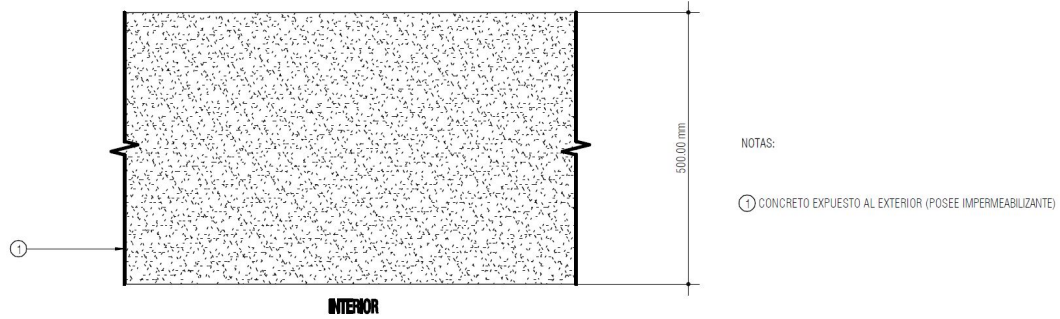


Figura 3.2: Tipo 2 de pared exterior (Elaboración Propia)

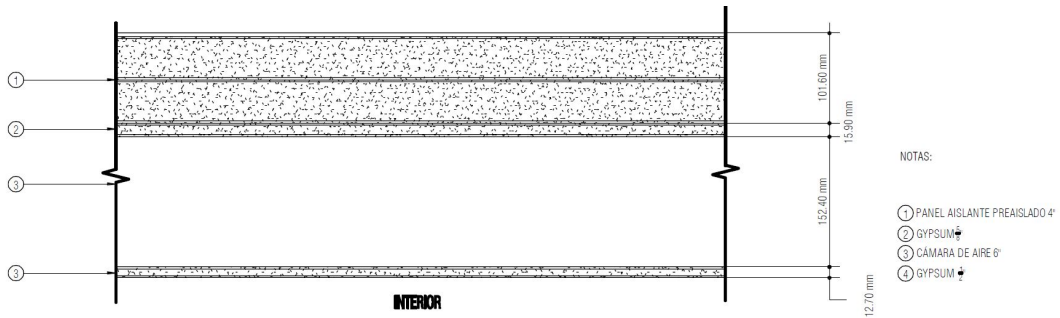


Figura 3.3: Tipo 3 de pared exterior (Elaboración Propia)

En las figuras anteriores se puede observar que se tienen principalmente tres tipos de materiales en las paredes exteriores tomadas en cuenta para este estudio. Estos materiales son los siguientes:

- Concreto expuesto: este material corresponde a concreto colado en sitio de un espesor variable dependiendo del proyecto. La densidad de concreto utilizada en este caso es de 140 lb/ft^3 , el cual corresponde a la densidad más cercana según las especificaciones del concreto real utilizado. La figura 3.4 corresponde a un ejemplo de concreto colado en sitio.



Figura 3.4: Concreto colado en sitio (Elaboración Propia)

- Gypsum: este material corresponde a una placa de yeso con una cobertura de hoja de cartón el cual es muy versatil tanto para interiores como para exteriores. Tanto sus dimensiones como su espesor corresponde a un estándar en el mercado pero en este caso se utilizan de 1/2" como de 5/8". La figura 3.5 corresponde a un ejemplo del material gypsum.



Figura 3.5: Ejemplo de gypsum (Elaboración Propia)

- Lana Mineral: este material corresponde a un aislante formado por pequeños filamentos de materiales rocosos que mantienen aire entre ellos. La figura 3.6 corresponde a un ejemplo de este aislante.



Figura 3.6: Ejemplo de lana mineral (Hilti, s.f.)

- Panel Aislante: este material corresponde a un panel rígido aislante formado por poliestireno expandido con un recubrimiento especial para exteriores. Su espesor varía dependiendo de las necesidades pero en este caso se utiliza de 4". La figura 3.7 corresponde a un ejemplo de este aislante.



Figura 3.7: Ejemplo de panel aislante (Hilti, s.f.)

Con los puntos anteriores se aclara como es la composición de cada tipo de pared exterior que se tiene en el estudio de los distintos edificios pero no se determina como afecta en el rendimiento energético del edificio. Para determinar esta parte se realiza un modelado energético en el programa eQuest donde se varían los diferentes tipos de pared exterior y se mantienen constantes el resto de variables. En este caso se realizan los siguientes supuestos para el modelado:

- Iluminación y cargas misceláneas: se mantienen constantes en cada modelo.
- Sistema de aire acondicionado: se mantiene constante el tipo y la capacidad de aire acondicionado.
- Ocupación: se mantiene constante en cada modelo.
- Otros materiales de envolvente: se mantienen constantes en cada modelo.

Ya con los supuestos bien definidos se procede a realizar el modelado energético. La figura 3.8 corresponde a un ejemplo del modelo realizado para generar este análisis energético de los materiales.

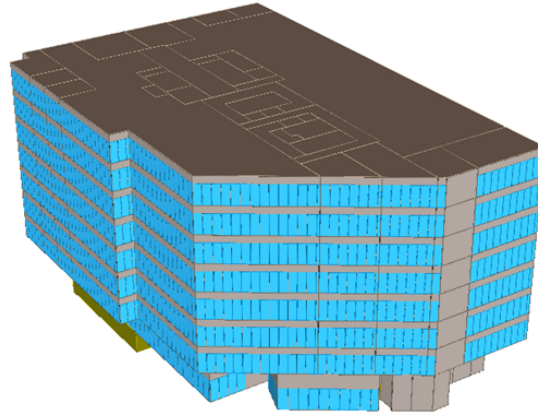


Figura 3.8: Modelo energético realizado en el software eQuest (Elaboración propia)

Los detalles específicos del modelo se tendrán más adelante en el desarrollo de este escrito ya que se utilizó el mismo modelo que se tenía para el análisis energético de los sistemas de aire acondicionado. Con respecto a los resultados de las variaciones de rendimiento energético por paredes exteriores se tiene el cuadro 3.3 que resume los valores obtenidos.

Cuadro 3.3: Resultados energéticos de paredes exteriores (Elaboración propia)

Tipo Pared	Consumo Energía (kWh/año)	Costos Energía (\$/año)
Concreto expuesto	1 572 965	\$319 438
Panel Aislado	1 563 251	\$316 652
Concreto expuesto con lana mineral	1 564 096	\$317 005

Como se observa en el cuadro 3.3, cambios en las paredes exteriores pueden mejorar el rendimiento energético del edificio. Con esto también se pueden generar ahorros en los costos de energía y así optimizar su funcionamiento. Por ejemplo, en este caso tener una pared exterior de concreto con un aislamiento de lana mineral puede generar un ahorro de poco más de \$2 000 en la factura eléctrica del edificio con respecto a una pared de concreto sin aislamiento. Por otro lado, comparándola igualmente con la pared de concreto, un edificio con un panel aislado puede generar ahorros de casi \$3 000 en costos operativos.

3.2.2. Azotea

Dentro del estudio de materiales de envolvente también se incluye el análisis de las azoteas que se tienen en cada uno de los proyectos. Esta sección del envolvente tiene gran relevancia en las cargas térmicas que inciden en los espacios de los pisos superiores de un edificio.

Para este caso se consideran diversas variables para seleccionar el tipo de azotea. Una de ellas es la cantidad de equipos electromecánicos que se van a ubicar en la azotea. Dependiendo de las cargas que se van a tener, se puede seleccionar una azotea de concreto, o bien, una azotea compuesta por paneles tipo “sandwich”.

En el cuadro 3.4 se puede observar el desglose de todos los tipos de azoteas que existen en cada uno de los proyectos.

Cuadro 3.4: Materiales de azotea (Elaboración propia)

Número de Proyecto	Materiales Azotea
Proyecto 1	Panel tipo “sandwich” con PIR 50mm
Proyecto 2	Losa Concreto 30cm + Membrana Polimérica
Proyecto 3	Losa Concreto 30cm + Membrana Polimérica
Proyecto 4	Panel tipo “sandwich” con PIR 50mm
Proyecto 5	Panel tipo “sandwich” con PIR 50mm
Proyecto 6	Losa Concreto 30cm + Impermeabilizante
Proyecto 7	Losa Concreto 30cm + Membrana Polimérica
Proyecto 8	Losa Concreto 30cm + Membrana Polimérica
Proyecto 9	Losa Concreto 30cm + Membrana Polimérica
Proyecto 10	Panel tipo “sandwich” con PIR 75mm

Principalmente se utilizan dos tipos de azoteas en estos proyectos. Sus propiedades generales son muy diferentes y el uso de cada una depende del proyecto y de las intenciones que se tengan para el espacio de la azotea. Para poder ejemplificar mejor cada tipo se tienen los siguientes detalles de cada una de ellas en la figura 3.9 y en la figura 3.10.

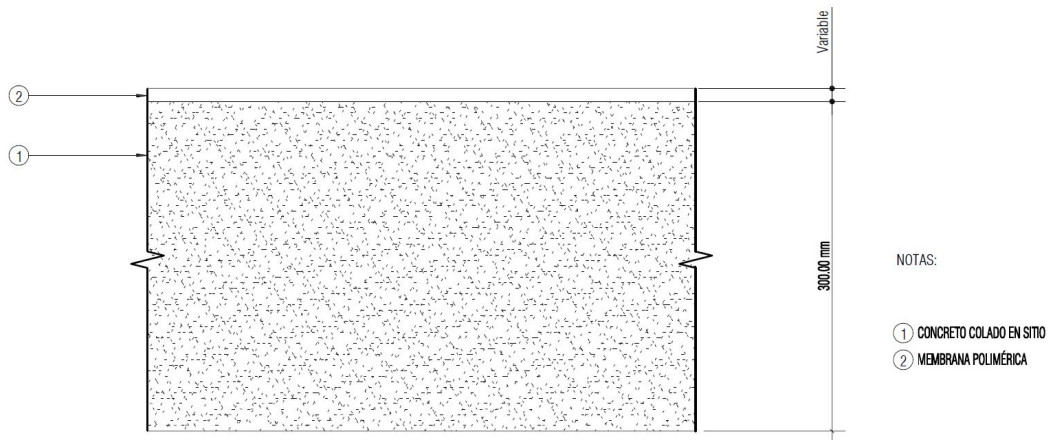


Figura 3.9: Tipo 1 de azotea (Elaboración Propia)

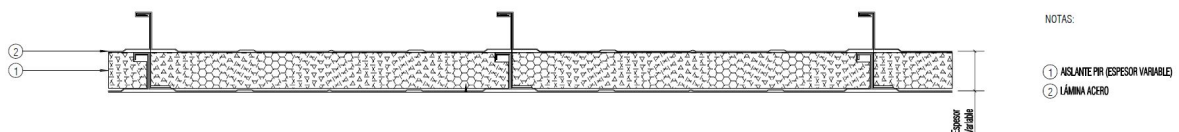


Figura 3.10: Tipo 2 de azotea (Elaboración Propia)

Se logran identificar principalmente 4 materiales por los cuales están formados estas azoteas. A continuación se detallan cada uno de esos materiales.

- Concreto colado: este material es similar al utilizado en paredes exteriores. Para ver su explicación se debe hacer referencia a la sección de paredes exteriores.
- Membrana polimérica: este material corresponde a una membrana compuesta por diversos polímeros la cual se utiliza para la impermeabilización de la superficie de la azotea y así evitar ingreso de humedad y agua. La figura 3.11 corresponde a un ejemplo de este material.



Figura 3.11: Ejemplo de membrana polimérica (Elaboración Propia)

- Panel tipo “sandwich”: este material corresponde a un panel prearmado compuesto por dos láminas de acero con un núcleo de aislante poliisocianurato de un espesor variable. Es muy utilizado por sus excelentes propiedades térmicas y su fácil instalación. La figura 3.12 corresponde a un ejemplo de este aislante.



Figura 3.12: Ejemplo de panel tipo “sandwich” (Elaboración propia)

Igualmente para este caso se realiza un estudio energético con el mismo modelo del caso de paredes exteriores. Para este caso se elige la pared exterior tipo concreto colado en sitio sin aislamiento con un vidrio insulado y se varían los tipos de azotea según el cuadro 3.4. Para este análisis se tienen los resultados detallados en el cuadro 3.5.

Cuadro 3.5: Resultados energéticos de azotea (Elaboración propia)

Tipo Azotea	Consumo Energía (kWh/año)	Costos (\$/año)
Azotea Concreto	1 572 965	\$319 438
Panel tipo “sandwich” PIR 50mm	1 558 629	\$314 470
Panel tipo “sandwich” PIR 75mm	1 557 563	\$314 204

En el caso de la azotea se ve una disminución considerable en el consumo energético a la hora de cambiar de una azotea de concreto a un panel tipo “sandwich”. La azotea de concreto usualmente no tiene ningún tipo de aislamiento y las características térmicas del concreto no son las mejores. Por otro lado el panel tipo “sandwich” posee un aislamiento con espuma de poliisocianurato el cual reduce el ingreso de carga térmica al edificio. En este ejemplo se tiene un ahorro de cerca \$5 000 en costos eléctricos anuales entre una azotea de concreto y otra del panel aislado. Por otro lado, aumentar el espesor de aislamiento no genera un cambio considerable con respecto a consumo eléctrico.

3.2.3. Vidrio

La última parte de este análisis de materiales de envolvente es el vidrio. Este es de los materiales más importante a definir en un edificio ya que posee gran relevancia en las cargas térmicas que inciden en los espacios internos. Por esta razón tener un vidrio de características óptimas puede generar una disminución de cargas térmicas y por ende una reducción del tamaño de los equipos de aire acondicionado y una mejora en el rendimiento energético.

En el caso de este análisis no se tiene un gran variación en el tipo de vidrio ya que todos los edificios estudiados tienen vidrios insulados. Estos están compuestos por dos o más capas de vidrios con un espacio lleno de algún gas en medio de cada uno. En el caso de los edificios tomados en el estudio, todos los vidrios poseen dos capas con un espacio de aire en medio. La figura 3.13 muestra gráficamente cómo es un vidrio insulado.

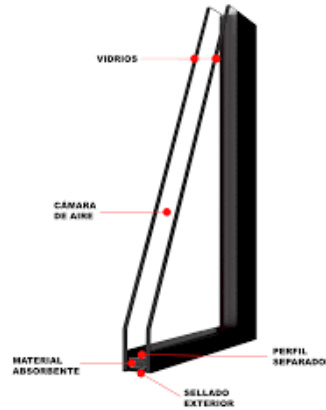


Figura 3.13: Ejemplo de vidrio insulado de dos capas (Extralum, s.f.)

A pesar de que todos los vidrios de los proyectos son del mismo tipo, sus propiedades térmicas varían de uno a otro. En este caso, las propiedades más importantes son el valor U , el cual corresponde a la transmitancia térmica, o medida de intercambio de calor con el exterior. Asimismo, se tiene una variación del valor SHGC o el coeficiente de ganancia solar, el cual se define como la capacidad de controlar la ganancia de calor solar a través del acristalamiento. En el cuadro 3.6 se resumen estas características detalladas para cada uno de los proyectos incluidos dentro del estudio.

Cuadro 3.6: Tipos de vidrios (Elaboración propia)

Número de Proyecto	Valor U ($\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot F}$)	Valor SHGC
Proyecto 1	0.440	0.228
Proyecto 2	0.435	0.159
Proyecto 3	0.421	0.324
Proyecto 4	0.440	0.228
Proyecto 5	0.571	0.620
Proyecto 6	0.449	0.249
Proyecto 7	0.381	0.247
Proyecto 8	0.387	0.186
Proyecto 9	0.387	0.186
Proyecto 10	0.466	0.400

Para realizar un análisis energético de los vidrios se debería hacer un modelo por cada una de las opciones que se tienen según el cuadro 3.6 pero las variaciones de uno a otro son mínimas por lo que mejor se toman otros tipos de vidrios que algunos otros proyectos tienen instalados. En este caso se tienen las siguientes variantes:

- Vidrio insulado: en este caso se tendrán tres vidrios insulados de características térmicas diferentes para observar la variación de uno a otro.
- Vidrio laminado: este es un vidrio compuesto por dos capas de vidrio unidos por una película de un polímero.

- Vidrio sencillo: está compuesta por una sola capa de vidrio. Para este análisis se tendrán dos espesores que son de 10mm, muy utilizado a nivel comercial, y de 6mm, muy utilizado en proyectos de menor escala.

Con estas variantes se realizan los modelos energéticos cuyos resultados se resumen en el cuadro 3.7.

Cuadro 3.7: Resultados energéticos de vidrios (Elaboración propia)

Tipo Vidrio	Consumo Energía (kWh/año)	Costos Energía (\$/año)
Vidrio Insulado $U=0.449$, $SHGC=0.249$	1,572,965	\$319,438
Vidrio Insulado $U=0.387$, $SHGC=0.186$	1,555,608	\$314,856
Vidrio Insulado $U=0.466$, $SHGC=0.402$	1,647,364	\$337,404
Vidrio Laminado $U=0.632$, $SHGC=0.188$	1,548,551	\$312,156
Vidrio Sencillo 10mm $U=0.972$, $SHGC=0.675$	1,746,956	\$357,984
Vidrio Sencillo 6mm $U=0.972$, $SHGC=0.738$	1,775,959	\$364,174

El vidrio es el material de envolvente más importante a definir por su incidencia en las cargas térmicas de un edificio. La selección de un vidrio con las características correctas puede conllevar a un ahorro por energía eléctrica muy considerable. Este caso de estudio es un claro ejemplo de lo mencionado anteriormente. Por ejemplo un vidrio con excelentes características térmicas como el Insulado número 2 puede conllevar a ahorros cercanos a los \$15 000 anual en costo de energía eléctrica con respecto a otro vidrio insulado con características no tan buenas. Por otro lado, la comparación con respecto a un vidrio laminado tiene rendimientos similares a los de un vidrio insulado, a pesar que su valor U tiende a ser mayor. Finalmente, un claro ejemplo que la inversión de un vidrio de buenas características es rentable es la comparación con respecto a un vidrio sencillo. Se han dado casos que existen edificios que sus dueños se quejan de un alto consumo energético pero, a la hora de realizar una auditoría, se encuentra que la principal causa de pérdidas de eficiencia energética es el vidrio. En el caso de estudio del cuadro 3.7 se pueden llegar a obtener ahorros de hasta \$50 000 de factura eléctrica si se instala un vidrio insulado en lugar de un vidrio sencillo.

3.2.4. Selección final de materiales para análisis energético

Anteriormente se detalla la importancia que existe de realizar una selección adecuada de materiales de envolvente. Estos pueden tener una gran influencia en el rendimiento energético de un edificio.

Un caso ideal sería seleccionar los mejores materiales con las mejores características pero en realidad, estos casos son poco frecuentes. Los dueños de los edificios prefieren no invertir en materiales adecuados por su elevados costos iniciales. Por esta razón, para el caso de estudio no sería real seleccionar los mejores materiales desde el inicio, en lugar de esto se seleccionan los materiales más utilizados dentro del estudio de los 10 proyectos anteriormente detallados. Los materiales seleccionados son:

- Pared Exterior: Concreto expuesto 50 cm con impermeabilizante.

- Azotea: concreto colado en sitio 30cm con membrana polimérica.
- Vidrio: vidrio insulado de 2 capas con aire en medio ($U=0.449 \frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot F}$ y $SHGC=0.249$)

Los materiales anteriores serán los que se utilizaran a lo largo del proyecto. Estos se utilizarán en todos los modelados energéticos del proyecto donde se comparen los sistemas de aire acondicionado y en la comparación que se vaya a realizar de la propuesta con respecto a la certificación LEED®

3.3. Selección de edificio y cálculo de cargas térmicas

Una vez seleccionados los materiales de envolvente y los archivos climáticos a utilizar en el modelado, se puede proceder con el cálculo de cargas térmicas para ver la capacidad requerida por los sistemas de aire acondicionado a seleccionar más adelante. El primer paso de este cálculo es la selección del proyecto a utilizar dentro de los 10 proyectos seleccionados del Departamento de Sostenibilidad de Johnson Controls. La figura 3.14 es una representación gráfica del proyecto que se utilizará como base de todo el análisis. Cabe recalcar que esta figura es una representación 3D del software eQUEST ya que el proyecto aún está en fase de diseño y no se ha construido. Por esta razón no se puede adjuntar una fotografía real del mismo.

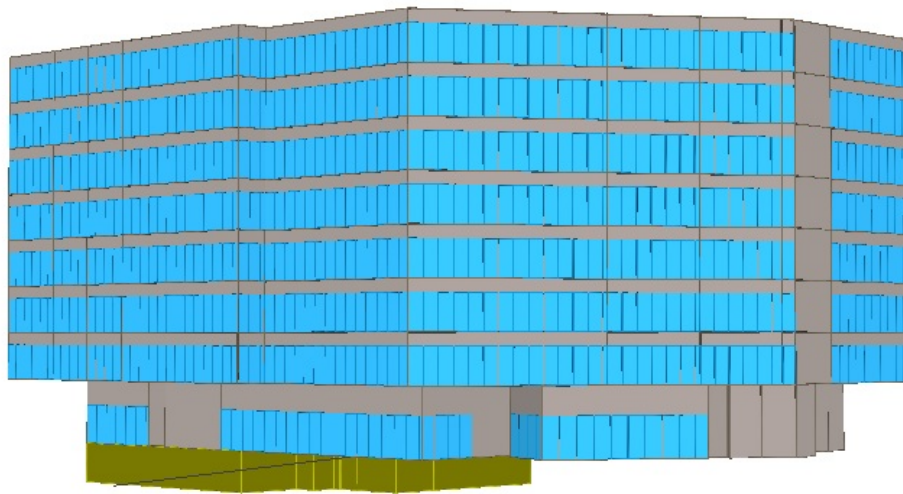


Figura 3.14: Representación gráfica del proyecto a utilizar en el análisis energético (Departamento de Sostenibilidad Johnson Controls)

Este proyecto es un edificio tipo Núcleo y Envoltorio de un total de 8 niveles con un solo sótano. Un proyecto tipo Núcleo y Envoltorio es un edificio en donde se diseñan y construyen solamente las áreas generales y áreas comunes del edificio, mientras que el resto de espacios quedan como fincas filiales para que futuros arrendatarios las remodelen según las necesidades de cada uno. En el caso de este edificio, el nivel 1 serán fincas filiales para comercios, mientras que del nivel 2 al nivel 8 son espacios solamente para oficinas. El único sótano que se tiene es para espacios de oficinas administrativas del edificio y espacios para equipos electromecánicos.

Este punto final fue una de las claves para la selección de este proyecto para el análisis. En los demás casos de los proyectos incluidos en el estudio, los niveles de sótanos son en su

mayoría para espacios de parqueo. Este tipo de espacios usualmente no tienen sistema de aire acondicionado por lo que para el análisis objetivo de este proyecto no hubieran funcionado. En esos casos, a la hora de realizar un modelado energético, estos espacios de parqueo hubieran incrementado el consumo de iluminación y de cargas misceláneas, cargas que no tienen relevancia propiamente en el análisis de sistemas de aire acondicionado y hubieran diluido los ahorros reales de estos sistemas. En el caso del edificio seleccionado el único sótano se divide una parte en oficinas administrativas, las cuales sí incluyen sistema de aire acondicionado, y lo demás son espacios para equipos electromecánicos, los cuales poseen un área pequeña y no influyen considerablemente en las cargas que no son de aire acondicionado del edificio.

Una vez seleccionado el edificio se puede proceder con el cálculo de cargas térmicas. Como se menciona anteriormente, el proyecto seleccionado es un edificio tipo Núcleo y Envoltura por lo que no se tiene el diseño final de todos los espacios. Para poder complementar los espacios no diseñados, se realiza una distribución preliminar tanto en el área de comercio como en las áreas de oficina. Esta distribución preliminar se basa en cada uno de los tipos de espacios, en las subdivisiones de fincas filiales del edificio y en un esquema básico de oficinas y de comercios que busca atraer el proyecto. A continuación se presentan las plantas del edificio donde se incluyen las distribuciones preliminares.

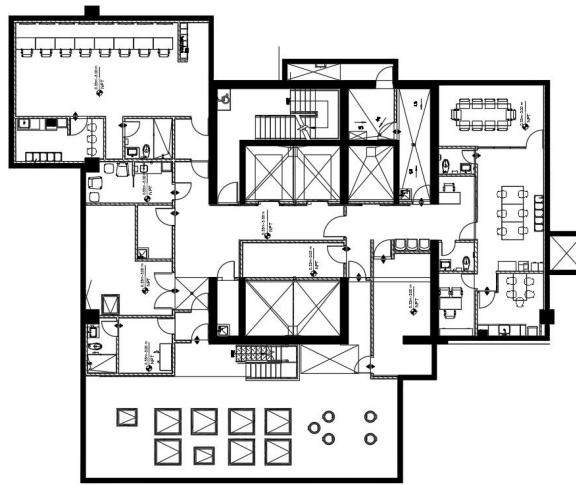


Figura 3.15: Sótano 1 del proyecto seleccionado (Elaboración propia)

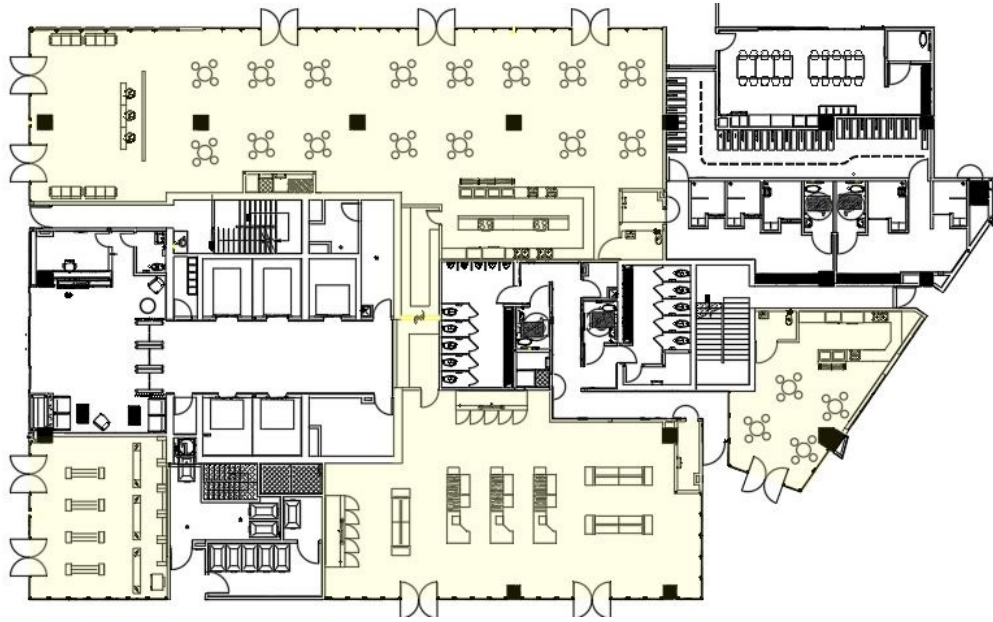


Figura 3.16: Nivel 1 del proyecto seleccionado (Elaboración propia)

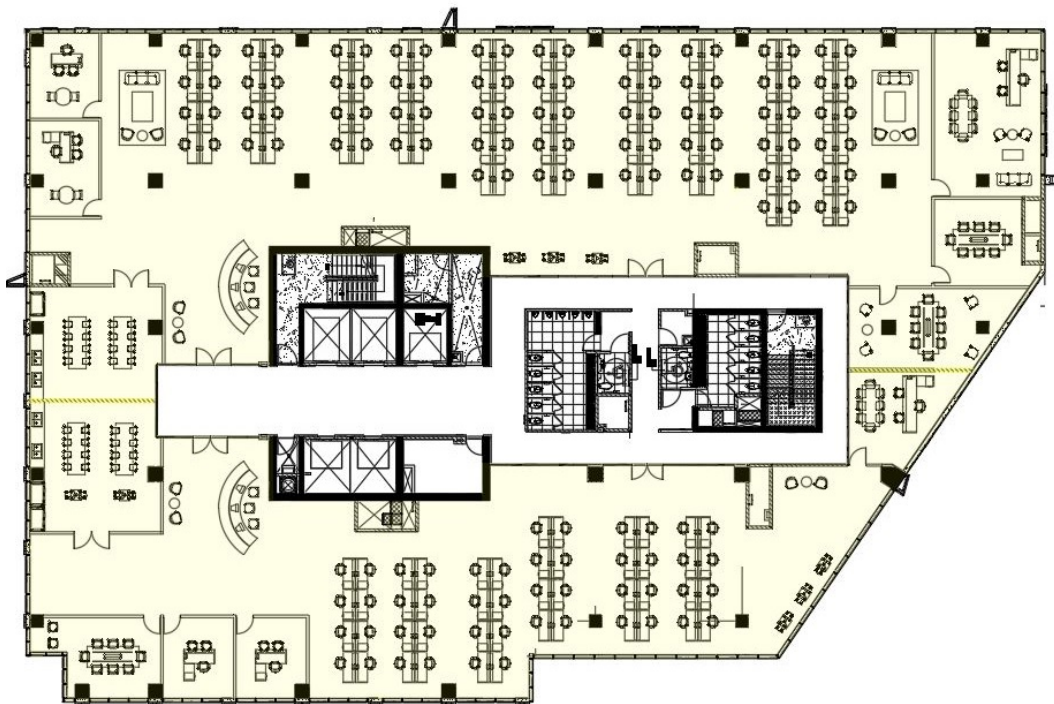


Figura 3.17: Nivel 2 al nivel 8 del proyecto seleccionado (Elaboración propia)

En la figura 3.31 tenemos la planta del sótano del edificio seleccionado. En este caso se muestran donde se tienen los espacios de oficinas administrativas y también donde se ubican las áreas de los equipos electromecánicos tales como cuarto eléctrico, cuarto mecánico, planta

de tratamiento, entre otros. Por otro lado, en la figura 3.32 se tiene la planta del nivel 1, mientras que en la figura 3.33 se tiene la planta típica desde el nivel 2 hasta el nivel 8.

En los planos anteriores hay marcadas en amarillo algunas zonas en específico. Estos espacios corresponde a las áreas previstas para fincas filiales, es decir, espacios a remodelar por futuros arrendatarios. Para el caso de este proyecto, fueron los espacios en lo que se realizó una distribución preliminar. En el nivel 1 se tienen solamente espacios de comercio específicamente un restaurante, una cafetería, una tienda de conveniencia y una farmacia. En el nivel 2 al 8 se destina para espacios de oficinas donde se tienen mayoritariamente oficinas abiertas pero también oficinas privadas, salas de reuniones, colaboraciones abiertas, recepción y comedor. Los criterios para seleccionar el tipo de espacios y sus dimensiones se basan en consideraciones realizadas por el Departamento de Sostenibilidad de Johnson Controls y por el tipo de inquilinos previstos por los dueños para que se instalen en un futuro en el proyecto. De esta manera es que se realizan las correspondientes distribuciones preliminares para poder llenar estos espacios y poder realizar un análisis energético más real del edificio.

Asimismo, los espacios marcados en blanco en las figuras 3.31, 3.32 y 3.33 corresponden a los incluidos dentro del diseño original del edificio. Estos espacios constan principalmente de lobby, recepción, pasillos generales, baños, cuartos electromecánicos, ascensores, escaleras de emergencia, bodegas, entre otros. Para el cálculo de cargas térmicas y para el análisis energético, solamente se tomaron los cuartos eléctricos y los cuartos de telecomunicaciones como acondicionados, los demás serán no acondicionados.

Por otro lado, una vez realizada la distribución preliminar, se procede a calcular las cargas térmicas de cada uno de los espacios en cada nivel. Estos cálculos se realizan en el software HAP de la empresa Carrier. Para este cálculo se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- Ubicación del proyecto: para este software se toma en cuenta la ubicación dentro de San José, Costa Rica.
- Materiales exteriores: los materiales tomados en cuenta para este cálculo fueron los mismos a los seleccionados para el análisis energético.
- Cargas internas: las cargas por personas y por equipos se basan en las consideraciones de las distribuciones preliminares y por cada tipo de espacio.

Una vez realizados los cálculos de cargas se obtienen los resultados correspondientes según el cuadro 3.8. En este caso, los resultados se agrupan por nivel para una mejor comprensión.

Cuadro 3.8: Resultados generales de cálculo de cargas térmicas (Elaboración propia)

Espacios	Carga Total (BTU/h)	Carga Sensible (BTU/h)
Cuartos Eléctricos/TI	83 337	79 889
Áreas Comunes	117 382	85 781
Nivel 1	370 767	268 824
Nivel 2 al 7	614 294	530 206
Nivel 8	785 919	701 831
TOTAL	5 043 169	4 317 561

En este caso, según el cuadro 3.8, la carga total del edificio corresponde a 5 043 169 BTU/h ó 420,26 TON. Este edificio cuenta con un área total acondicionada de 12 347,14 m² por lo cual la densidad de carga térmica por área es de 408,44 $\frac{Btu}{h \cdot m^2}$. Este valor de densidad de carga es un valor acertado para las condiciones climatológicas de San José, Costa Rica. Con base en este cálculo realizado es que se estará realizando la selección de equipos de aire acondicionado tanto expansión directa como agua helada.

3.4. Selección de equipos de aire acondicionado

El cálculo de cargas térmicas realizado anteriormente permite poder seleccionar los equipos de aire acondicionado. Según el alcance de este proyecto se realiza la sección de equipos tanto de expansión directa como de agua helada. En el caso del equipo de expansión directa se seleccionará solamente los equipos tipo Flujo Variable de Refrigerante (VRF), el cual es una solución muy utilizada en casos similares al edificio en cuestión. Con respecto a los equipos de agua helada se seleccionarán un total de 4 opciones donde 2 de ellas serán chillers enfriados por aire y 2 enfriados por agua.

Para la selección de todos los equipos se cuenta con la asistencia de la empresa Johnson Controls quienes facilitaron los software de selección. A raíz de esto, todas las selecciones se realizarán de la marca York la cual es una de las más importantes a nivel internacional de soluciones de equipos de aire acondicionado y pertenece al grupo corporativo de Johnson Controls. A continuación se desglosan cada una de las selecciones realizadas para el análisis energético de ambos tipos de equipos.

3.4.1. Flujo Variable de Refrigerante (VRF)

Un equipo Flujo Variable de Refrigerante (VRF) es un sistema en el cual se pueden conectar múltiples unidades interiores, o unidades evaporadoras, a una misma unidad exterior o unidad condensadora. Este tipo de sistemas son muy versátiles, en especial, en capacidades donde se requieran gran cantidad de unidades interiores para acondicionar diversos espacios. Por esta razón es que se incluye como la opción principal de equipo tipo expansión directa.

En la sección anterior de Marco Teórico se explica el funcionamiento de este tipo de equipos y se presenta la figura 2.13 la cual es una representación esquemática de sus componentes. Ya en el caso específico de la selección de los equipos para este edificio, las cantidad de unidades y el tipo varía según la necesidad pero en esencia el funcionamiento es el mismo.

Para la selección de estos equipos se utiliza el software Navigator, el cual es parte de la empresa Johnson Controls específicamente de la marca York. En este caso se seleccionan tanto las unidades evaporadoras, como las unidades exteriores de cada uno de los sistemas, con base a los cálculos de cargas térmicas realizados y las distribuciones preliminares del edificio.

De la Sección 3.3 se sabe que las áreas a acondicionar son áreas comunes, oficinas administrativas, cuartos eléctricos de todos los niveles, cuartos telecomunicaciones de todos los niveles y cada una de las fincas filiales. En cada una de ellas se utilizan diferentes tipos de unidades interiores dependiendo de los requerimientos de cada espacio. A continuación se detallan cada uno de estos tipos:

- Áreas comunes: estos espacios son principalmente las áreas de duchas para los ocupantes del edificio. En este caso se utilizan unidades de ducto para dar una correcta distribución de aire a todo el espacio. En la figura 3.23 se presenta un ejemplo de estas unidades.



Figura 3.18: Unidad interior tipo ducto media estática marca YORK (York, s.f.-b)

- Oficinas Administrativas: estos espacios son los que están ubicados en el sótano del edificio. En estos espacios no existirá cielo suspendido y además, el área de estos espacios no es muy grande por lo que se utilizan unidades tipo cassette como los de la figura 3.19.



Figura 3.19: Unidad interior tipo cassette marca YORK (York, s.f.-b)

El tamaño de estas unidades es de 95cm x 95cm lo cual es muy grande para ciertos espacios de áreas muy pequeñas por lo que se procede a definir para estos espacios unidades tipo mini-cassette cuyo funcionamiento es el mismo pero el tamaño es menor. En la figura 3.20 podemos ver un ejemplo de estas unidades cuyas dimensiones son 62cm x 62cm.



Figura 3.20: Unidad interior tipo mini-cassette marca YORK (York, s.f.-b)

- Cuartos eléctricos y telecomunicaciones: existen un espacio de este tipo en cada uno de los niveles del edificio. Para estos casos se utilizan unidad de pared alta como las de la figura 3.21. Este tipo de unidades son muy utilizadas en este tipo de cuarto ya que normalmente no existen requerimientos específicos a nivel estético. Además, son de un costo menor y al estar localizadas en una de las paredes del costado del espacio, evita que cualquier fuga o derrame de agua de condensado llegue a los equipos eléctricos.



Figura 3.21: Unidad interior tipo pared alta marca YORK (York, s.f.-b)

- Fincas filiales: recordar que en el caso de este edificio se realizan distribuciones preliminares en las fincas filiales tanto de comercio en el nivel 1 como de oficinas del nivel 2 al 8. En este caso solamente se utilizan unidades tipo ducto de media estática y de alta estática dependiendo de las capacidades que se requieran en cada uno. Además, en algunos casos de oficinas privadas de un tamaño muy pequeño, se utilizan unidades tipo ducto de baja estática. En las siguientes figuras se muestran ejemplos de cada una de ellas.



Figura 3.22: Unidad interior tipo ducto baja estática marca YORK (York, s.f.-b)



Figura 3.23: Unidad interior tipo ducto media estática marca YORK (York, s.f.-b)



Figura 3.24: Unidad interior tipo ducto alta estática marca YORK (York, s.f.-b)

La utilización de cada una depende de diversos factores. Uno de los más importantes es la cantidad de ducto que se le va a conectar a cada unidad. Cuanto mayor sea la longitud del ducto y su caída de presión, mayor debe ser la capacidad del ventilador de la unidad evaporadora. También depende de la capacidad, existen capacidades muy bajas que solamente existen en unidades de baja estática y, caso contrario, capacidades muy altas que solo existen en unidades de alta estática. Finalmente otro punto importante de selección es el espacio donde se van a instalar ya que a mayor estática, mayor su tamaño.

Con los tipos de unidades interiores definidos, se procede a precisar las condiciones interiores de los espacios, cuya temperatura debe ser 23°C y 50% de humedad relativa. La temperatura exterior para las unidades condensadoras se define con 27°C . Estos valores son requeridos por parte del software de selección para definir los parámetros sobre los cuales se selecciona cada una de las unidades.

Finalmente, ya con todos los parámetros definidos realiza la selección de equipos VRF con el software Navigator. Este software pertenece a la marca York de Johnson Controls y se utiliza para la selección de todos los equipos y accesorios de equipos VRF, tal y como se detalla en la sección 3.4.1. Para este caso se seleccionan un total de 21 sistemas VRF de la marca YORK serie GEN II compuestos por 187 unidades interiores y 45 unidades exteriores. El informe de selección completo se puede detallar en la sección de Anexos pero como resumen, en el cuadro 3.9 se presentan los resultados generales de selección.

Cuadro 3.9: Resultados generales de selección de equipos tipo VRF (Elaboración propia)

Sistema	Modelo	Capacidad (BTU/h)
UC-C1	YVAHP216B32S	206 000
UC-C2	YVAHP144B32S	138 000
UC-N1-L1	YVAHP072B32S	69 000
UC-N1-L2	YVAHP240B32S	228 000
UC-N1-L3	YVAHP144B32S	138 000
UC-N1-L4	YVAHP072B32S	69 000
UC-N2-L1	YVAHP312B32S	298 000
UC-N2-L2	YVAHP408B32S	380 000
UC-N3-L1	YVAHP312B32S	298 000
UC-N3-L2	YVAHP408B32S	380 000
UC-N4-L1	YVAHP312B32S	298 000
UC-N4-L2	YVAHP408B32S	380 000
UC-N5-L1	YVAHP312B32S	298 000
UC-N5-L2	YVAHP408B32S	380 000
UC-N6-L1	YVAHP312B32S	298 000
UC-N6-L2	YVAHP408B32S	380 000
UC-N7-L1	YVAHP312B32S	298 000
UC-N7-L2	YVAHP408B32S	380 000
UC-N8-L1	YVAHP408B32S	380 000
UC-N8-L2-1	YVAHP336B32S	320 000
UC-N8-L2-2	YVAHP264B32S	252 000
TOTAL		5 868 000

Si se observa la capacidad total sumada de todos los sistemas es de 5 868 000 BTU/h, o lo que es lo mismo, 489 TON. En comparación con la capacidad calculada en la Sección 3.3, que era de 420 TON, se está superando por 69 TON (828 000 BTU/h) por lo que si se está cumpliendo con lo requerido. El software de selección de equipos VRF tiene dos modalidades diferentes de selección la manual y la automática. En este caso se utiliza la automática ya que la selección se basa en la capacidad requerida para cada uno de los espacios y el software selecciona cuál es la unidad que cumple o supera esta capacidad. Por esta razón es que la capacidad seleccionada supera a la requerida. Con todo esto ya quedaría lista la selección de los equipos VRF por lo que se procede a realizar la selección de los equipos de agua helada o chillers.

3.4.2. Chillers enfriados por aire

Según la Sección 2.4.3.1, un sistema de agua helada es aquel que utiliza el agua como refrigerante para la absorción de calor del espacio acondicionado. Estos sistemas consisten en un enfriador (chiller) el cual toma el calor absorbido por el agua y lo transfiere al refrigerante a utilizar para cumplir con el ciclo de refrigeración. Una vez que el agua es enfriada sale nuevamente hacia las unidades interiores las cuales están ubicadas en cada uno de los espacios acondicionados. El sistema de condensación de este tipo de equipo puede ser por medio de enfriamiento por agua o por aire. Para este análisis, se seleccionaron dos tipos diferentes de equipos enfriados por agua y por aire. Específicamente en esta sección se detallarán las selecciones de equipos enfriados por aire.

Para esta selecciones se tiene la ayuda de la empresa Johnson Controls quienes facilitaron el software de selección llamado YORK Works. Este software es una herramienta que desarrolla gran cantidad de funciones dentro de las cuales está la selección de chillers con base en los catálogos de la marca YORK. Por esta razón es que la selección de los chillers enfriados por aire se basa en la oferta que tiene esta marca de este tipo de equipos, según cada necesidad de mercado. Para este caso, se tienen dos tipos diferentes los cuales se diferencian principalmente por el tipo de compresor, los cuales se detallan a continuación:

- Chiller con compresor tipo Scroll: este tipo de chiller utiliza compresores rotativos, en los cuales el rotor tiene forma de espiral, excéntrico respecto al cigüeñal, que rueda sobre la superficie del estator, que en lugar de ser circular tiene forma de espiral, concéntrica con el cigüeñal del motor (Vega, s.f.). La figura 3.25 representa el funcionamiento esquemático de un compresor tipo Scroll.

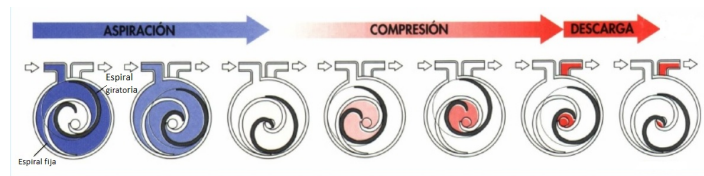


Figura 3.25: Funcionamiento del compresor tipo Scroll (Vega, s.f.)

- Chiller con compresor tipo Tornillo: este tipo de chiller utiliza estos compresores donde el funcionamiento se basa en la disminución del volumen del refrigerante en la cámara de compresión donde se encuentra confinado, produciéndose el incremento de la presión interna hasta llegar al valor de diseño previsto, momento en el cual el refrigerante es liberado al sistema (Vega, s.f.). La figura 3.26 representa el funcionamiento esquemático de un compresor tipo Tornillo.

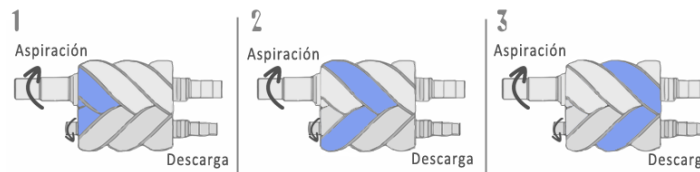


Figura 3.26: Funcionamiento del compresor tipo Tornillo (Vega, s.f.)

Una vez definido el funcionamiento de cada uno de los chillers, se puede proceder a la selección de cada uno de ellos. En este caso la capacidad requerida es 420 TON según lo calculado en la Sección 3.3. Por otro lado, se especifican las condiciones de diseño requeridas por el software de selección. La temperatura de entrada del agua es de 12.22 °C (54°F), mientras de la de salida es de 6.67 °C (44°F). La temperatura ambiente de cálculo es de 35 °C (95°F) y la altitud es de 1 171,96 m (3 845 ft). Estos parámetros se mantienen constantes en la selección de cada equipo. Ahora, en el cuadro 3.10 se detalla la selección de cada uno de los chillers enfriados por aire. Cabe recalcar que los reportes de selección del software YORK Works se puede consultar en la sección de Anexos.

Cuadro 3.10: Resultados generales de selección de equipos tipo chiller enfriados por aire (Elaboración propia)

Tipo	Marca	Modelo	Cantidad	Capacidad (TON)	EER (BTU/Wh)	NPLV (BTU/Wh)
Scroll	YORK	YLAA0155	3	142,7	9,27	15,80
Tornillo	YORK	YVAA0523	1	420,0	10,47	16,41

En el cuadro anterior se puede observar que, en el caso del chiller Scroll, se tiene un total de 3 chillers los cuales en total suman 428,1 TON. El modelo YLAA tiene una capacidad máxima nominal de 230 TON por lo que con solo un chiller no se puede suplir la capacidad completa del edificio. Para las condiciones de diseño que se especifican anteriormente, la mejor opción es escoger 3 chillers modelo YLAA0155, tal y como se realizó en este caso. En la figura 3.27 se presenta una imagen del ejemplo del chiller modelo YLAA.



Figura 3.27: Chiller tipo Scroll modelo YLAA (York, s.f.-a)

Por otro lado, en el caso del chiller Tornillo, los modelos YVAA tienen una capacidad máxima de 575 TON por lo cual se selecciona el modelo YVAA0523 el cual suple toda la capacidad. Estos modelos tienen la ventaja que sus compresores tienen un variador de velocidad los cuales les permite regular su capacidad y rotación dependiendo de la capacidad

específica que se requiera en cada momento. Un chiller como el Scroll mencionado anteriormente no cuenta con esta tecnología por lo que se enciende y se apaga a su máxima potencia dependiendo de la capacidad que se requiera. Esta característica mejora considerablemente la eficiencia energética lo que reduce su consumo eléctrico. Esto se puede observar en las eficiencias reportadas en el cuadro 3.10. En la figura 3.28 se presenta una imagen del ejemplo del chiller modelo YVAA.



Figura 3.28: Chiller tipo Tornillo modelo YVAA (York, s.f.-a)

3.4.3. Chillers enfriados por agua

Los chillers enfriados por agua siguen el mismo principio de funcionamiento de los equipos de la sección anterior. La diferencia principal es que este tipo de equipos son condensados por agua por lo que requieren de un equipo más de bombeo de agua y de torres de enfriamiento las cuales son las encargadas de enfriar el agua que se utiliza para la condensación del refrigerante en el chiller. Para este caso, se tienen los mismos tipos de compresores de los chillers enfriados por aire los cuales fueron explicados en la Sección 3.4.2.

Por otro lado, los parámetros de selección del chiller tales como temperatura de entrada, temperatura de salida, temperatura de ambiente y altura son los mismos que los utilizados en la sección anterior. Además, en este caso se utiliza el mismo software el cual es YORK Works facilitado por la empresa Johnson Controls con base en los catálogos de la marca YORK. Ahora, en el cuadro 3.11 se detalla la selección de cada uno de los chillers enfriados por agua. Cabe recalcar que los reportes de selección del software YORK Works se puede consultar en la sección de Anexos.

Cuadro 3.11: Resultados generales de selección de equipos tipo chiller enfriados por agua (Elaboración propia)

Tipo	Marca	Modelo	Cantidad	Capacidad (TON)	EER (BTU/Wh)	NPLV (BTU/Wh)
Scroll	YORK	YCWL0157	3	145,3	16,78	23,71
Tornillo	YORK	YVWA	2	210,0	19,69	29,76

En el cuadro anterior se puede observar que, en el caso del chiller Scroll, se tiene un total de 3 chillers los cuales en total suman 435,9 TON. El modelo YCWL tiene una capacidad máxima nominal de 200 TON por lo que con solo un chiller no se puede suplir la capacidad completa del edificio. Para las condiciones de diseño que se especifican en la Sección 3.4.2, la mejor opción es escoger 3 chillers modelo YCWL0157, tal y como se realizó en este caso. En la figura 3.29 se presenta una imagen del ejemplo del chiller modelo YCWL.



Figura 3.29: Chiller tipo Scroll modelo YCWL (York, s.f.-a)

Por otro lado, en el caso del chiller Tornillo, los modelos YVWA tienen una capacidad máxima de 300 TON por lo cual con un solo equipo no se podría suplir la carga completa del edificio. En este caso la mejor opción es seleccionar 2 equipos de 210 TON los cuales suplen todos los requerimientos. Al igual que su homólogo enfriado por aire, el modelo YVWA tiene la ventaja que sus compresores tienen un variador de velocidad los cuales les permite regular su capacidad y rotación dependiendo de la capacidad específica que se requiera en cada momento. Igualmente, esta característica mejora considerablemente la eficiencia energética lo que reduce su consumo eléctrico. Esto se puede observar en las eficiencias reportadas en el cuadro 3.11. En la figura 3.30 se presenta una imagen del ejemplo del chiller modelo YVWA.



Figura 3.30: Chiller tipo Scroll modelo YVWA (York, s.f.-a)

Si se comparan los valores de eficiencia energética EER y NPLV, se puede observar que los valores de los chillers enfriados por agua son superiores a sus homólogos enfriados por aire por lo que el consumo eléctrico será menor. El punto importante, en este caso, es que los equipos enfriados por agua necesitan de unidades extra de bombeo y torres de enfriamiento las cuales suponen un consumo importante extra que el chiller enfriado por aire no requiere. Por esta razón no se puede tomar una decisión basada solamente en los valores de eficiencia, se debe recurrir al modelado energético completo del edificio para poder ver la variación real del rendimiento de cada equipo.

3.5. Modelado Energético

Como se detalla en la Sección 2.5, el modelado energético se considera como la simulación virtual o computarizada de un edificio o complejo que se centra en el consumo de energía, las facturas de servicios públicos y los costos del ciclo de vida de varios elementos relacionados con la energía, como aire acondicionado, luces y cargas misceláneas. Con esta herramienta se busca calcular los valores de consumo energético tanto mensual como anual, así como el costo de energía eléctrica que tendría con base en las tarifas locales.

Esta herramienta se utilizó no solamente para el análisis energético de los sistemas de aire acondicionado, sino también en el análisis energético de los materiales de la Sección 3.2. Para este modelado se utilizó el software eQUEST por diversas razones. La primera de ellas, este es el software que se utiliza en el Departamento de Sostenibilidad de la empresa Johnson Controls por lo que se tiene acceso a gran cantidad de material de apoyo sobre este software así como la experiencia de todo el departamento. Por otro lado, este software cuenta con la ventaja de que es de licencia gratuita por lo que cualquier persona puede utilizarlo. Además, la mayoría de software para este fin el modelado de la volumetría del edificio se debe hacer por medio de código, mientras que en el caso de eQUEST, el modelado de la volumetría se puede hacer por medio de una interfaz de usuario bidimensional con base en los planos de Autocad por lo que es mucho más accesible realizar un modelo de esta manera.

Para el caso de un modelado energético se requieren introducir todos los parámetros iniciales para que el software los tome y realice el modelado a través del tiempo con base

en estos parámetros. Estos parámetros es la información base del edificio ya sea en materiales, ubicación, volumetría, tipos de espacio, tipos de sistemas electromecánicos, entre otros. Para el caso específico de este análisis del edificio seleccionado, existen muchos parámetros que se desconocen ya que no se tiene el diseño final del edificio al ser un edificio Núcleo y Envoltente, tal y como se explica en la Sección 3.3. Por esta razón es que varios de esos parámetros iniciales se deben suponer con respecto a normas o estándares internacionales para hacer modelo lo más real posible.

En las siguientes subsecciones se explicarán los parámetros iniciales del modelo que si se tienen y cuales son los supuestos que se tienen que realizar.

3.5.1. Parámetros iniciales y Supuestos

Los parámetros iniciales es toda aquella información que requiere el software para modelar un edificio y así arrojar resultados de consumo energético y de gastos operativos del edificio. Estos parámetros son de suma importancia ya que cuanto más detallados sean estos datos, más real va a ser el modelo energético y más confiables serán sus resultados.

A continuación, se detallan los parámetros iniciales que se desarrollaron para el modelado energético de este análisis.

- **Datos climatológicos:** en la Sección 3.1 se detalla la importancia de definir la ubicación del proyecto y así sus condiciones climatológicas. En este caso se definieron con base en el estudio de los 10 proyectos del departamento de Sostenibilidad de Johnson Controls y así se decide utilizar la ubicación del Aeropuerto Juan Santamaría.

Con base en esta ubicación se utiliza el archivo climatológico respectivo con el cual se desarrollará el modelo energético.

- **Tarifas eléctricas:** este es otro parámetro de suma importancia ya que con base en estas tarifas se calcularán los costos eléctricos del modelo energético. Para este modelo, se utiliza la Tarifa Comercial de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, específicamente para el mes de Mayo de 2021.
- **Tipo de edificio:** se debe definir este parámetro ya que el software lo utiliza para realizar sus cálculos. En este caso se define como un edificio de oficinas de mediana altura.
- **Volumetría:** la volumetría en este caso se define con base en los planos de cada uno de los niveles. Tal y como se mencionó, una de las ventajas de este software es que la volumetría se define por medio de una interfaz de usuario muy amigable la cual se basa en los planos bidimensionales del edificio. A continuación se detallan las plantas que se utilizaron para realizar la volumetría del edificio en el software de modelado.

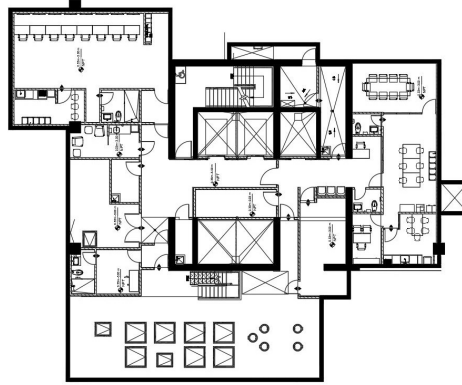


Figura 3.31: Sótano 1 del proyecto seleccionado (Elaboración propia)

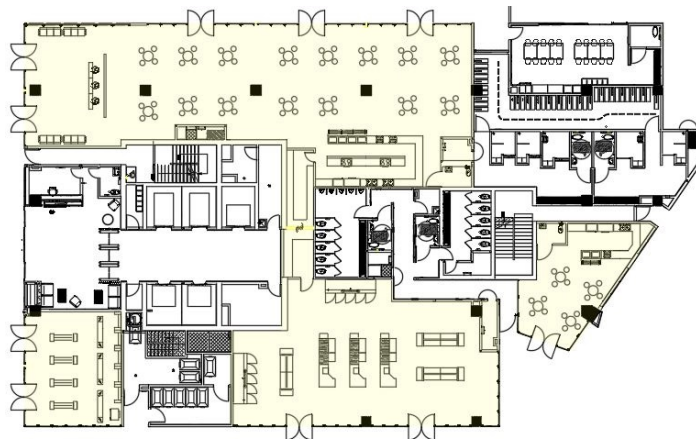


Figura 3.32: Nivel 1 del proyecto seleccionado (Elaboración propia)

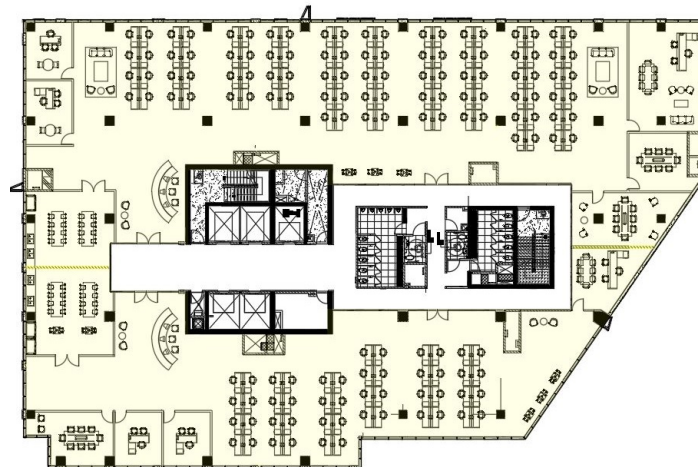


Figura 3.33: Nivel 2 al nivel 8 del proyecto seleccionado (Elaboración propia)

Estos planos son los mismos con los que se confeccionaron las distribuciones preliminares

de cada nivel. En este caso, se puede hacer referencia a la Sección 3.3 para mayor explicación sobre estas distribuciones preliminares. Con esta misma interfaz, se pueden detallar las ubicaciones de los vidrios y puertas, herramienta muy útil para edificios de este tipo donde la mayoría del área de fachadas está compuesta por vidrios.

- **Materiales de envolvente:** en este caso los materiales de envolvente se definen al inicio del modelado. Para este análisis se definieron los materiales con base en el estudio realizado en la Sección 3.2. Para este estudio de materiales también se utilizó este mismo modelo sobre el cual se realizó el análisis de cómo influye cada material en el rendimiento energético del edificio. Este fue un proceso iterativo para poder llegar a la selección final del edificio.
- **Tipo de espacio:** al inicio se observó que se debía definir el tipo de espacio pero además de esto se debe especificar cada tipo de espacio que se modeló en la parte de volumetría para así definir los parámetros de ocupación y cargas internas.
- **Cargas misceláneas:** este tipo de cargas se refiere a cualquier carga que no sea específica de aire acondicionado. Por ejemplo, en este rubro se pueden incluir las cargas a toma-corrientes, bombas de agua, elevadores, ventiladores o cualquier otro tipo de equipo que suponga una carga considerable para el edificio. Como en este caso no se tiene un diseño final del edificio por ser un proyecto tipo Núcleo y Envolvente, esta carga se define por densidad basado en los criterios del manual de usuario del estándar ASHRAE 90.1-2010. En este caso, los valores para un edificio de oficina son $0.75 \text{ W}/ft^2$.
- **Cargas iluminación:** este tipo de cargas se refiere a todas las luminarias interiores del proyecto tanto de áreas comunes como de fincas filiales. Como en este proyecto no se tiene el diseño final del proyecto, se define esta carga según lo que se estipula en la tabla 9.5.1 del estandar ASHRAE 90.1-2010 para un edificio de oficinas cuyo valor es $0.9 \text{ W}/ft^2$.
- **Aire acondicionado:** este es el parámetro más importante a definir ya que es uno de los más específicos que tiene el software en el cual se introducen todas las características del sistema de aire acondicionado del edificio. Estas características incluyen pero no se limitan a tipo de sistemas de aire acondicionado, flujos y cargas de unidades interiores, capacidades de los equipos, eficiencias, entre otros. En realidad este software engloba gran cantidad de características que varían de un tipo a otro tipo de sistemas.

En el caso de este proyecto, los parámetros a definir de cada sistema dependen de la selección realizada en la Sección 3.4. Cada tipo de sistema tiene sus parámetros diferentes que son definidos en el software.

En general estos son los principales parámetros que se tienen que definir en el software eQUEST para poder proceder con el modelado energético. Tal y como se observo, algunos parámetros no pueden ser definidos por el tipo de edificio que se tiene por lo que se procede a realizar supuestos que generen parámetros fundamentados de diseño sobre el cual se pueda generar un modelado confiable.

3.5.2. Modelado

Con los parámetros y supuestos definidos en la sección anterior se procede a realizar el modelado energético en el software eQUEST. Este software tiene una interfaz de usuario muy

amigable que permite hacer modelados con relativa sencillez, además que se tiene todo el soporte y conocimiento del Departamento de Sostenibilidad de la empresa Johnson Controls los cuales manejan este software. En la figura 3.34 se muestra una imagen donde se tiene una pequeña parte de interfaz de usuario del software.

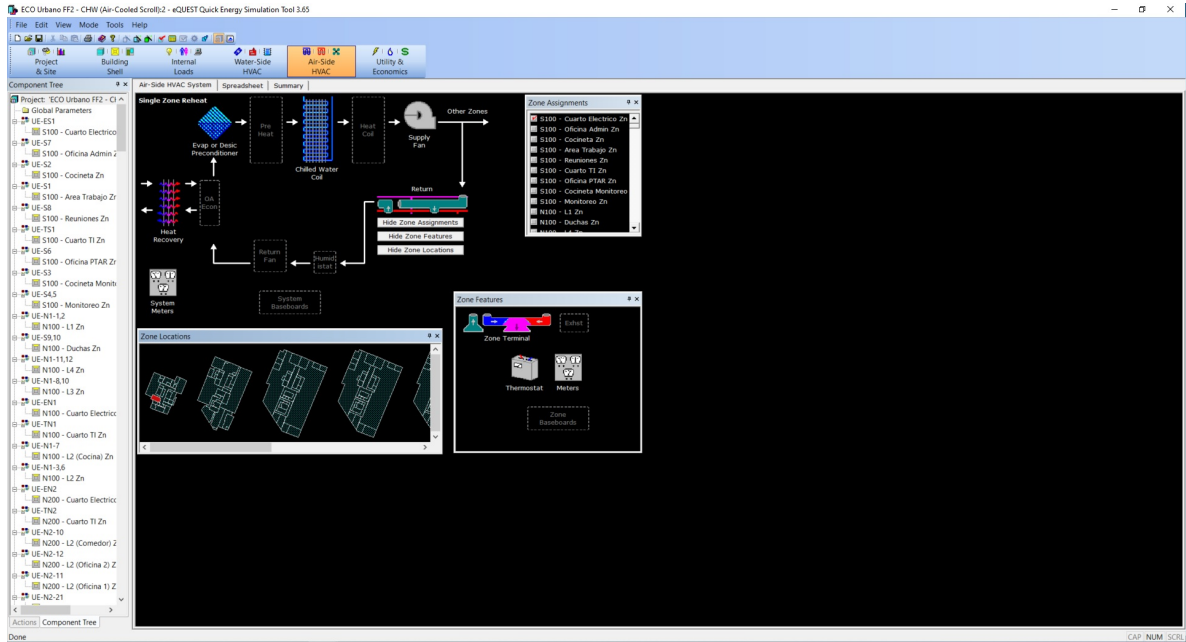


Figura 3.34: Interfaz de usuario del software EQUEST (Elaboración propia)

En esta figura se puede observar donde se tienen las diferentes opciones de visualización de parámetros. En la parte superior de la pantalla se puede seleccionar la ventana de “Opciones del proyecto” en donde se define la información general del edificio como ubicación y datos climatológicos. Además, se tiene la opción de “Exterior del edificio” que es donde se especifican los materiales de envolvente así como la volumetría. Junto a esta opción está “Cargas internas” donde se definen cargas como iluminación o misceláneas. Las siguientes dos opciones corresponden a los parámetros de aire acondicionado. En caso que se tengan sistemas de agua helada se utiliza la ventana de “Parámetros de agua HVAC”, mientras que también está la ventana de “Parámetros de aire HVAC” donde se especifican todos los detalles sobre las unidades interiores o evaporadoras del sistema de aire acondicionado. En caso de tener equipos de expansión directa, no se estaría utilizando la ventana de “Parámetros de agua HVAC”. Finalmente, la última ventana “Utilidades y Económico” es donde se cambian o definen las tarifas eléctricas a utilizar en el modelado. Cabe recalcar que este software está solamente en idioma inglés es por eso que la interfaz de la figura 3.34 está en este idioma.

Por medio de todas estas opciones se realiza el modelado energético para este edificio. En él se modelando los 8 niveles superiores y el sótano respectivo con cada uno de sus espacios por aparte. En la figura 3.35 se muestra la representación tridimensional del modelo en el software eQUEST.

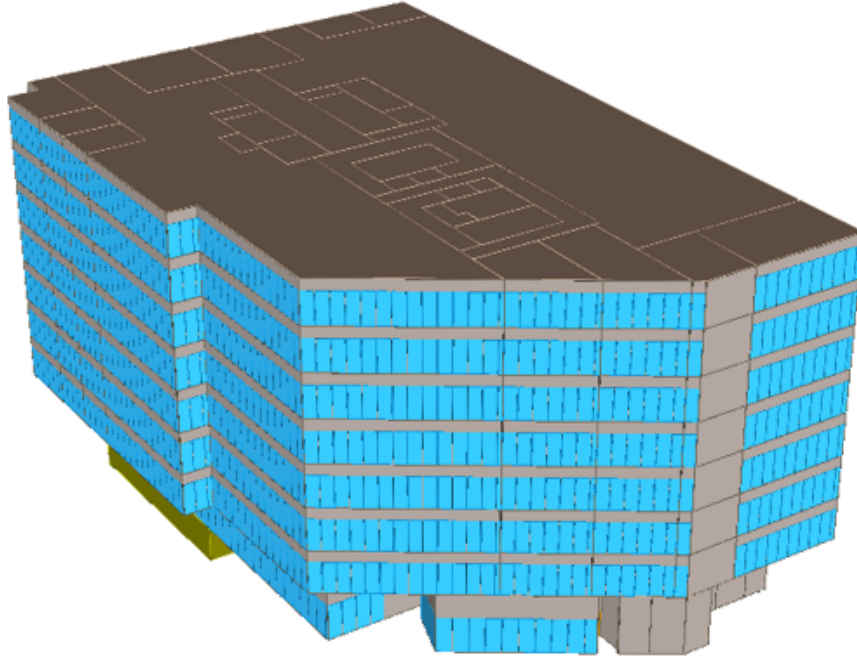


Figura 3.35: Modelo 3D del edificio seleccionado en el software eQUEST
(Elaboración propia)

El software eQUEST no es una herramienta de modelado arquitectónico por esta razón, lo que se busca es que el modelo energético sea lo más real posible pero sin necesidad que llegue a ser igual a un modelo arquitectónico. Lo principal es que se conserven características importantes tales como materiales, dimensiones, distribución, proporciones de vidrios y superficies exteriores. En este caso, este modelo es uno muy acertado ya que se realizó respetando cada parámetro del diseño arquitectónico real.

Ya con todo esto se ejecutan las simulaciones energética en este software para ver el desempeño energético. Se recuerda que en total se realizaron 5 modelos energéticos, uno para cada tipo de equipo de aire acondicionado según las selecciones realizadas en la Sección 3.4. Todos los parámetros de modelado se mantuvieron constantes a excepción de las características propias de cada sistema de aire acondicionado. La única excepción son los parámetros de unidades interiores ya que se mantienen constantes de un sistema de aire acondicionado a otro ya que las cargas eléctricas reales de unidades interiores para sistemas VRF y para sistemas de agua helada no varían considerablemente. Por esta razón se decide que las cargas utilizadas en el modelo VRF se mantengan para los modelos de agua helada.

3.5.3. Resultados

Ya con todo el procedimiento listo de modelado, se pueden ejecutar los 5 análisis en el software para así conocer el rendimiento energético de cada opción. En el cuadro 3.12 se presentan los resultados de estos modelados.

Cuadro 3.12: Resultados generales de modelado energético (Elaboración propia)

Tipo de Sistema	Consumo Energía (kWh/año)
VRF	1 572 965
Chiller enfriado por aire tipo Scroll	1 915 890
Chiller enfriado por aire tipo Tornillo	1 662 994
Chiller enfriado por agua tipo Scroll	1 468 751
Chiller enfriado por agua tipo Tornillo	1 525 768

En este caso se presentan los resultados de consumo energético y costos operativos de energía del edificio con cada selección de sistema de aire acondicionado. En las siguientes figuras se presentan estos mismos resultados de manera gráfica.

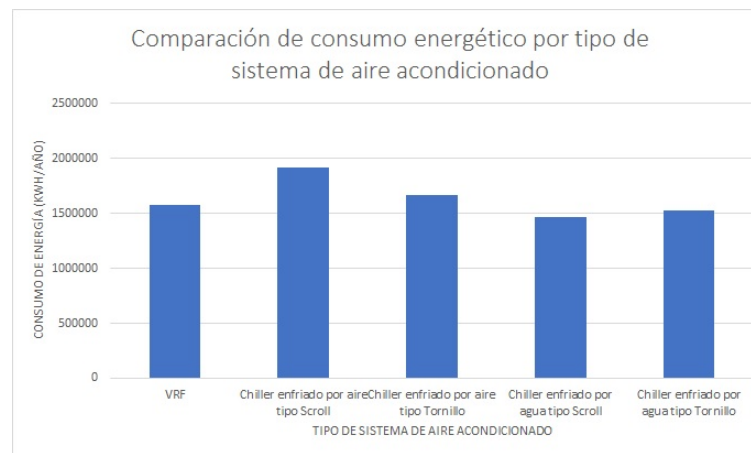


Figura 3.36: Gráfico de consumo energético por tipo de sistema de aire acondicionado (Elaboración propia)

Interpretando los resultados de estos modelados se puede ver que el sistema VRF tiene buen rendimiento energético con consumos anuales de 1 572 965 kWh/año. Por otro lado, los chillers enfriados por aire superan esta carga más de 90 000 kWh/año en el caso del chiller tipo Tornillo y por más de 342 000 kWh/año en el caso del chiller tipo Scroll. En la Sección 3.4 se detalla que el chiller tipo Tornillo tiene un variador de frecuencia el cual mejora la eficiencia del equipo pero aún así no llega los valores de consumo energético del sistema VRF.

Por otro lado, en los chillers enfriados por agua se había especificado que sus eficiencias son mucho mejores que cualquiera de los otros casos. Esto se ve reflejado en los resultados del modelado. Incluso el chiller tipo Scroll tiene mejor rendimiento por más de 47 000 kWh/año aún cuando este equipo consta de compresores de velocidad constante lo que disminuye su eficiencia con respecto a su similar tipo Tornillo pero esto no generó problemas para superar al sistema VRF. Asimismo, el chiller tipo Tornillo es el que mejor resultados obtuvo con ahorros de más de 100 000 kWh/año lo que significa una mejora importante en el rendimiento energético de un edificio.

Estos resultados eran esperables por los buenos valores de eficiencia energética que tenían estos últimos equipos. Si bien, a la hora de utilizar chillers enfriados por agua, se deben incluir cargas adicionales por bombas de agua y torres de enfriamiento, estas cargas no llegan a sumar

el consumo energético de un chiller enfriado por aire o de un sistema VRF.

Preliminarmente, se podría decir que el chiller enfriado por agua tipo Tornillo es el que mejor rendimiento energético tiene por lo que podría ser la opción con la cuál terminar el análisis de este proyecto. Pero antes de tomar esta decisión, se debe proceder con el análisis financiero de cada opción para ver la factibilidad completa de la solución que se quiera recomendar como mejor sistema de aire acondicionado, según el alcance de este proyecto. Los chillers enfriados por aire se descartarán ya que son los que mayor consumo tiene pero el análisis continuará con los chillers enfriados por agua y el sistema VRF.

Finalmente, el software eQUEST despliega gran cantidad de reportes de cada uno de los modelados energéticos. En este caso, se pueden hacer consultar estos reportes en la sección de Anexos para detallar más los resultados de cada modelo.

Capítulo 4

Análisis financiero

El análisis energético de cada uno de los tipos seleccionados de sistemas de aire acondicionado fue desarrollado anteriormente para determinar cuál es la mejor opción desde el punto de vista energético. Antes de esto, se realizó la selección del proyecto, de materiales y su ubicación geográfica para poder simular energéticamente cada uno de los sistemas de aire acondicionado. En este capítulo se estará desarrollando un análisis financiero de cada una de las opciones de sistema de aire acondicionado para poder así poder hacer una comparación integral tomando en cuenta la parte energética y financiera.

Para este análisis financiero se van a tomar en cuenta tres costos principales de cada sistema. El costo operativo será el primero de ellos donde se considerarán los costos de la energía eléctrica que consumen estos equipos a la hora de su funcionamiento y los costos por emisiones de carbono. Luego, el costo de inversión inicial será el siguiente y se estimará el valor de los equipos y su respectiva instalación. Finalmente, el costo de mantenimiento se incluirá como parte de este análisis considerando solamente el mantenimiento preventivo anual de cada sistema de aire acondicionado.

4.1. Costos operativos

Los costos operativos son el tipo de costos en los que incurre una empresa en el desarrollo de la propia actividad del negocio. En el caso de este proyecto, los costos operativos se refieren al monto en el que incurre el dueño del proyecto para cubrir la energía eléctrica consumidas por el edificio. Por energía eléctrica se refiere al valor de consumo de energía en unidades kWh y de demanda eléctrica en unidades kW. Para poder estimar este costo se debe fijar una tarifa eléctrica a utilizar a lo largo del modelado energético pero se analizará la variación de costos según los diferentes tipos de tarifa.

Por otro lado, se recuerda que el enfoque principal de este proyecto es la sostenibilidad. Por esta razón, la implementación de un sistema energéticamente eficiente es un primer paso para un edificio sostenible pero puede existir otras medidas que se pueden incluir como parte del proyecto. Una de estas medidas es la implementación de un sistema fotovoltaico con lo cual se promueve el uso de energías limpias y, por consiguiente, la disminución de los costos de energía eléctrica.

Por otra parte, como componente del enfoque sostenible del proyecto, se consideraran los costos por derechos de emisión de carbono propios del consumo energético. Con esto último se evaluará el impacto en la huella de carbono y cómo cada una de las medidas implementadas

contribuye a la disminución de estos gases nocivos para el medio ambiente.

Finalmente, dentro de los aspectos operativos, no se puede olvidar el consumo de agua que tienen los chillers enfriados por agua. Este consumo se da para reponer el agua evaporada en la torre de enfriamiento. Además, dentro de los costos, se incluye el tratamiento de agua que se le da a estas torres. En las siguientes secciones se detallaran cada uno de estos rubros.

4.1.1. Costos por consumo de energía eléctrica

Para aproximar los costos por consumo de energía eléctrica se utiliza una herramienta de modelado energético para simular el comportamiento del edificio. Esta herramienta es el software eQuest que es el mismo que se utilizó en la Sección 3.5 para desarrollar los modelos y ver el consumo de energía en cada caso. Dentro de los resultados que arroja este software está el costo de consumo de energía y demanda de cada modelo que se realice. Para poder tener este resultado se deben cargar las tarifas eléctricas propias de la ubicación del proyecto.

Dentro de los objetivos de este proyecto está realizar modelados lo más apegado a la realidad para poder tener resultados confiables y precisos. Por esta razón es que, según la ubicación geográfica seleccionada para el proyecto, se determinó cuáles eran las tarifas eléctricas a utilizar para obtener estos costos de energía. En el caso de la ubicación seleccionada para el proyecto, el distribuidor de energía eléctrica es la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL). En las tarifas de esta empresa es que se basaron los modelados energéticos de cada sistema de aire acondicionado. La tarifa se presenta en el cuadro 4.1.

Cuadro 4.1: CNFL Tarifa Comercial Primer Semestre 2021
(Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2021)

Tarifa Comercial T-CO	
Rubro	Monto
Consumo de Energía menor o igual a 3000 kWh	¢111,79
Bloque 0-3000 kWh	¢201 930,00
Bloque mayor a 3000 kWh	¢67,31
Bloque 0-8 kW	¢89 744,24
Bloque mayor a 8 kW	¢11 218,03

Los montos del cuadro 4.1 fueron cargados al software eQUEST para que pudiera simular los costos de energía eléctrica de cada una de las opciones de sistema de aire acondicionado. eQUEST, al ser un software desarrollado en Estados Unidos, todos los montos que se cargan y los valores financieros que simula, los otorga en dólares estadounidenses. Para poder cargar las tarifas eléctricas, se utiliza el tipo de cambio de venta del dólares estadounidense en referencia con el colón costarricense, todo esto según el Banco Central de Costa Rica. Este valor de tipo de cambio es de ¢618.26 por cada dólar correspondiente al día 6 de mayo de 2021.

Una vez que todos los montos de tarifa eléctrica son cargados al software eQUEST se proceden simular cada uno de los modelos energéticos para analizar los resultados obtenidos. En el cuadro 4.2 se pueden observar los resultados de consumo eléctrico según los modelos correspondientes a cada tipo de sistema de aire acondicionado según el Capítulo 3. Estos resultados coinciden con los que se detallan en ese mismo capítulo.

Cuadro 4.2: Resultados de consumo eléctrico (Elaboración propia)

Modelo	Consumo	
	Energía (kWh)	Demanda (kW)
Sistema VRF	1 572 965	689,68
Chiller enfriado por aire SCROLL	1 915 890	903,50
Chiller enfriado por aire TORNILLO	1 662 994	757,20
Chiller enfriado por agua SCROLL	1 525 768	713,30
Chiller enfriado por agua TORNILLO	1 468 751	656,90

Por otro lado en el cuadro 4.3 se detallan los costos de energía eléctrica según los consumos especificados anteriormente. Estos costos se dan con base en los modelados energéticos del Capítulo 3.

Cuadro 4.3: Resultados de costos de energía eléctrica (Elaboración propia)

Modelo	Costo		
	Energía	Demanda	TOTAL
Sistema VRF	\$184 708	\$134 730	\$319 438
Chiller enfriado por aire SCROLL	\$224 404	\$187 232	\$411 636
Chiller enfriado por aire TORNILLO	\$195 130	\$144 258	\$339 388
Chiller enfriado por agua SCROLL	\$179 245	\$139 705	\$318 950
Chiller enfriado por agua TORNILLO	\$172 645	\$129 369	\$302 014

Para observar estos datos gráficamente, se detalla la siguiente imagen la cual corresponde a un gráfico de cada opción de sistema de aire acondicionado en función de los costos totales de energía eléctrica, tomando en cuenta tanto consumo como demanda. Esta imagen corresponde a la figura 4.1.

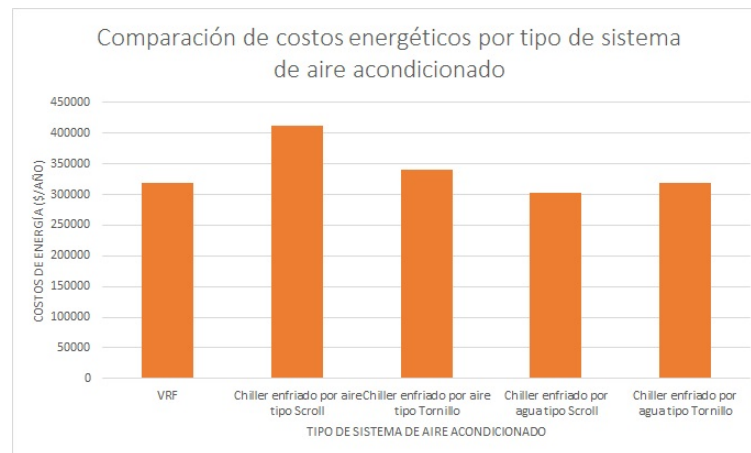


Figura 4.1: Gráfico de costos energéticos por tipo de sistema de aire acondicionado (Elaboración propia)

Los resultados de costos energéticos son congruentes a los resultados de consumo de energía obtenidos en la Sección 3.5. En estos resultados se puede observar que el sistema de aire

acondicionado que mejor rendimiento tiene es el chiller enfriado por agua en conjunto con el sistema VRF. Por ejemplo, existe un ahorro de más del 26 % si se utiliza un chiller enfriado tipo SCROLL a un chiller enfriado por aire de la misma tecnología. Asimismo, si se comparan los costos de un sistema VRF con este mismo chiller, se tendría ahorros de poco más de 5 % anual.

Si se tomaran como referencia solamente los costos de energía, sin duda se elegiría el sistema chiller enfriado por agua tipo SCROLL por su reducido consumo de energía pero se deben tomar en cuenta otros aspectos que se desglosarán más adelante. Para continuar con el análisis, se hará énfasis en los sistema VRF y chiller enfriados por agua por su buen rendimiento, pero se seguirán tomando en cuenta los chiller enfriados por aire para ver su variación en lo que resta del análisis.

Por otro lado, este cálculo de costos operativos se realiza con base en la Tarifa Comercial de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL). Esta tarifa fue la que se utilizó a lo largo de todos los modelos energéticos tanto de los tipos de sistema de aire acondicionado como más adelante en la línea base de ASHRAE 90.1-2010. Como un adicional a este análisis, en las siguientes subsecciones, se modificará el tipo de tarifa que se utiliza en el modelo energético para ver la variación en los costos de energía.

4.1.1.1. Variación de costos operativos según tipo de tarifa

En la sección principal se detallaron cuáles son los costos operativos de energía eléctrica de cada uno de los modelos energéticos dependiendo del tipo de sistema de aire acondicionado. Para este desglose, se utilizó la Tarifa Comercial de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), según lo detallado en el cuadro 4.1. Esta tarifa es la que se utiliza en el Departamento de Sostenibilidad de la empresa Johnson Control - y se puede encontrar en muchos proyectos reales.

Por otro lado, esta no es la única tarifa de energía eléctrica que tienen acceso los proyectos de edificios comerciales como el que es parte de este análisis. Dependiendo de la ubicación geográfica, el tipo de consumo de energía y demanda que tenga el proyecto, así podría variar el tipo de tarifa a la que tenga acceso el proyecto. Por ejemplo, tomando como base las tarifas de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, un proyecto de este tipo podría tener acceso a las siguientes tarifas:

- Tarifa Comercial: para áreas comerciales. Es la que se utiliza en el análisis de este proyecto.
- Tarifa Media Tensión: para clientes servidos en media tensión con una vigencia mínima de un año, prorrogable por períodos anuales.
- Tarifa Media Tensión b: para clientes servidos en media tensión comprometidos a consumir como mínimo 1 000 000 kWh/mes de energía y 2 000 kW/mes de potencia, al menos 10 de los últimos 12 meses del año calendario.
- Tarifa Industrial: para empresas con usos industriales.

Cada una de las tarifas tiene su estructura y sus costos. En el caso de la tarifa comercial se detalla en el cuadro 4.1 de la sección 4.1. A continuación se desglosan las demás tarifas:

Cuadro 4.4: CNFL Tarifa Industrial Primer Semestre 2021
(Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2021)

Tarifa Comercial T-IN	
Rubro	Monto
Consumo de Energía menor o igual a 3000 kWh	¢105,011
Bloque 0-3000 kWh	¢189 870,00
Bloque mayor a 3000 kWh	¢63,29
Bloque 0-8 kW	¢84 386,24
Bloque mayor a 8 kW	¢10 548,28

Cuadro 4.5: CNFL Tarifa Media Tensión Primer Semestre 2021
(Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2021)

Tarifa Media Tensión T-MT	
Rubro	Costo
Energía (¢/kWh)	
Energía Punta	¢53,62
Energía Valle	¢26,81
Energía Noche	¢19,31
Potencia (¢/kW)	
Potencia Punta	¢9 403,21
Potencia Valle	¢6 690,68
Potencia Noche	¢4 247,37

Cuadro 4.6: CNFL Tarifa Media Tensión B Primer Semestre 2021
(Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2021)

Tarifa Media Tensión T-MTb	
Rubro	Costo
Energía (¢/kWh)	
Energía Punta	¢101,73
Energía Valle	¢34,95
Energía Noche	¢22,43
Potencia (¢/kW)	
Potencia Punta	¢2 987,97
Potencia Valle	¢2 085,88
Potencia Noche	¢1 336,67

Como se observa en los cuadros anteriores, existen diferencias importantes entre cada una de estas tarifas. Por ejemplo, la tarifa comercial e industrial tienen la misma estructura pero costos diferentes. Comparando cada uno de estos valores, la tarifa industrial se vuelve más rentable para un edificio que tenga acceso a ambas tarifas. Por otro lado, la tarifa de media tensión y la tarifa de media tensión B tiene una estructura idéntica pero los costos

varían considerablemente. La tarifa de media tensión B es para aquellos clientes que tienen altos consumos por esta razón la energía tiene un costo mayor pero la potencia tiene costos menores. Por otro lado, la tarifa de media tensión común es para clientes de consumo menor y los costos se equiparan más.

Una comparación de estas tarifas es mejor realizarla por medio de un modelo energético. Por esta razón, para este análisis, se decide tomar uno de los modelos energéticos realizados anteriormente para verificar la variación de costos de energía eléctrica y ver cuál es la tarifa más rentable para un proyecto que tenga acceso a todas ellas.

Para el análisis recién mencionado se decide utilizar el modelo energético con un sistema tipo Flujo Variable de Refrigerante. En este caso, se utilizan los mismos parámetros de modelado que los mencionados en la sección 3.5, lo único que se varía en cada caso es la tarifa utilizada según las correspondientes de los cuadros 4.1, 4.4, 4.5 y 4.6. A partir de este modelado, se obtienen los resultados del cuadro 4.7.

Cuadro 4.7: Resultados de costos de energía eléctrica según variación de tarifas eléctricas (Elaboración propia)

Tarifas	Costo		
	Energía	Demanda	TOTAL
Comercial	\$184 708	\$134 730	\$319 438
Industrial	\$171 769	\$124 832	\$296 601
Media Tensión	\$98 008	\$191 669	\$289 677
Media Tensión B	\$152 248	\$60 036	\$212 281

Para observar estos datos gráficamente, se detalla la siguiente imagen la cual corresponde a un gráfico de costo total de energía según la tarifa eléctrica modelada, tomando en cuenta tanto consumo como demanda. Esta imagen corresponde a la figura 4.2.

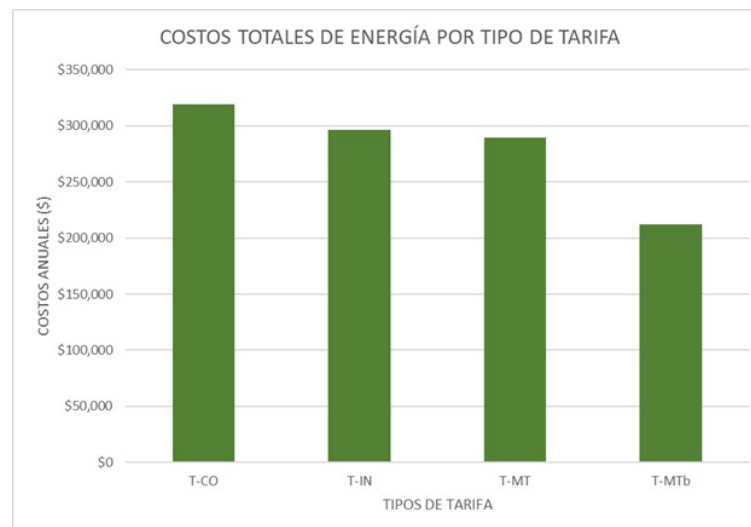


Figura 4.2: Gráfico de costos energéticos por tipo de tarifa eléctrica (Elaboración propia)

Según este procedimiento, se puede observar que existe una tendencia a un menor costo

total cuando se utiliza la tarifa de media tensión B. Esta tarifa es preferencial para cliente cuyo consumo de energía y potencia es muy elevado, por esta razón los precios tienden a ser menores. Según lo que se detalla anteriormente en los costos de tarifas eléctricas, lo que tiene un costo unitario mayor es el consumo por demanda. La tarifa de media tensión B tiene un costo mucho menor por demanda en comparación con las demás tarifas, es por ello que su costo total disminuye. Además, se puede ver que la tarifa comercial, en general, es la que tiene un rendimiento más bajo, es decir, influye en costos totales más altos. Otras tarifas, como la media tensión e industrial, provocan costos totales menores a esta última.

Si bien un edificio que reúna todos los requerimientos de la tarifa media tensión B le es más viable optar por ésta, éste no es el caso de muchos proyectos cuyo consumo no es tan alto. Por ejemplo, detallando el consumo del edificio que se está analizando en este proyecto, el mismo no reuniría los requerimientos que se solicita para esta tarifa. Por esta razón, es importante definir cuáles son las tarifas que tiene acceso un proyecto que se está construyendo en una ubicación específica porque la tarifa que se elija puede incidir considerablemente en los costos anuales de energía eléctrica. Este punto es de gran relevancia cuando se busca el diseño y construcción de proyecto que tenga un consumo y costos de energía eléctrica bajos.

4.1.1.2. Implementación de un sistema fotovoltaico

Para tener un proyecto con un mejor rendimiento, lo ideal es reducir el consumo energético y así reducir sus costos. Una vez que se optimiza el uso de energía eléctrica con una reducción en su consumo, otra estrategia es reemplazar la mayor cantidad de esa energía eléctrica restante por fuentes renovables en sitio que disminuyan el consumo de energía de la red eléctrica regional. Con esto se busca reducir el impacto ambiental y económico asociados a la producción de energía a nivel masivo aumentando el autoabastecimiento de energía renovable.

La producción de energía en sitio puede ser por cualquier fuentes renovable tales como el sol, aire, agua, geotérmica, entre otros. En algunos países es muy común la instalación en sitio de turbinas eólicas pequeñas que suplen al proyecto de energía renovable. De la misma manera, se puede aprovechar la energía geotérmica en regiones donde se tenga acceso a ella para la producción de electricidad, o incluso, para la climatización de espacios. Todos estas opciones son atractivas desde el punto de vista de energías renovables pero no son muy utilizadas a nivel nacional, por lo menos a pequeña escala. A gran escala si son muy utilizadas por esta razón la matriz eléctrica de Costa Rica es más de un 95 % a base de fuentes renovables.

En este tipo de proyectos la energía solar es muy utilizada. Se instalan sistemas de paneles fotovoltaicos que transforman la energía solar en energía eléctrica. Con esto se reduce el consumo de energía de la red nacional, lo que reduce los costos de energía eléctrica mes a mes. Por esta razón, como parte del análisis de este proyecto, se quiere ejemplificar cuánto puede incidir la instalación de un sistema fotovoltaico en los costos de energía eléctrica.

Recordemos que uno de los objetivos principales de este proyecto es fomentar la implementación de prácticas sostenibles en el sector construcción de nuestro país. Además de la búsqueda de un sistema de aire acondicionado eficiente, se desea analizar el impacto de un sistema fotovoltaico en un edificio similar al modelado en este proyecto y hacerlo parte de las recomendaciones finales.

Para el análisis del sistemas fotovoltaicos no se posee un diseño real de paneles solares y todos sus componentes por lo que se realizar un proceso meramente teórico. Como primer paso, se mide el área total del techo del edificio para determinar cuanto es el espacio que se tiene disponible para la posible instalación de paneles solares. Esta área se muestra en la

figura 4.3 resaltada con el color rojo para un total de 1 365,48 m².



Figura 4.3: Nivel Techos del proyecto seleccionado (Elaboración propia)

Con base en esta área se seleccionaron los paneles solares e inversores de referencia para realizar un análisis más real y tomar en cuenta los rendimientos de equipos reales. Los paneles solares seleccionados son de la marca Trina Solar modelo Tall Max TSM-DE14A(II) PERC MONO. Estos paneles ocupan un área total de 1.94 m² por cada uno pero se le debe sumar un área de servicio para poder darle mantenimiento a los paneles que se dimensiona con un 20% más por lo que el área total de cada panel es de 2.33 m². Con esta área se tiene un total de 585 paneles que se podrían instalar en el área de techo disponible del edificio. La potencia total entregada sería de 216 450 W ya que cada panel solar entrega una potencia pico de 370 W.

Una vez con el total de paneles solares se puede seleccionar un inversor acorde a la potencia total del sistema. En este caso se selecciona un inversor marca ABB modelo TRIO-TM-60.0-480 cuya potencia máxima es de 61 800 W. Con esto se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de inversores} &= \frac{\text{Potencia total de paneles solares}}{\text{Potencia por cada inversor}} \\ \text{Cantidad de inversores} &= \frac{216\,450\text{ W}}{61\,800\text{ W}} \\ \text{Cantidad de inversores} &= 3,50 \end{aligned}$$

Como en este caso tenemos que se requieren al menos 3,50 inversores de 61.8 kW, se procederá a seleccionar un total de 4 inversores ya que no se puede tomar solo la mitad de uno de estos equipos. Con esto ya se tiene un diseño básico de un sistema fotovoltaico con los componentes elementales que se requieren para hacer el análisis de energía producida.

Para este análisis de ahorros y energía producida se utiliza el software de modelado energético eQUEST. Los datos del sistema fotovoltaico se incluyen en todos los modelos a excepción del modelo con el sistema de agua helada enfriado por aire tipo SCROLL. Con esto se proceden a cargar todos los datos del sistema fotovoltaico, en específico los siguientes:

- Tamaño de los paneles solares
- Cantidad de paneles solares
- Eficiencia de los paneles solares
- Potencia pico de los paneles solares
- Material de los paneles solares
- Cantidad de inversores
- Potencia de inversores
- Eficiencia de inversores

Con esta información ya cargada al modelo se procede a simular el modelo energético para ver cuánto significa eso en ahorros de costos. Los resultados se resumen en el cuadro 4.8.

Cuadro 4.8: Resultados de modelado energético con sistema fotovoltaico
(Elaboración propia)

Modelo	Costo (\$/año)	Ahorros (\$/año)
VRF	\$295 649,00	\$23 789,00
Chiller enfriado por aire tipo TORNILLO	\$312 574,00	\$27 313,00
Chiller enfriado por aire tipo SCROLL	\$385 498,00	\$26 138,00
Chiller enfriado por agua tipo SCROLL	\$296 306,00	\$22 644,00
Chiller enfriado por agua tipo TORNILLO	\$278 841,00	\$23 173,00

Del cuadro 4.8 se puede observar que se tiene un ahorro aproximado \$24 000 anuales lo cual significa una sustitución del 8% de energía renovable. Con esto se puede observar por qué los sistemas fotovoltaicos son una opción muy viable para ahorros en energía eléctrica. Los ahorros de energía anuales vuelven a los periodos de retorno de inversión de un sistema de este tipo muy atractivos para cualquier inversionista. Pero no solo trae consigo beneficios desde el punto de vista financiero, sino también desde el aspecto ambiental. El uso de energías limpias promueve la disminución de energía no renovable tales como la energía térmica que trae consigo un gran impacto ambiente. Costa Rica tiene la ventaja que la mayoría de su matriz eléctrica se basa en energía renovable pero no exenta a los diseñadores, constructores y desarrolladores a buscar estrategias para la contribución desde cada proyecto realizado. Además esta es una estrategia que facilita en gran medida la obtención de certificaciones tales como LEED[®] con lo cual se asegura una contribución a la sostenibilidad de edificios y proyectos como el analizado en este proyecto.

Cabe recalcar que los valores del cuadro 4.8 son los que se van a utilizar para el análisis financiero final a realizar más adelante en esta sección.

4.1.2. Costos por emisiones de CO₂

Según lo detallado en la sección 2.2.5, la huella de carbono es un indicador de la cantidad de gases de efecto invernadero generados y emitidos por una empresa o durante el ciclo de

vida de un producto a lo largo de la cadena de producción, a veces incluyendo también su consumo, recuperación al final del ciclo y su eliminación.

Para el alcance de este análisis se consideraran solamente la huella de carbono provocados por el consumo de energía eléctrica. Para esto se considerarán los consumos de energía detallados en la sección 3.5.3 y un factor de conversión de tCO₂ por cada kWh consumido. Este factor se obtiene desde la aplicación digital de la certificación EDGE. Esta aplicación considera la ubicación y el tipo del proyecto y con eso calcula un consumo aproximado de energía y un valor de huella de carbono. Este factor es el siguiente:

$$\text{Factor de conversión} = 0.000187982 \frac{kWh}{tCO_2}$$

Con este factor se obtienen los siguientes resultados de emisiones de carbono:

Cuadro 4.9: Resultados de emisiones de carbono (Elaboración propia)

Tipo de Sistema	Emisiones CO ₂ (tCO ₂ /año)
VRF	295,69
Chiller enfriado por aire tipo Scroll	360,15
Chiller enfriado por aire tipo Tornillo	312,62
Chiller enfriado por agua tipo Scroll	286,82
Chiller enfriado por agua tipo Tornillo	276,10

Con estos resultados se puede relacionar la huella de carbono con un costo financiero. En América no existe ningún costo de este tipo asociado específicamente con la huella o emisiones de carbono. Por otro lado, en Europa, a partir del 2005 se implementó el régimen de comercio de derechos de emisión de la Unión Europea la cual es la principal herramienta para reducir de forma rentable las emisiones de gases de efecto invernadero. Las empresas están autorizadas a emitir un límite máximo único para toda la Unión Europea de determinados gases de efecto invernadero. Dentro de ese límite, las empresas reciben o compran derechos de emisión con los que pueden comercializar entre sí en función de sus necesidades.

SENDECO₂ es el Sistema Europeo de Negociación de CO₂ el cual está dedicado a esta compraventa de derechos de emisión de carbono. El principal objetivo es el de contribuir significativamente a la mejora del medio ambiente mediante la reducción global de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Para este proyecto se tomará los costos de derechos de emisión de carbono y se incluirán como parte de los costos operativos del edificio. Si bien es cierto que estos costos no se dan en la ubicación real del proyecto, se desea fomentar este tipo de cargos para que las empresas busquen disminuir su huella de carbono y así reducir el impacto al medio ambiente. Estos costos de emisiones que se tomarán para este análisis son con base en lo que se tiene en el SENDECO₂. Para el mes de octubre del año 2021, el costo de una tonelada de CO₂ cuesta un total de 56,98. Aplicando este costo a los valores del cuadro 4.9, se tienen los siguientes montos:

Cuadro 4.10: Resultados de costos por emisiones de carbono (Elaboración propia)

Tipo de Sistema	Costos Emisiones CO2 (\$/año)
VRF	\$20 423
Chiller enfriado por aire tipo Scroll	\$24 875
Chiller enfriado por aire tipo Tornillo	\$21 592
Chiller enfriado por agua tipo Scroll	\$19 810
Chiller enfriado por agua tipo Tornillo	\$19 070

Todos estos costos por derechos de emisión de carbono serán parte del análisis de costos a realizar más adelante en esta sección.

4.1.3. Costos relacionados al suministro de agua

Los chillers enfriados por agua necesitan de torres de enfriamiento para poder enfriar el agua que se encarga de la condensación de refrigerante del chiller. Las torres de enfriamiento que se utilizaron para este proyecto son de circuito abierto, por lo que una parte del agua que pasa por el intercambiador de calor de la torre se evapora y debe ser repuesta para poder cumplir con los caudales requeridos para el funcionamiento normal del chiller. La práctica usual es que esta agua de reposición sea suministrada desde el acueducto de agua potable, por lo que tiene un costo asociado a ella.

Este costo se determina a partir del cálculo de la cantidad de agua que se evapora durante el proceso de enfriamiento. Con ello, se puede determinar la cantidad de agua que se debe suplir y su costo. Para hacer este cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q = h_{fg} \cdot \dot{m}$$

Donde Q es el calor de rechazo (kW) de la torre de enfriamiento tomado desde los resultados del modelo energético, h_{fg} es el calor de evaporización de agua (kJ/kg) y \dot{m} es el flujo másico de agua evaporada (kg).

A partir de la fórmula anterior, se puede despejar el flujo másico de agua. Con este valor y la densidad de agua, se determina el flujo de agua evaporada. Con los datos del modelo energético, se detalla cuál es la cantidad de tiempo que se utiliza cada torre de enfriamiento. Con el flujo de agua calculado y la cantidad de tiempo, se cuantifica un volumen total de agua evaporada en cada torre de enfriamiento que es la que se debe de reponer con agua potable.

De secciones anteriores, se recuerda que se escogieron cuatro chillers diferentes, de los cuales dos de ellos son enfriados por agua. Este cálculo de agua de reposición se realizó para cada uno de estos chillers y sus respectivas torres de enfriamiento. Estos resultados se resumen en el cuadro 4.11. Cabe recalcar que los cálculos detallados de cada chiller se encuentran en la sección de Anexos.

Cuadro 4.11: Resultados de volumen anual de agua de reposición (Elaboración propia)

Sistema	Volumen de agua anual (m3)
Chiller enfriado por agua tipo TORNILLO	6 594,74
Chiller enfriado por agua tipo SCROLL	6 702,33

A partir de estos resultados, se puede calcular el costo asociado a este consumo de agua. Para ello, se consultan las tarifas vigentes de agua potable de Acueductos y Alcantarillado (AyA) para el último trimestre del año 2021. Estas tarifas dependen del consumo en m³ de agua potable.

Aplicando estas tarifas a los resultados del cuadro 4.11 se obtienen los siguientes costos. Cabe recalcar que las tarifas son el colones costarricenses por lo que se aplica el tipo de cambio del dólar estadounidense del Banco Central de Costa Rica del día 7 de noviembre de 2021.

Cuadro 4.12: Costos de agua de reposición (Elaboración propia)

Sistema	Costo de agua de reposición (\$)
Chiller enfriado por agua tipo TORNILLO	\$20 861,32
Chiller enfriado por agua tipo SCROLL	\$21 206,23

Además del costo propio del consumo de agua de reposición, se debe considerar el tratamiento químico que se debe de realizar al agua para asegurar su calidad y así evitar problemas a lo largo del circuito de enfriamiento. Este costo es aproximadamente \$900 mensuales para torres de enfriamiento de capacidades similares a las utilizadas para este análisis. Por año, este costo significa un total de \$10 800, lo cual considera un monto importante dentro de la operación de un chiller de este tipo.

Todos estos costos calculados anteriormente (costos por agua de reposición y costos de tratamiento de agua) se considerarán como parte del análisis financiero en los chillers enfriados por agua tipo Tornillo y Scroll.

4.2. Costo inicial

Además de los costos operativos, en este análisis financiero se tomaran en cuenta los costos iniciales de cada una de las opciones de los sistemas de aire acondicionado. Con costos iniciales se refiere a la inversión inicial que se debe hacer para la compra, instalación y puesta en marcha de cada sistema de aire acondicionado. También, como en la sección anterior se incluyeron los paneles solares para disminuir los costos por energía eléctrica, lo adecuado es incluir la inversión inicial de este sistema fotovoltaico.

4.2.1. Costo inicial de los sistemas de aire acondicionado

Para el cálculo de esta inversión inicial de los sistemas de aire acondicionado, se tomaron en cuenta los componentes más importante de cada sistema sin entrar en detalle con componentes específicos cuyo costo es menor comparado con el resto del sistema. Estos aspectos tomados en cuenta son los siguientes:

- Costo de los equipos: en cada sistema de aire acondicionado se consideran los equipos más importantes que se deben instalar para su correcto funcionamiento. Más adelante se detallará cuáles son los equipos incluidos en el presupuesto de cada sistema.
- Ductería: en la selección de equipos realizado en la Sección 3.4 , se consideran unidades de ductos tanto en el sistema VRF como en los sistema de agua helada. Por esta razón se considera un rubro de ductos de aire acondicionado y se calcula su costo aproximado. Este monto se mantiene constante ya que éste no varía de sistema a sistema.

- **Instalación:** este monto considera la instalación completa de los sistemas de aire acondicionado. Este es un valor aproximado ya que la instalación es un monto que varía dependiendo de la ubicación del proyecto, distancia de tuberías, costo de la mano de obra, entre otras muchas variables. Por esta razón se toma en cuenta un monto por capacidad de los equipos y este se mantiene constante de sistema a sistema.

El objetivo de todos estos rubros que se consideran en los presupuestos es realizar un análisis financiero lo más real posible, considerando variables que se tomarían en cuenta en un presupuesto de un proyecto similar a éste. Aún así, se mantienen constantes el monto de ductería ya que no es un rubro que varíe considerablemente de sistema a sistema por lo que la diferencia principal va a radicar en el monto de los equipos y de instalación.

En las siguientes secciones se detallarán los presupuestos aproximados realizados para cada uno de los sistemas de aire acondicionado considerados en este análisis. Se explicarán cuáles fueron los equipos tomados en cuenta y un detalle de cada rubro pero, el presupuesto exacto con cada uno de los montos desglosados, se podrá encontrar en la sección de Anexos.

4.2.1.1. Costo del sistema VRF

El sistema de flujo variable de refrigerante (VRF) seleccionado para este edificio está compuesto por los siguientes equipos:

- 161 unidades interiores tipo ducto marca YORK
- 18 unidades interiores tipo pared alta marca YORK
- 8 unidades interiores tipo cassette marca YORK
- 45 unidades condensadoras tipo VRF para un total de 21 sistemas marca YORK
- Termostatos de pared para cada unidad interior marca YORK
- Control central para todos los sistemas marca YORK
- Bifurcadores de cobre para cada ramal de tubería de refrigerante marca YORK

Además de lo detallado anteriormente, se incluye lo siguiente:

- Instalación y puesta en marcha de todo el sistema
- Ductería rígida y flexible para cada unidad interior tipo ducto

Todos estos equipos y su instalación fueron los que se contemplaron dentro del presupuesto de este tipo de sistema. Con esto, se tienen los costos desglosados en el cuadro 4.13.

Cuadro 4.13: Presupuesto del Sistema VRF (Elaboración propia)

Descripción	Precio Total
Equipos	\$1 001 567,29
Ductería	\$108 585,84
Instalación	\$279 900,00
Subtotal	\$1 390 053,13
I.V.A.	\$180 706,91
GRAN TOTAL	\$1 570 760,03

Lo detallado en el cuadro 4.13 representa el costo inicial por la compra, instalación y puesta en marcha de un sistema VRF según lo especificado anteriormente. Este costo es un valor de referencia para el análisis de este proyecto y no pretende sustituir el presupuesto real del sistema de aire acondicionado de un edificio de este tipo. Con este valor total se realiza la comparación con los diferentes sistemas de agua helada.

4.2.1.2. Costo del sistema de agua helada enfriado por aire tipo SCROLL

El sistema del sistema de agua helada enfriado por aire tipo SCROLL seleccionado para este edificio está compuesto por los siguientes equipos:

- 3 chillers enfriados por aire tipo SCROLL marca YORK modelo YLAA0155SE46XFB
- 3 bombas de agua helada marca Bell & Gossett
- 161 unidades interiores tipo ducto marca YORK
- 18 unidades interiores tipo pared alta marca YORK
- 8 unidades interiores tipo cassette marca YORK
- Termostatos de pared para cada unidad interior marca YORK

Además de lo detallado anteriormente, se incluye lo siguiente:

- Instalación y puesta en marcha de todo el sistema
- Ductería rígida y flexible para cada unidad interior tipo ducto

Todos estos equipos y su instalación fueron los que se contemplaron dentro del presupuesto de este tipo de sistema. Con esto, se tienen los costos desglosados en el cuadro 4.14.

Cuadro 4.14: Presupuesto del Sistema Chiller enfriador por aire SCROLL
(Elaboración propia)

Descripción	Precio Total
Equipos	\$699 881,68
Ductería	\$108 585,84
Instalación	\$298 560,00
Subtotal	\$1 107 027,52
I.V.A.	\$143 913,58
GRAN TOTAL	\$1 250 941,10

Lo detallado en el cuadro 4.14 representa el costo inicial por la compra, instalación y puesta en marcha de un sistema chiller enfriado por aire tipo SCROLL según lo especificado anteriormente. Este costo es un valor de referencia para el análisis de este proyecto y no pretende sustituir el presupuesto real del sistema de aire acondicionado de un edificio de este tipo. Con este valor total se realiza la comparación con los diferentes sistemas de agua helada.

4.2.1.3. Costo del sistema de agua helada enfriado por aire tipo TORNILLO

Al igual que en los sistemas anteriores, el sistema del sistema de agua helada enfriado por aire tipo TORNILLO seleccionado para este edificio está compuesto por los siguientes equipos:

- 1 chiller enfriado por aire tipo TORNILLO marca YORK modelo YVAA0523JCF46BA
- 2 bombas de agua helada marca Bell & Gossett
- 161 unidades interiores tipo ducto marca YORK
- 18 unidades interiores tipo pared alta marca YORK
- 8 unidades interiores tipo cassette marca YORK
- Termostatos de pared para cada unidad interior marca YORK

Además de lo detallado anteriormente, se incluye lo siguiente:

- Instalación y puesta en marcha de todo el sistema
- Ductería rígida y flexible para cada unidad interior tipo ducto

Todos estos equipos y su instalación fueron los que se contemplaron dentro del presupuesto de este tipo de sistema. Con esto, se tienen los costos desglosados en el cuadro 4.15.

Cuadro 4.15: Presupuesto del Sistema Chiller enfriador por aire TORNILLO
(Elaboración propia)

Descripción	Precio Total
Equipos	\$715 863,76
Ductería	\$108 585,84
Instalación	\$298 560,00
Subtotal	\$1 123 009,60
I.V.A.	\$145 991,25
GRAN TOTAL	\$1 269 000,85

Lo detallado en el cuadro 4.15 representa el costo inicial por la compra, instalación y puesta en marcha de un sistema chiller enfriado por aire tipo TORNILLO según lo especificado anteriormente. Este costo es un valor de referencia para el análisis de este proyecto y no pretende sustituir el presupuesto real del sistema de aire acondicionado de un edificio de este tipo. Con este valor total se realiza la comparación con los diferentes sistemas de agua helada.

4.2.1.4. Costo del sistema de agua helada enfriado por agua tipo SCROLL

El primero de los sistemas enfriados por agua detallado en costos iniciales es el sistema SCROLL. Este sistema está compuesto por los siguientes equipos:

- 3 chiller enfriados por agua tipo SCROLL marca YORK modelo YCWL0157SE46XAC

- 3 bombas de agua helada marca Bell & Gossett
- 3 torres de enfriamiento abiertas marca Baltimore Aircoil Company
- 3 bombas de agua de condensado marca Bell & Gossett
- 161 unidades interiores tipo ducto marca YORK
- 18 unidades interiores tipo pared alta marca YORK
- 8 unidades interiores tipo cassette marca YORK
- Termostatos de pared para cada unidad interior marca YORK

Además de lo detallado anteriormente, se incluye lo siguiente:

- Instalación y puesta en marcha de todo el sistema
- Ductería rígida y flexible para cada unidad interior tipo ducto

Todos estos equipos y su instalación fueron los que se contemplaron dentro del presupuesto de este tipo de sistema. Con esto, se tienen los costos desglosados en el cuadro 4.16.

Cuadro 4.16: Presupuesto del Sistema Chiller enfriado por agua SCROLL
(Elaboración propia)

Descripción	Precio Total
Equipos	\$1 000 685,70
Ductería	\$108 585,84
Instalación	\$311 000,00
Subtotal	\$1 420 271,54
I.V.A.	\$184 635,30
GRAN TOTAL	\$1 604 906,84

Lo detallado en el cuadro 4.16 representa el costo inicial por la compra, instalación y puesta en marcha de un sistema chiller enfriado por agua tipo SCROLL según lo especificado anteriormente. Este costo es un valor de referencia para el análisis de este proyecto y no pretende sustituir el presupuesto real del sistema de aire acondicionado de un edificio de este tipo. Con este valor total se realiza la comparación con los diferentes sistemas de agua helada.

4.2.1.5. Costo del sistema de agua helada enfriado por agua tipo TORNILLO

Finalmente, el último sistema contemplado en este análisis es un chiller enfriado por agua tipo TORNILLO. Este sistema está compuesto por los siguientes equipos:

- 2 chiller enfriados por agua tipo TORNILLO marca YORK modelo YVWAMBMEEE
- 2 bombas de agua helada marca Bell & Gossett
- 2 torres de enfriamiento abiertas marca Baltimore Aircoil Company
- 2 bombas de agua de condensado marca Bell & Gossett

- 161 unidades interiores tipo ducto marca YORK
- 18 unidades interiores tipo pared alta marca YORK
- 8 unidades interiores tipo cassette marca YORK
- Termostatos de pared para cada unidad interior marca YORK

Además de lo detallado anteriormente, se incluye lo siguiente:

- Instalación y puesta en marcha de todo el sistema
- Ductería rígida y flexible para cada unidad interior tipo ducto

Todos estos equipos y su instalación fueron los que se contemplaron dentro del presupuesto de este tipo de sistema. Con esto, se tienen los costos desglosados en el cuadro 4.17.

Cuadro 4.17: Presupuesto del Sistema Chiller enfriado por agua TORNILLO
(Elaboración propia)

Descripción	Precio Total
Equipos	\$976 986,89
Ductería	\$108 585,84
Instalación	\$311 000,00
Subtotal	\$1 396 572,72
I.V.A.	\$181 554,45
GRAN TOTAL	\$1 578 127,18

Lo detallado en el cuadro 4.17 representa el costo inicial por la compra, instalación y puesta en marcha de un sistema chiller enfriado por agua tipo TORNILLO según lo especificado anteriormente. Este costo es un valor de referencia para el análisis de este proyecto y no pretende sustituir el presupuesto real del sistema de aire acondicionado de un edificio de este tipo.

4.2.2. Costo inicial del sistema fotovoltaico

Además de los costos de los sistemas de aire acondicionado, también se debe considerar el costo inicial del sistema fotovoltaico. Los ahorros generados en la energía eléctrica serán tomados en cuenta en el análisis financiero y, por consiguiente, se debe incluir el costo inicial de este sistema. Para calcular este costo se tomaran las estadísticas del departamento de Sostenibilidad de la empresa Johnson Controls. Dentro de las funciones de este departamento está la revisión e implementación de prácticas de construcción sostenibles, dentro de las cuales están los sistemas fotovoltaicos. En este departamento, existen estadísticas del costo aproximado de un sistema fotovoltaico, dependiendo de su capacidad, basados en gran cantidad de ofertas revisadas por sus miembros.

En la sección 4.1.1.2 se detalló el diseño aproximado de este sistema fotovoltaico, dependiendo del área utilizable del techo del edificio. Con base en estos cálculos la potencia máxima de este sistema es la siguiente:

$$P_{max} = 328\,320 \text{ Wp}$$

Ahora, según la estadística del departamento de Sostenibilidad de Johnson Controls, el costo aproximado de un sistema fotovoltaico es el siguiente:

$$\text{Costo} = 1,00 \frac{\$}{\text{Wp}}$$

Con esto, el costo total de un sistema fotovoltaico basado en el diseño aproximado propuesto anteriormente, es el siguiente:

$$\text{Costo Total} = \$328\,320,00$$

Este costo incluye la compra, instalación y puesta en marcha de todos los equipos y accesorios necesarios para el correcto funcionamiento de un sistema fotovoltaico de esas características. Dentro del análisis financiero a realizar más adelante, se utilizará este costo inicial como parte de la inversión realizada para las prácticas sostenibles detalladas en este proyecto.

Por otro lado, se determinará el costo de mantenimiento específico para cada uno de los sistemas de aire acondicionado, el cual se incluirá también como parte del análisis financiero.

4.3. Costos de mantenimiento

Hasta este punto ya se ha tomado en cuenta los costos por la energía eléctrica que utilizan los sistemas de aire acondicionado para su funcionamiento. Además, se analizó el costo inicial que se debe de considerar para la compra, instalación y puesta en marcha cada uno de estos sistemas. Además, se han considerado los ahorros generados por un sistema fotovoltaico, así como su costo inicial. Ahora lo que resta es estudiar el costo por el mantenimiento preventivo para todos los sistemas de aire acondicionado. El mantenimiento preventivo son aquellas actividades periódicas que se realizan para asegurar el funcionamiento óptimo de los equipos de aire acondicionado. Estas actividades consisten en revisión general del estado de los equipos y accesorios, limpieza general tanto interna como externamente y detectar posibles fallas. Todo esto se realiza con el fin de asegurar el buen funcionamiento del equipo, reducir el desgaste, extender la vida útil y optimizar el consumo de energía.

Este tipo de mantenimiento se realizan cada cierto tiempo definido. En este caso, para un sistema de aire acondicionado de un edificio de tipo oficinas con un uso diario, se recomienda realizar un servicio de mantenimiento preventivo cada tres meses. Esta es la periodicidad que se utilizará dentro de este análisis financiero, por lo que anualmente se realizarían un total de cuatro servicios de mantenimiento.

Para poder obtener el costo del servicio de mantenimiento preventivo se deben considerar todos los equipos de cada sistema. Con esto se puede obtener un costo aproximado de estos servicios. En el cuadro 4.18 se detallan los costos de servicio de mantenimiento preventivo para cada uno de los sistemas. Cabe recalcar que estos costos corresponden a la totalidad de servicios a realizar durante un año.

Cuadro 4.18: Costo de mantenimientos preventivos por tipo de sistema de aire acondicionado (Elaboración propia)

Tipo de Sistema	Costo Mantenimiento Preventivo
VRF	\$89 450,72
Chiller enfriado por aire Scroll	\$81 526,04
Chiller enfriado por agua Tornillo	\$78 124,08
Chiller enfriado por agua Scroll	\$87 243,08
Chiller enfriado por agua Tornillo	\$83 524,32

Los montos de este servicio varían según la cantidad de equipos y la complejidad de cada uno de ellos. Todos estos valores serán considerados dentro del análisis financiero para determinar cuál es la opción más viable de sistema de aire acondicionado, con base en las consideraciones y alcance de este proyecto.

4.4. Análisis financiero

El análisis financiero de este proyecto se basa en el estudio de flujo de caja de todos los ahorros asociados a la comparación de un edificio de oficinas, como el utilizado a lo largo de este análisis, modelado con dos tipos diferentes de sistema de aire acondicionado. Los costos que se tomaron en cuenta a lo largo de este análisis financiero son los de operación y costos de mantenimiento. Dentro de los costos de operación se consideraron los costos de energía eléctrica, considerando los ahorros del sistema fotovoltaico, los costos por emisiones de carbono y los costos asociados al suministro de agua para chillers enfriados por agua. Con este flujo de caja neto se determinará el balance acumulado asociado a una inversión inicial, que en este caso es el costo inicial de cada uno de los sistemas más el costo inicial de sistema fotovoltaico. Todos estos valores se basan en lo especificado en las secciones anteriores.

Todo este análisis se realiza a lo largo de un periodo que, en el caso específico de este proyecto, será de 20 años. Este periodo se seleccionó ya que es el tiempo promedio de vida útil de un sistema de agua helada con una correcta instalación y un mantenimiento preventivo adecuado.

Según los resultados de la sección 4.2, el chiller enfriado por aire tipo SCROLL es el que tiene un menor costo inicial. Con base en su inversión inicial, esta sería la opción más atractiva. Por otro lado, según la sección 3.5.3 y la sección 4.1.1.1, este chiller es el que tiene un mayor consumo energético, lo cual lo convierte en el que tiene mayor costo por energía eléctrica. Por estas razones es que el chiller enfriado por aire tipo SCROLL se toma como base para comparar los ahorros en costos operativos de implementar otras opciones de equipos más eficientes.

Como parte de este análisis, se determinará el balance acumulado de cada periodo anual para determinar el retorno de inversión en años, la tasa interna de retorno y el valor actual de la inversión. Para poder proyectar a futuro los costos de consumo de energía, de mantenimiento y de emisiones de carbono se utilizó la variación interanual de precios para el mes de setiembre de 2021, según el Banco Central de Costa Rica. Este valor es de 2.09 % de incremento anual para cada uno de esos valores.

Para el caso de los sistemas de agua helada, el periodo de 20 años de análisis no representa ningún inconveniente ya que este valor representa su vida útil promedio. En el caso del sistema

de flujo variable de refrigerante (VRF), la vida útil promedio para un sistema correctamente instalado y con un mantenimiento preventivo adecuado es de 10 años. Por esta razón, dentro del análisis financiero, se consideró un recambio de este sistema en el año 11, como una nueva inversión inicial. Esto afecta el balance acumulado drásticamente ya que representa una nueva inversión muy alta en un periodo muy corto.

En el cuadro 4.19 se presentan los resultados finales del análisis financiero donde se detallan los valores de retorno de inversión, la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual (VAN) de la inversión de cada uno de los sistemas de aire acondicionado con respecto al sistema chiller enfriado por aire tipo SCROLL. Los análisis financieros completos con los flujos de caja detallados se puede consultar en la sección de Anexos.

Cuadro 4.19: Resultados del análisis financiero (Elaboración propia)

Tipo de Sistema	Retorno (años)	TIR	VAN
VRF	No se recupera	-5,82 %	\$411 459,20
Chiller enfriado por aire Tornillo	13,26	4,76 %	\$1 036 341,92
Chiller enfriado por agua Scroll	19,24	0,43 %	\$810 197,78
Chiller enfriado por agua Tornillo	15,56	2,83 %	\$1 028 437,13

Según el cuadro 4.19, el sistema VRF no tiene un retorno de inversión dentro de los 20 años por el recambio generado a partir de su vida útil tan corta en comparación con la de un chiller. Eventualmente, una inversión de un sistema de este tipo no sería rentable ya que la inversión inicial nunca se pagaría por los constantes recambios que se generan. Por otro lado, en el caso de los sistemas de agua helada (chiller), si tienen un retorno de inversión dentro de este periodo de 20 años. En este caso, el chiller enfriado por aire tipo Tornillo es el que mejor retorno de inversión tiene, al igual que la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual de la inversión por lo que sería el sistema más viable desde el punto de vista financiero.

Si bien el cuadro 4.19 es concluyente en los resultados del análisis, si se omiten los costos operativos de consumo de agua en los chillers enfriados por agua, el panorama sería diferente. En ese caso, el chiller enfriado por agua tipo Tornillo sería el que tiene mejores resultados financieros, esto a causa de los ahorros a nivel de energía eléctrica. Esto indica que tan importante es el costo asociado al consumo de agua en un chiller de este tipo. Si se lograra encontrar una fuente de agua alternativa (agua de planta de tratamiento o agua de lluvia) se podrían bajar los costos de agua potable y así volver al proyecto más rentable financieramente.

Para el análisis de la certificación LEED[®] se seguirán considerando todos los sistemas de aire acondicionado para realizar un estudio completo de todas las opciones, a pesar de que ya se determinó cuáles no son rentables desde la perspectiva financiera y energética.

4.5. Impacto ambiental por refrigerante y desechos

Anteriormente se han analizado los costos operativos y costos iniciales de cada una de las opciones de aire acondicionado. Dentro de estas se han considerado diversos aspectos para poder realizar el análisis financiero. Además de los puntos detallados anteriormente, es importante analizar el posible impacto ambiental que podría llegar a tener la operación y los desechos de los equipos de aire acondicionado.

Tal y como se detalló en el capítulo de Marco Teórico, como parte del funcionamiento propio de los sistemas de aire acondicionado, se necesita un fluido refrigerante que transporte

el calor interno del espacio hacia el exterior. La diferencia entre un equipo de agua helada y un equipo de expansión directa es que el último utiliza un gas refrigerante especial que es el que viaja por el serpentín de la unidad interior, mientras que el sistema de agua helada utiliza agua para esta misma tarea. El problema con estos gases refrigerantes es que son muy contaminantes para el medio ambiente. Por ejemplo, el refrigerante R410, que es el que utiliza en los equipos que se tomaron de referencia para este análisis, tiene un potencial de calentamiento global (GWP por sus siglas en inglés) de 2088. Este valor corresponde a una medida que muestra como una determinada masa de un gas de efecto invernadero contribuye para el calentamiento global. El CO₂ es el gas de referencia para el cálculo, siendo que su GWP es 1 por estándar.

Específicamente en los equipos flujo variable de refrigerante (VRF) estas cargas de R410a son muy grandes para poder suplir a cada una de las unidades interiores conectadas a un mismo condensador. Por ejemplo, recordemos que para este análisis se seleccionaron un total de 23 sistemas tipo VRF y cada uno de ellos puede llegar a tener en promedio hasta 55 kg de R410, sin contemplar la carga de refrigerante adicional por distancia de tuberías. En total se podría llegar a tener aproximadamente 1 265 kg de gas refrigerante dentro de los equipos de aire acondicionado, en el caso específico del sistema VRF seleccionado para este edificio.

Por otro lado, un sistema de agua helada también utiliza refrigerante como parte de su funcionamiento normal pero es solamente para enfriar el agua que transporta el calor interno de cada espacio, por lo que la cantidad de refrigerante es mucho menor. Por ejemplo, de todos los chiller seleccionados como parte de este proyecto el que posee la mayor cantidad de refrigerante es el chiller enfriado por aire tipo TORNILLO ya que es el que posee mayor capacidad. Este chiller utiliza un total de 403 kg de refrigerante R134a. Este refrigerante posee un GWP menor al R410a ya que tiene un valor de 1430 lo que significa que es menos contaminante.

Con todo esto se puede ver el gran impacto ambiental que podría llegar a tener una fuga de refrigerante en cada uno de estos equipo. En este caso tendría un impacto mayor una fuga en un equipo VRF por la cantidad de refrigerante utilizado y por el valor de GWP que posee este refrigerante.

Por otro lado, como se mencionó anteriormente, la vida útil de un sistema de agua helada puede llegar a ser de 20 años con buenas prácticas de operación y de mantenimiento preventivo. En caso del sistema VRF puede llegar a tener una vida útil máxima de 10 años. Con esto se puede observar que el sistema VRF tendría un periodo de recambio mucho menor que un sistema de agua helada, es decir, se tendría que hacer una sustitución de equipos en un menor tiempo. A partir de esto, con un sistema VRF se generarían mayor cantidad de desechos que con un sistema de agua helada a partir de las sustituciones de equipos que habría que hacer en un mismo periodo de tiempo. Si bien algunos componentes son reciclables, muchos otros no lo son por lo que se tienen que disponer como desechos ordinarios. Por esta razón un sistema de agua helada podría llegar a tener un impacto ambiental menor desde el punto de vista de desechos.

Capítulo 5

Certificación LEED®

En el Capítulo 2, se desarrolló el concepto de la certificación LEED®. Esta es una certificación de edificios sostenibles y es una de las más populares a nivel mundial. Está dividida en diferentes categorías de créditos y prerrequisitos que se enfocan en diversos aspectos de diseño y construcción. En el caso de este proyecto, se estará analizando la categoría de Energía.

La categoría de Energía en la certificación LEED® toma en cuenta la energía desde una perspectiva holística, abordando la reducción del uso de energía, las estrategias de diseño de eficiencia energética y las fuentes de energía renovables. Cabe recalcar que esta es la categoría más importante de la certificación ya que es la que más aporta puntos a un proyecto. Dentro de esta categoría existe un prerrequisito y un crédito llamados Rendimiento de Energía, los cuales basan su análisis en la reducción de consumo energético del diseño propuesto del edificio, comparándolo con la línea base del estándar ASHRAE 90.1-2010 y con ello determinar un porcentaje de ahorro energético. A partir de este porcentaje se determina la cantidad de puntos que estará obteniendo el proyecto en la certificación específicamente en este crédito.

Este crédito de Rendimiento Energético es el más importante ya que es el que más aporta puntaje en la certificación. En un proyecto tipo BD+C (Diseño y Construcción de Edificios) de Nueva Construcción, que es el sistema de calificación para un edificio como el de este proyecto, se podría llegar a obtener un máximo de 18 puntos solamente en este crédito. Por esta razón es de suma importancia identificar opciones de eficiencia energética desde las etapas de diseño para poder obtener un puntaje alto en este crédito y así implementarlas en la etapa de construcción para tener un proyecto sostenible.

En este capítulo se estará desarrollando la línea base del estándar ASHRAE 90.1-2010 con cada una de sus características y requerimientos. Además, se estará ampliando el análisis de ahorros energéticos del prerrequisito y crédito de Rendimiento Energético para cada una de las opciones de aire acondicionado. Con esto se estaría terminando el análisis de factibilidad y se puede proceder a la recomendación final del sistema de aire acondicionado.

5.1. Línea Base ASHRAE 90.1-2010

El estándar ASHRAE 90.1-2010 proporciona los requisitos mínimos para el diseño de eficiencia energética de los edificios. Ofrece, en detalle, los requisitos mínimos de eficiencia energética para el diseño y construcción de nuevos edificios y sus sistemas. La línea base de este estándar es un modelo de referencia que incluye todos los requerimientos mínimos de un edificio energéticamente eficiente. Todos estos requerimientos se reúnen en el Apéndice G de

este estándar.

El objetivo de esta línea base es dar un punto de comparación de un modelo a partir de los requerimientos mínimo del estándar ASHRAE 90.1-2021 con respecto a un modelo realizado con base en el diseño real del proyecto. Para confeccionar esta línea base se toman en cuenta gran cantidad de variables de los siguientes sistemas del edificio:

- Envolverte
- Sistema de aire acondicionado
- Sistema de calentamiento de agua
- Sistemas eléctricos
- Sistema de iluminación

Con todos estos aspectos se modela la línea base cuyos resultados se compararan con el modelo real del proyecto. Cabe recalcar que los únicos aspectos que se cambian de un modelo real a la línea base son los mencionados anteriormente. Lo que es la volumetría del edificio se mantiene constante, es decir, los espacios, su distribución y sus dimensiones se mantienen constantes en ambos modelos.

Anteriormente, en el capítulo 3, se modeló el proyecto que se está tomando como base de este análisis con cada una de las propuesta de sistemas de aire acondicionado. Se definieron cuáles eran cada uno de los parámetros iniciales que se utilizaron en cada uno de estos modelos. Como se menciona, en este proyecto la volumetría se mantendrá constante con respecto a los planos detallados en las figuras 3.31, 3.32 y 3.33.

Por otro lado, los demás parámetros iniciales se modifican para que cumplan con los requerimientos del Apéndice G del estándar ASHRAE 90.1-2010. A continuación se detallan cuales son los cambios generados en lo mismos parámetros especificados en la Sección 3.5.1.

- Datos climatológicos: se mantiene la misma ubicación de los modelos anteriores, es decir, el Aeropuerto Juan Santamaría. Se utilizan los datos climatológicos de esta ubicación.
- Tarifas eléctricas: igualmente este parámetro se mantiene constante con respecto a los modelos anteriores. Se utiliza la misma tarifa eléctrica de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, específicamente para el mes de Mayo de 2021.
- Tipo de edificio: se mantiene constante ya que es el mismo tipo de proyecto.
- Volumetría: tal y como se menciona anteriormente, los espacios del proyecto se mantienen igual en todos los modelos.
- Materiales de envolverte: los materiales de la línea base se cambian para que cumplan con los requerimientos del Apéndice G y de la sección 5 del estándar ASHRAE 90.1-2010. El estándar no menciona materiales en específico pero si se debe cumplir con características térmicas de cada sección del envolverte dependiendo de la ubicación del proyecto y de la zona climática. En el caso específico de este proyecto se debe cumplir con las especificaciones del cuadro 5.1

Cuadro 5.1: Materiales de envolvente de la línea base del estándar ASHRAE 90.1-2010 (Elaboración propia)

Sección de envolvente	Valor U (BTU/(h ft ² °F))	Valor SHGC
Azotea	0.048	—
Paredes	0.124	—
Pisos	0.052	—
Vidrio	0.700	0.25

Como se observa en el cuadro anterior, cada sección del envolvente debe cumplir con un valor U específico y valor SHGC. El valor U se refiere a la transmitancia térmica la cual es la cantidad de calor por unidad de tiempo y área que pasa por un material. También se tiene el valor SHGC el cual se refiere a la fracción de radiación solar incidente admitida a través de un vidrio, tanto transmitida directamente como absorbida y posteriormente liberada hacia el interior. Tal y como se detalla, este valor es específico de un vidrio por esta razón no se solicita para los demás materiales.

Cada uno de esos valores se deben cumplir para cada material del envolvente. La combinación de materiales para lograr el valor de transmitancia térmica no es relevante para el software de modelado energético ya que él utiliza el valor total del ensamble para realizar el análisis. Mientras que el valor U total sea el requerido, el modelo cumplirá con la línea base. Con respecto al vidrio, los valores de transmitancia térmica y SHGC se ingresan directamente al software por lo que no se debe realizar ninguna combinación de secciones de vidrio.

- Tipo de espacio: el tipo de cada espacio se mantiene igual que los modelos anteriores.
- Cargas misceláneas: la línea base lo único que solicita es que los valores de cargas misceláneas se mantenga constante en la línea base. Para poder cumplir se utiliza el mismo supuesto de los modelos anteriores que fue utilizar el criterio del manual de usuario del estándar ASHRAE 90.1-2010 con un valor de 0.75 W/ft^2 .
- Cargas iluminación: en el caso de los modelos de los diferentes tipos de sistema de aire acondicionado, no se tenía un diseño definido de iluminación ya que esto está fuera del alcance de este proyecto. Por esta razón se toman los valores de densidad de carga de iluminación de la tabla 9.5.1 del estándar ASHRAE 90.1-2010. Para el caso de la línea base, se deben utilizar estos mismos valores por lo que, para este análisis, todos los modelos tienen la misma carga de iluminación.
- Aire acondicionado: este parámetro de la línea base es el que más cambia con respecto a los modelos de los diversos tipos de sistema de aire acondicionado. El Apéndice G del estándar ASHRAE 90.1-2010 define un tipo de sistema de aire acondicionado para la línea base dependiendo del área del proyecto y de las cantidad de pisos acondicionados. En el caso del edificio seleccionado, un sistema de agua helada es el que se debe modelar. El cuadro 5.2 resume las principales características del sistema de la línea base:

Cuadro 5.2: Sistema de aire acondicionado de la línea base del estándar ASHRAE 90.1-2010 (Elaboración propia)

Tipo de Enfriamiento	Chillers enfriado por agua con torre de enfriamiento
Tipo de Calefacción	Resistencia Eléctrica
Eficiencias	Según cuadro 6.8.1 del ASHRAE 90.1-2010
Cantidad de Sistemas	Uno por nivel del edificio
Control de ventiladores	Volumen de Aire Variable

Con estos parámetros iniciales se conforma el modelo de la línea base correspondiente al estándar ASHRAE 90.1-2010. La siguiente figura es una muestra tridimensional del modelo realizado en el software eQUEST.

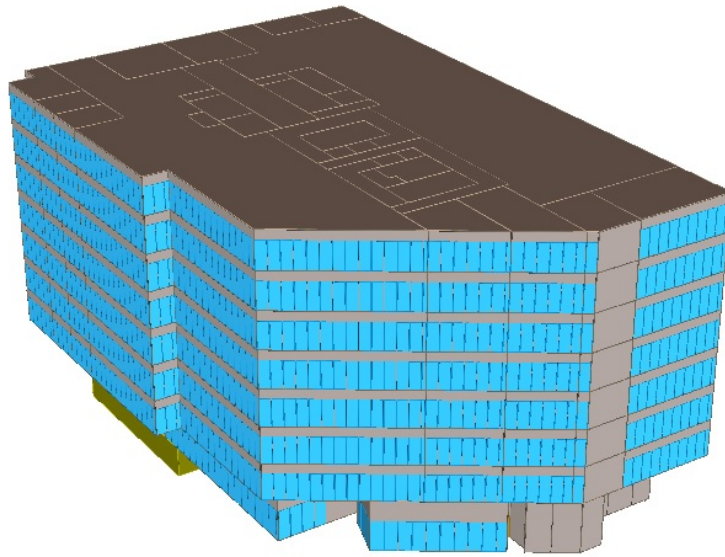


Figura 5.1: Modelo energético de la línea base del estándar ASHRAE 90.1-2010 (Elaboración propia)

Si se compara el modelo anterior con el modelo final de la figura 3.35 se ve que la volumetría es exactamente la misma. Eso es congruente con los requerimientos dados por el Apéndice G del estándar ASHRAE 90.1-2010. Los demás parámetros se cargan directamente en el software eQUEST para cumplir con todos los requerimientos.

Una vez realizado el modelo se realizará la simulación respectiva para ver su comportamiento energético. Los resultados se resumen en el cuadro 5.3.

Cuadro 5.3: Resultado del modelo base del estándar ASHRAE 90.1-2010 (Elaboración propia)

Modelo	Consumo Energía (kWh/año)	Costos Energía (\$/año)	Huella carbono (tCO₂)
Línea Base	2,000,914	\$372,391	376,14

En este cuadro se resumen el consumo energético anual, los costos de energía del modelo base del estándar ASHRAE 90.1-2010 y la huella de carbono con base en el consumo energético. Para calcular esta huella de carbono se utilizó el procedimiento desarrollado en la sección 4.1.2. Tal y como se observa, el consumo energético es mayor que cualquiera de los modelos realizados anteriormente por lo que cualquier tipo de sistema de aire acondicionado tendría un ahorro con respecto al modelo base. En la siguiente sección se realizará un análisis más a fondo de todos los modelos según lo solicitado por la certificación LEED®. Con esto se podrá brindar una recomendación de cuál es el modelo que más aporta a esta certificación.

5.2. Rendimiento Energético Mínimo

El prerrequisito y crédito de Rendimiento Energético son los más importantes ya que son los que más puntaje brindan para la certificación LEED®. Según lo detallado en la sección 2.2.5 los puntajes de este crédito se asignan a partir del porcentaje de ahorro en energía. Este ahorro surge a partir de la comparación entre la línea base de ASHRAE 90.1-2010, detallado en la sección 5.1, y el modelo energético del proyecto a analizar. Para este análisis los modelos corresponde a los realizados para cada uno de los sistemas de aire acondicionado.

Para el cumplimiento del prerrequisito se debe contar con un porcentaje mínimo de ahorro que varía dependiendo del sistema de valoración del proyecto. En el caso de un proyecto tipo BD+C “New Construction”, que es el que se tiene en este análisis, se debe contar con al menos un 6 % de ahorro con respecto a la línea base para poder ganar el prerrequisito. A partir de ese momento ya se pueden ganar puntos en el crédito dependiendo porcentaje de ahorro. Es importante mencionar que estos ahorros se basan en los costos de energía, no en el consumo.

Para los resultados de los modelos energéticos de cada sistema de aire acondicionado, se toman los detallados en la sección 4.1.1.2. Para ello, estos resultados se resumen en el cuadro 5.4. Cabe recalcar que se consideran los resultados incluyendo los ahorros del sistema fotovoltaico en cada modelo para definir cuál es el ahorro máximo que se puede llegar a obtener.

Cuadro 5.4: Resultados de modelado energético para sistemas de aire acondicionado (Elaboración propia)

Modelo	Costos energía (\$/año)
VRF	\$295 649,00
Chiller enfriado por aire tipo TORNILLO	\$312 574,00
Chiller enfriado por aire tipo SCROLL	\$385 498,00
Chiller enfriado por agua tipo TORNILLO	\$278 841,00
Chiller enfriado por agua tipo SCROLL	\$296 306,00

Comparando los resultados del cuadro 5.4 con los del cuadro 5.3, se puede determinar cuánto es el ahorro de cada uno de los sistemas de aire acondicionado con referencia a la línea base de ASHRAE. Estos ahorros se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro 5.5: Ahorros de cada modelo energético en comparación con la línea base de ASHRAE (Elaboración propia)

Modelo	Ahorros
VRF	%20,61
Chiller enfriado por aire tipo TORNILLO	%16,06
Chiller enfriado por aire tipo SCROLL	%-3,52
Chiller enfriado por agua tipo TORNILLO	%25,12
Chiller enfriado por agua tipo SCROLL	%20,43

Ahora, con base en los resultados del cuadro 5.5, se puede determinar el puntaje obtenido para la certificación LEED®. Para esto, se debe consultar la Guía de Referencia de esta certificación en su versión 4 para un proyecto tipo BD+C. El cuadro de asignación de puntos se presenta en la siguiente imagen:

New Construction	Major Renovation	Core and Shell	Points (except Schools, Healthcare)	Points (Healthcare)	Points (Schools)
6%	4%	3%	1	3	1
8%	6%	5%	2	4	2
10%	8%	7%	3	5	3
12%	10%	9%	4	6	4
14%	12%	11%	5	7	5
16%	14%	13%	6	8	6
18%	16%	15%	7	9	7
20%	18%	17%	8	10	8
22%	20%	19%	9	11	9
24%	22%	21%	10	12	10
26%	24%	23%	11	13	11
29%	27%	26%	12	14	12
32%	30%	29%	13	15	13
35%	33%	32%	14	16	14
38%	36%	35%	15	17	15
42%	40%	39%	16	18	16
46%	44%	43%	17	19	-
50%	48%	47%	18	20	-

Figura 5.2: Cuadro de asignación de puntajes para ahorros en costos de energía para el crédito de Rendimiento Energético para la certificación LEED® v4 (U.S. Green Building Council, 2013)

En este cuadro para asignación de puntajes aparecen todos los tipos de proyecto que pueden optar por una certificación de este tipo. Para el caso de este análisis se estará enfocando en los porcentajes de ahorro de la columna 1 “New Construction” y los puntos asignados de la columna 4 “Points (except Schools, Healthcare)”. Con base en esta figura y los resultados del cuadro 5.5, se puede determinar los puntos de cada uno de los modelos energéticos. Estos puntos se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro 5.6: Puntaje obtenido en el crédito de Rendimiento Energético con base en ahorros de costos de energía (Elaboración propia)

Modelo	Puntaje
VRF	8
Chiller enfriado por aire tipo TORNILLO	6
Chiller enfriado por aire tipo SCROLL	No cumple
Chiller enfriado por agua tipo TORNILLO	10
Chiller enfriado por agua tipo SCROLL	8

Del cuadro anterior, se puede observar que el modelo que más puntos obtiene es el que incluye el sistema de aire acondicionado tipo chiller enfriado por agua TORNILLO. Esto es congruente con el consumo de energía ya que es el que mejor rendimiento energético tiene de todos los sistemas. Por otro lado, el sistema tipo chiller enfriado por aire tipo SCROLL no tiene un puntaje asignado ya que este cuenta con costos mayores a los de la línea base de ASHRAE. Esta es una situación peculiar ya que, en un caso de este tipo, ni siquiera se estaría cumpliendo con el prerrequisito por lo que se tendría replantear el diseño de sistema de aire acondicionado para considerar por un sistema más eficiente.

Además del ahorro en costos de energía, LEED® evalúa la reducción en la huella de carbono. Según lo indicado en la sección 2.2.5, esta evaluación se realiza solamente en la versión 4.1 de esta certificación. Para ello, se utilizan los resultados de la sección 4.1.2, que resumen las emisiones de carbonos de cada uno de los sistemas de aire acondicionado, y los resultados de la sección 5.1, que considera la huella de un modelo de línea base de ASHRAE. Estos resultados se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro 5.7: Resultados de emisiones de carbono generales (Elaboración propia)

Tipo de Sistema	Emisiones CO2 (tCO2/año)
Línea Base	376,14
VRF	295,69
Chiller enfriado por aire tipo Scroll	360,15
Chiller enfriado por aire tipo Tornillo	312,62
Chiller enfriado por agua tipo Scroll	286,82
Chiller enfriado por agua tipo Tornillo	276,10

A partir de estos resultados, se obtiene un porcentaje de reducción de la huella de carbono. Estos porcentajes se detallan a continuación:

Cuadro 5.8: Ahorros de cada modelo energético en comparación con la línea base de ASHRAE (Elaboración propia)

Modelo	Ahorros
VRF	%21,39
Chiller enfriado por aire tipo TORNILLO	%16,89
Chiller enfriado por aire tipo SCROLL	%4,52
Chiller enfriado por agua tipo TORNILLO	%26,60
Chiller enfriado por agua tipo SCROLL	%23,75

De la misma manera que con la asignación de puntaje de ahorros de energía, existe un cuadro en la Guía de Referencia de la certificación LEED® que detalla los puntos dependiendo de la reducción de huella de carbono. Este cuadro se presenta en la siguiente imagen:

New Construction	Healthcare, Major Renovation, CS,	Points BD+C (except Schools, Healthcare)*	Points Healthcare	Points Schools
5%	2%	1	1	1
10%	5%	2	2	2
16%	10%	3	3	3
24%	16%	4	4	4
32%	24%	5	5	5
40%	32%	6	6	6
50%	40%	7	7	7
65%	50%	8	8	
80%	65%	9	9	8

Figura 5.3: Cuadro de asignación de puntajes de disminución de huella de carbono para el crédito de Rendimiento Energético para la certificación LEED® v4.1 (U.S. Green Building Council, 2021)

En el cuadro de la figura anterior aparecen todos los tipos de proyecto que pueden optar por una certificación de este tipo. Para el caso de este análisis se estará enfocando en los porcentajes de reducción de huella de carbono de la columna 1 “New Construction” y los puntos asignados de la columna 4 “Points (except Schools, Healthcare)”.

Ahora, con base a la asignación de puntos de la figura 5.3 y los resultados del cuadro 5.8, se puede definir el puntaje asignado a cada uno de los modelos. Para esto se realiza el cuadro 5.9 para detallar los puntos en cada modelo.

Cuadro 5.9: Puntaje obtenido en el crédito de Rendimiento Energético con base en disminución de huella de carbono (Elaboración propia)

Modelo	Puntaje
VRF	3
Chiller enfriado por aire tipo TORNILLO	3
Chiller enfriado por aire tipo SCROLL	No obtiene puntos
Chiller enfriado por agua tipo TORNILLO	4
Chiller enfriado por agua tipo SCROLL	3

Del cuadro anterior se observa que los resultados son congruentes con las emisiones de carbono de cada modelo. Las escalas de asignación de puntos en este caso son mayores por lo que la mayoría de modelos tienen solamente 3 puntos pero, en el caso del chiller enfriado por aire tipo SCROLL, sigue sin estar cumpliendo los requerimientos del prerrequisito de Rendimiento Energético por lo que este sistema queda completamente descartado. Asimismo, el chiller enfriado por agua tipo TORNILLO sigue siendo la opción más viable energéticamente.

Para resumir el puntaje total que obtendría cada modelo en este crédito de la certificación LEED®, se realiza el siguiente cuadro:

Cuadro 5.10: Puntaje total obtenido en el crédito de Rendimiento Energético
(Elaboración propia)

Modelo	Puntaje
VRF	11
Chiller enfriado por aire tipo TORNILLO	9
Chiller enfriado por aire tipo SCROLL	No obtiene puntos
Chiller enfriado por agua tipo TORNILLO	14
Chiller enfriado por agua tipo SCROLL	11

Los resultados para el análisis de la certificación LEED® son concluyentes. El rendimiento del chiller enfriado por aire tipo SCROLL es muy bajo por lo que ni siquiera alcanza a cumplir con los consumos y costos de la línea base de ASHRAE. Según este análisis, el sistema VRF y el chiller enfriado por agua tipo SCROLL tiene un rendimiento muy similar, por esta razón tiene un puntaje igual. Finalmente, el chiller enfriado por agua tipo TORNILLO sería el que tiene un puntaje mayor al de todos, ratificando así el buen rendimiento energético que tiene. Desde el punto de vista de LEED®, esta última opción sería la que se debería de escoger en caso de requerir alternativas sostenibles para un sistema de aire acondicionado.

Capítulo 6

Conclusiones

A partir del análisis realizado en este proyecto se determinó el sistema de aire acondicionado que mejor rendimiento energético tiene con base en todas las opciones estudiadas. Los resultados que se obtuvieron arrojaron aspectos interesantes que se deben analizar.

La ubicación del proyecto fue el punto inicial de este estudio. Definirla fue sumamente importante para así buscar los archivos meteorológicos para el modelo energético que mejor reflejaran las condiciones reales de ese lugar. A lo largo del proceso, se estudiaron diferentes proyectos que sentaron las bases de este análisis. Se estudiaron sus ubicaciones para ver cuál es la principal región de construcción y con eso poder elegir un archivo climatológico cercano a esta ubicación que cumplieran con el formato digital requerido por el software de modelado energético. La ubicación seleccionada es el del Aeropuerto Juan Santamaría localizado en Alajuela, Costa Rica, que si bien no es el área donde más se construyen este tipo de edificios, pero es cercana y cuenta con datos muy precisos por ser un aeropuerto internacional, lo cual beneficia a la exactitud del modelo energético.

Dentro de las estadísticas del departamento de Sostenibilidad de Johnson Controls, se tenían varios proyectos por lo que era de suma importancia detallar muy bien el tipo de construcción y así tipificar el edificio a analizar. Se determinó que el concreto y el vidrio insulado de dos capas eran los materiales más utilizados y que podemos ver muy a menudo en edificios de este tipo. Por otro lado, el tamaño y su forma eran un aspecto muy importantes por lo que se eligió un edificio de 8 pisos donde se detalló el primero nivel como comercio y los demás niveles como oficinas.

Por otro lado, mediante el análisis realizado, se pudo determinar que el sistema de aire acondicionado con mejor rendimiento energético es el chiller enfriado por agua tipo Tornillo con un consumo anual de 1,52 MWh, seguido del chiller enfriado por agua tipo Scroll con 1,47 MWh y del flujo variable de refrigerante (VRF) con 1,58 MWh. Las características de estos sistemas y sus altas eficiencias propician que los consumos de energía sean menores en comparación con otros. Este punto fue ratificado a la hora de analizar los costos por energía eléctrica, los cuales eran congruentes con estos resultados.

Recordemos que la sostenibilidad es el eje principal de este proyecto por lo cual, no solamente se quería analizar el sistema de aire acondicionado, sino también incluir los ahorros generados a partir de un sistema fotovoltaico. Este sistema conlleva a ahorros de más de \$24,000 anuales de energía eléctrica por lo que es de suma importancia incluirlos dentro del análisis general. Esta medida en conjunto con un sistema de aire acondicionado eficiente son medidas de construcción sostenible que buscan la eficiencia energética y la utilización de energías renovables, que es la parte principal que busca fomentar este proyecto.

A partir del análisis financiero es donde la situación cambió un poco debido a que el sistema chiller enfriado por agua tipo Tornillo no era la opción más rentable en comparación con el chiller enfriado por aire tipo Tornillo. Por ejemplo, el chiller enfriado por agua tipo Tornillo tiene un retorno de inversión de 15,56 años mientras que la inversión realizada por su equivalente enfriado por aire se retorna en 13,26 años. Este comportamiento se genera principalmente por el consumo de agua propio del funcionamiento de los chillers enfriado por agua. En este caso, a pesar de los altos ahorros de energía del chiller enfriado por agua, no se compensa los costos por consumo de agua. Por esta razón, desde el punto de vista financiero, el sistema más rentable es el chiller enfriado por aire tipo Tornillo.

Recordemos que para este análisis financiero se considera la inversión inicial y los costos operativos de cada sistema, tomando en cuenta el costo por energía eléctrica, costos de mantenimiento, costos de consumo de agua, en los casos que aplique, y costos por emisiones de carbono. Este último es importante ya que es un costo que se aplica por cada tonelada de carbono que se produce con base en el consumo de energía y en un proyecto de este tipo puede llegar a ser en promedio de aproximadamente de \$21,000. En este momento Costa Rica no posee un cobro por este rubro, de hecho estos valores se toman con base en datos de gobiernos europeos donde si se aplica este cargo. El fin de incluir este costo es para reflejar, por medio de costos financieros, el impacto que puede llegar a tener un consumo elevado de energía. Esto es una medida que puede llegar a impulsarse dentro de nuestro país para así fomentar medidas sostenibles para disminuir el consumo energético y así, no solo reducir los costos de energía, sino también los costos por emisiones de carbono.

A partir de este punto es donde se debe decidir si el aspecto energético o el financiero es más importante. Cabe recalcar nuevamente que el eje central de este proyecto es la sostenibilidad y por esa razón el objetivo principal se centraba en proponer un sistema de aire acondicionado energéticamente eficiente. Con base en este objetivo, la recomendación final del sistema de aire acondicionado es el **chiller enfriado por agua tipo Tornillo**. Si bien es cierto que este sistema tiene un alto consumo de agua y decae sus valores financieros, se pueden proponer medidas para sustituir el consumo de agua potable por recursos alternativos tales como plantas de tratamiento o agua de lluvia. Estas alternativas generarían costos iniciales adicionales pero que pueden ser sopesadas a partir de los ahorros en energía eléctrica y la disminución de la huella de carbono. Además, todas estas medidas sostenibles, vuelven a un edificio muy atractivo para desarrolladores e inquilinos lo cual aseguraría una buena inversión.

Otra razón importante para la selección de este sistema es el aspecto del impacto ambiental que se podría llegar a tener por el refrigerante contenido en el equipo. Tal y como se detalla anteriormente en este análisis, un chiller posee menor cantidad de refrigerante que un sistema VRF por lo que posee menor riesgo a nivel de contaminación ambiental por fugas de refrigerante. Por otro lado, al tener una vida útil mayor que un sistema VRF y que un chiller enfriado por aire se generan menor cantidad de desechos a partir de la sustitución de equipos.

Para ratificar esta selección, el chiller enfriado por agua tipo Tornillo fue el que mejor puntaje obtuvo en la certificación LEED® en comparación con los demás sistemas de aire acondicionado obteniendo un total de 14 puntos con solo el ahorro generado por este sistema en comparación con la línea base del ASHRAE 90.1-2010. Esto demuestra el buen rendimiento energético que tiene, promoviendo así una reducción en la huella de carbono y generando ahorros en costos de energía.

Más allá de todo este análisis realizado, el fin de este proyecto es la promoción de prácticas sostenibles en las edificaciones de nuestro país. El mundo está viviendo una crisis climática desde hace muchos años, que lejos de mejorar, más bien tiende a empeorar día con día. Por

esta razón el desarrollo humano está obligado a ir de la mano con métodos sostenibles y así poder reducir el impacto que tiene la construcción y operación de este tipo de edificios en el medio ambiente. Certificaciones como LEED® son herramientas muy útiles para fomentar este tipo de prácticas pero no es el único medio. A este punto, este tipo de herramientas y medidas sostenibles se deben de considerar como parte esencial de la construcción y no catalogarse como un “lujo”.

Referencias

- American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. (s.f.) *Standard 90.1 Document History*. Descargado de <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1-document-history>
- American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. (2010). *Standard 90.1-2010: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta: ASHRAE Standing Standard Project Committee 90.1.
- American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. (2019). *Advanced Energy Design Guide*. Descargado de <https://www.ashrae.org/technical-resources/aedgs>
- Angel, L. (2020). *HVAC Design Sourcebook*. McGraw-Hill Education. Descargado de <https://www-accessengineeringlibrary-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/content/book/9781260457247>
- Attmann, O. (2010). *Green Architecture: Advanced Technologies and Materials*. McGraw-Hill Education. Descargado de <https://www-accessengineeringlibrary-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/content/book/9780071625012>
- Bautista, D. (2018). Revista HVAC&R. *Modelado energético, herramienta que impulsa la sustentabilidad*. Descargado de <https://www.mundohvacr.com.mx/2020/06/modelado-energetico-herramienta-que-impulsa-la-sustentabilidad/>
- Bell, A., y Angel, L. (2016). *HVAC Equations, Data, and Rules of Thumb*. McGraw-Hill Education. Descargado de <https://www-accessengineeringlibrary-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/content/book/9780071829595>
- Calor y Frío. (2019). *Cómo funciona el aire acondicionado*. [Video]. Descargado de <https://www.youtube.com/watch?v=HXytTqPLKCs>
- Carrier. (s.f.). *Hourly Analysis Program (HAP)*. Descargado de <https://www.carrier.com/commercial/en/us/software/hvac-system-design/hourly-analysis-program/>
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (2018). *Estadísticas de la construcción*. Descargado de <https://cfia.or.cr/descargas2019/informes/estadisticas2018.pdf>
- Compañía Nacional de Fuerza y Luz. (2020). *Guía de eficiencia energética para oficinas*. Descargado de https://www.cnfl.go.cr/documentos/eficiencia/guia{_}eficiencia{_}oficinas.pdf
- Compañía Nacional de Fuerza y Luz. (2021). *Tarifas Eléctricas*. Descargado de https://www.cnfl.go.cr/documentos/transparencia/consolidado_tarifas.pdf
- Conforempresarial. (s.f.). *Partes de un Chiller*. Descargado de <https://www.confopresarial.com/partes-de-un-chiller/>
- Departamento de Energía. (s.f.). EnergyPlus. Descargado de <https://www.energy.gov/eere/buildings/downloads/energyplus-0>

- Energy Models. (s.f.-a). *Equest*. Descargado de <http://energy-models.com/software/equest>
- Energy Models. (s.f.-b). *What is Energy Modeling & Building Simulation*. Descargado de <http://energy-models.com/what-is-energy-modeling-building-simulation>
- Fernandez, Á. (2016). *Sistemas VRF, ¿cómo funciona?, ¿qué es?* Descargado de <https://www.linkedin.com/pulse/sistemas-vrf-la-climatizaci\u00f3n-eficiente-para-y-fernandez-parra-3k-/>
- Frohman, A., y Olmos, X. (2013). Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe*. Descargado de <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/41016/S2013998rev1.pdf>
- Gómez, C. (2018). *El Desarrollo Sostenible: Conceptos básicos, alcance y criterios para su evaluación*. Organización de las Naciones Unidas. Descargado de <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Havana/pdf/Cap3.pdf>
- Goodman, A., y Hastak, M. (2015). *Infrastructure Planning, Engineering, and Economics, Second Edition*. McGraw-Hill Education. Descargado de <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071850131>
- Gudiño, R. (2019, mar). *Seis retos amenazan la sostenibilidad ambiental de Costa Rica*. Descargado de <https://www.larepublica.net/noticia/seis-retos-amenazan-la-sostenibilidad-ambiental-de-costa-rica>
- Haselbach, L. (2008). *Engineering Guide to LEED - New Construction: Sustainable Construction for Engineers*. McGraw-Hill Education. Descargado de <https://www-accessengineeringlibrary-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/content/book/9780071489935>
- Hisour. (s.f.). *Sostenibilidad Social*. Descargado de <https://www.hisour.com/es/social-sustainability-39356/>
- Instituto Costarricense de Electricidad. (2018). *Proyecciones de la demanda eléctrica de Costa Rica*. Descargado de <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/741c8397-09f0-4109-a444-bed598cb7440/PROYECCION+DE+LA+DEMANDA+ELECTRICA+2018-2040.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mr11cAQ>
- Klemes, J. (2011). *Sustainability in the Process Industry: Integration and Optimization*. Estados Unidos: Mc-Graw Hill. Descargado de <https://www-accessengineeringlibrary-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/content/book/9780071605540>
- Landoni, M. (s.f.). *Sustentabilidad*. Descargado de <https://nomadesustentable.com/que-es-la-sustentabilidad-o-sostenibilidad/>
- Mahamid, M. (2020). Chapter 9. Sustainability Related to CLT. En *Cross-laminated timber design: Structural properties, standards, and safety*. McGraw-Hill Education. Descargado de <https://www-accessengineeringlibrary-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/content/book/9781260117998/toc-chapter/chapter9/section/section3>
- McCarty, T., Jordan, M., y Probst, D. (2011). *Six Sigma for Sustainability: How Organizations Design and Deploy Winning Environmental Programs*. McGraw-Hill Education. Descargado de <https://www-accessengineeringlibrary-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/content/book/9780071752442>
- Megan, R. (2016). *Looking Back: LEED History*. Descargado de <https://sigearth.com/leed-history/>
- Pérez, J. V. (2018). *Diseño Mecánico de un Sistema de Agua Helada para Acondicionamiento del Ambiente de la Ciudad Interactiva Kidzania*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

- Ramírez, J. (s.f.). *Cómo funciona un aire acondicionado*. Descargado de <https://como-funciona.co/un-aire-acondicionado/>
- Ramírez, O. (2019). *Modelado eQUEST para LEED*. San José: Departamento de Sostenibilidad de Circuito.
- Revitaliza Consultores. (2018). *¿Qué es el Modelado Energético?* Descargado de <http://revitalizaconsultores.com/blog/2018/07/11/modelado-energetico/>
- Soler & Palau. (2017). *HVAC ¿Qué es?* Descargado de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/hvac-que-es/>
- Trane. (s.f.). *TRACE 700*. Descargado de <https://www.trane.com/commercial/north-america/us/en/products-systems/design-and-analysis-tools/trace-700.html>
- U.S. Green Building Council. (s.f.). *Green Building and LEED Core Concepts*. U.S. Green Building Council.
- U.S. Green Building Council. (2013). *Reference Guide BD+C*. Washington DC: U.S. Green Building Council.
- U.S. Green Building Council. (2020). *Leed: Rating System*. Descargado de <https://www.usgbc.org/leed>
- U.S. Green Building Council. (2021). *Reference Guide BD+C v4.1*. Washington DC: U.S. Green Building Council.
- Vega, L. (s.f.). Mundo HVAC. *Tipos de compresores de aire acondicionado*. Descargado de http://www.aire-acondicionado.com.es/tipos-de-compresores_de_aire_acondicionado/
- Villanueva, S. (2015). Entendiendo LEED v4. México. Descargado de <https://www.usgbc.org/education/sessions/entendiendo-leed-v4-6856069>
- Wang, S. (2001). *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. McGraw-Hill Education. Descargado de <https://www-accessengineeringlibrary-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/content/book/9780070681675>
- York. (s.f.-a). *Chilled Water Systems*. Descargado de <https://www.york.com/commercial-equipment/chilled-water-systems>
- York. (s.f.-b). VRF Systems. Descargado de <https://www.york.com/Commercial-Equipment/Ductless-and-VRF-Systems/VRF-HVAC-Systems>
- Yu, X. (2016). *A Comparative Study on Energy Performance of Variable Refrigerant Flow Systems and Variable Air Volume Systems in Office Buildings*. Lawrence Berkley National Laboratory.

Anexos

Anexo 1. Selección de equipos tipo VRF

UE-N6-19	L2 Open Office	1	1271.0	259.0	23.0	16.3	42.2	36.7	20.0	59.6	208-230/1	4.300	3.400	YIDM048B22S	York
UE-N6-20	L2 Reuniones 1	1	512.0	157.0	23.0	16.3	13.2	11.4	20.0	18.6	208-230/1	1.800	1.400	YIDM015B22S	York
UE-N6-21	L2 Reuniones 2	1	759.0	190.0	23.0	16.3	21.1	18.2	20.0	29.8	208-230/1	2.200	1.700	YIDM024B22S	York
UE-N7-1	L1 Oficina 1	1	512.0	60.0	23.0	16.3	12.9	11.0	20.0	18.3	208-230/1	0.290	0.230	YIDS015B21S	York
UE-N7-2	L1 Oficina 2	1	512.0	60.0	23.0	16.3	12.9	11.0	20.0	18.3	208-230/1	0.290	0.230	YIDS015B21S	York
UE-N7-3	L1 Comedor	1	1271.0	259.0	23.0	16.3	41.5	36.1	20.0	58.7	208-230/1	4.300	3.400	YIDM048B22S	York
UE-N7-4	L1 Oficina Principal	1	512.0	157.0	23.0	16.3	12.9	11.2	20.0	18.3	208-230/1	1.800	1.400	YIDM015B22S	York
UE-N7-5	L1 Open Office	1	1271.0	259.0	23.0	16.3	46.6	40.6	20.0	66.0	208-230/1	4.300	3.400	YIDM054B22S	York
UE-N7-6	L1 Open Office	1	1271.0	259.0	23.0	16.3	46.6	40.6	20.0	66.0	208-230/1	4.300	3.400	YIDM054B22S	York
UE-N7-7	L1 Open Office	1	1271.0	259.0	23.0	16.3	46.6	40.6	20.0	66.0	208-230/1	4.300	3.400	YIDM054B22S	York
UE-N7-8	L1 Open Office	1	1271.0	259.0	23.0	16.3	46.6	40.6	20.0	66.0	208-230/1	4.300	3.400	YIDM054B22S	York
UE-N7-9	L1 Sala Reuniones	1	759.0	190.0	23.0	16.3	23.3	20.1	20.0	33.0	208-230/1	2.200	1.700	YIDM027B22S	York
UE-N7-10	L2 Oficina 1	1	583.0	60.0	23.0	16.3	15.8	13.4	20.0	22.3	208-230/1	0.290	0.230	YIDS018B21S	York
UE-N7-11	L2 Oficina 2	1	512.0	60.0	23.0	16.3	13.2	11.2	20.0	18.6	208-230/1	0.290	0.230	YIDS015B21S	York
UE-N7-12	L2 Comedor	1	1183.0	259.0	23.0	16.3	31.7	27.5	20.0	44.7	208-230/1	3.800	3.000	YIDM036B22S	York
UE-N7-13	L2 Oficina Principal	1	1183.0	259.0	23.0	16.3	31.7	27.5	20.0	44.7	208-230/1	3.800	3.000	YIDM036B22S	York
UE-N7-14	L2 Open Office	1	1271.0	259.0	23.0	16.3	42.2	36.7	20.0	59.6	208-230/1	4.300	3.400	YIDM048B22S	York
UE-N7-15	L2 Open Office	1	1271.0	259.0	23.0	16.3	42.2	36.7	20.0	59.6	208-230/1	4.300	3.400	YIDM048B22S	York
UE-N7-16	L2 Open Office	1	1271.0	259.0	23.0	16.3	42.2	36.7	20.0	59.6	208-230/1	4.300	3.400	YIDM048B22S	York
UE-N7-17	L2 Open Office	1	1271.0	259.0	23.0	16.3	42.2	36.7	20.0	59.6	208-230/1	4.300	3.400	YIDM048B22S	York
UE-N7-18	L2 Open Office	1	1271.0	259.0	23.0	16.3	42.2	36.7	20.0	59.6	208-230/1	4.300	3.400	YIDM048B22S	York
UE-N7-19	L2 Open Office	1	1271.0	259.0	23.0	16.3	42.2	36.7	20.0	59.6	208-230/1	4.300	3.400	YIDM048B22S	York
UE-N7-20	L2 Reuniones 1	1	512.0	157.0	23.0	16.3	13.2	11.4	20.0	18.6	208-230/1	1.800	1.400	YIDM015B22S	York
UE-N7-21	L2 Reuniones 2	1	759.0	190.0	23.0	16.3	21.1	18.2	20.0	29.8	208-230/1	2.200	1.700	YIDM024B22S	York

VRF OUTDOOR UNITS SCHEDULE

Tag #	Qty	Cooling			Heating			Refrigerant				Connection Ratio	Model Number	Number of Modules	Electrical				
		Temp (°F) Outdoor Ambient	Capacity		Temp (°F) Outdoor Ambient	COP at 47F		Refrigerant Type	Additional Charge	Total Charge	Module Model Number				Voltage	MCA	Breaker Size	Brand	
			Nominal MBH at 95F	Actual MBH		Nominal MBH at 47F	Actual MBH												
UC-C1	1	27.0	216.0	190.4	24.3	243.0	258.6	3.82	R-410A	12.5	30.4	100%	YVAHP216B32S	2	YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
															YVAHP072B32S	230/3/60	26	40	York
UC-C2	1	27.0	135.0	134.0	24.3	162.0	189.8	3.41	R-410A	8.1	18.8	107%	YVAHP144B32S	1	YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
UC-N1-L1	1	27.0	72.0	49.0	24.3	81.0	68.9	3.54	R-410A	4.0	11.2	75%	YVAHP072B32S	1	YVAHP072B32S	230/3/60	26	40	York
UC-N1-L2	1	27.0	240.0	211.7	24.3	270.0	287.0	3.51	R-410A	9.0	28.8	100%	YVAHP240B32S	2	YVAHP120B32S	230/3/60	42	50	York
															YVAHP120B32S	230/3/60	42	50	York
UC-N1-L3	1	27.0	135.0	127.0	24.3	162.0	172.0	3.40	R-410A	5.0	15.7	100%	YVAHP144B32S	1	YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
UC-N1-L4	1	27.0	72.0	56.2	24.3	81.0	77.5	3.54	R-410A	4.0	11.2	83%	YVAHP072B32S	1	YVAHP072B32S	230/3/60	26	40	York
UC-N2-L1	1	27.0	312.0	290.1	24.3	351.0	410.8	3.31	R-410A	10.0	32.0	108%	YVAHP312B32S	2	YVAHP168B32S	230/3/60	59	80	York
															YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
UC-N2-L2	1	27.0	408.0	379.8	24.3	459.0	536.8	3.37	R-410A	15.5	46.8	106%	YVAHP408B32S	3	YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
															YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
															YVAHP120B32S	230/3/60	42	50	York
UC-N8-L1	1	27.0	408.0	379.9	24.3	459.0	536.8	3.37	R-410A	15.5	46.8	106%	YVAHP408B32S	3	YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
															YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
															YVAHP120B32S	230/3/60	42	50	York
UC-N8-L2-1	1	27.0	336.0	312.4	24.3	378.0	427.9	3.32	R-410A	13.5	35.8	104%	YVAHP336B32S	2	YVAHP192B32S	230/3/60	68	90	York
															YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
UC-N8-L2-2	1	27.0	264.0	246.0	24.3	297.0	347.9	3.56	R-410A	10.5	31.1	101%	YVAHP264B32S	2	YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
															YVAHP120B32S	230/3/60	42	50	York
UC-N3-L1	1	27.0	312.0	290.1	24.3	351.0	410.8	3.31	R-410A	10.0	32.0	108%	YVAHP312B32S	2	YVAHP168B32S	230/3/60	59	80	York
															YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
UC-N3-L2	1	27.0	408.0	379.8	24.3	459.0	536.8	3.37	R-410A	15.5	46.8	106%	YVAHP408B32S	3	YVAHP168B32S	230/3/60	59	80	York
															YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
															YVAHP120B32S	230/3/60	42	50	York
UC-N4-L1	1	27.0	312.0	290.1	24.3	351.0	410.8	3.31	R-410A	10.0	32.0	108%	YVAHP312B32S	2	YVAHP168B32S	230/3/60	59	80	York
															YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
UC-N4-L2	1	27.0	408.0	379.8	24.3	459.0	536.8	3.37	R-410A	15.5	46.8	106%	YVAHP408B32S	3	YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
															YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
															YVAHP120B32S	230/3/60	42	50	York
UC-N5-L1	1	27.0	312.0	290.1	24.3	351.0	410.8	3.31	R-410A	10.0	32.0	108%	YVAHP312B32S	2	YVAHP168B32S	230/3/60	59	80	York
															YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
UC-N5-L2	1	27.0	408.0	379.8	24.3	459.0	536.8	3.37	R-410A	15.5	46.8	106%	YVAHP408B32S	3	YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
															YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
															YVAHP120B32S	230/3/60	42	50	York
UC-N6-L1	1	27.0	312.0	290.1	24.3	351.0	410.8	3.31	R-410A	10.0	32.0	108%	YVAHP312B32S	2	YVAHP168B32S	230/3/60	59	80	York
															YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
UC-N6-L2	1	27.0	408.0	379.8	24.3	459.0	536.8	3.37	R-410A	15.5	46.8	106%	YVAHP408B32S	3	YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
															YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
															YVAHP120B32S	230/3/60	42	50	York
UC-N7-L1	1	27.0	312.0	290.1	24.3	351.0	410.8	3.31	R-410A	10.0	32.0	108%	YVAHP312B32S	2	YVAHP168B32S	230/3/60	59	80	York
															YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
UC-N7-L2	1	27.0	408.0	379.8	24.3	459.0	536.8	3.37	R-410A	15.5	46.8	106%	YVAHP408B32S	3	YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
															YVAHP144B32S	230/3/60	52	70	York
															YVAHP120B32S	230/3/60	42	50	York

Anexo 2. Selección de equipos tipo agua helada



Design Conditions Datasheet

Unit Tag	Qty	Model No	Net Cooling Capacity (ton.R)	Nominal Voltage	Refrigerant Type
CH-4	1	YCWL0157SE46XACXXXX	145.3	460-3-60.0	R410A

PIN:								
YCWL0157SE	46XACXXXXX	XXXLX95X44	XEXXXXXXXXXX	XAXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXX	R		
...5...10	...5...20	...5...30	...5...40	...5...50	...5...60	...5...70	...5...80	...5...90

Evaporator Data		Condenser Data		Performance Data	
EWT (°F)	54.00	EWT (°F)	85.00	EER (Btu/W-h)	16.78
LWT (°F)	44.00	LWT (°F)	95.00	IPLV.IP (Btu/W-h)	23.68
				NPLV.IP (Btu/W-h)	23.71
Flow (USGPM)	347.7	Flow (USGPM)	421.5	Heat Rejection (MBH)	2080
Pressure Drop (ft H2O)	17.5	Pressure Drop (ft H2O)	15.4	Physical Data	
Fluid	Water	Fluid	Water	Rigging Wt. (lb)	6627
Fouling Factor (h.ft².F/Btu)	0.000	Fouling Factor (h.ft².F/Btu)	0.000	Operating Wt. (lb)	7355
Fluid Volume (USGAL)	57.59	Fluid Volume (USGAL)	44.12	Refrigerant Charge (lb)	170/170
Min Fluid Flow Rate (USGPM)	150.6	Min Fluid Flow Rate (USGPM)	225.1	Length (in)	143.4
Max Fluid Flow Rate (USGPM)	624.5	Max Fluid Flow Rate (USGPM)	700.6	Width (in)	34.8
		Compressor Type	Scroll - Hermetic	Height (in)	76.5

Electrical Data				
Circuit	1	2	3	4
Compressor RLA	53 / 53	53 / 53		
High LRA Current	316 / 316	316 / 316		

Single Point				
Min. Circuit Ampacity	227			
Max. Fuse / CB Rating (A)	250			
Unit Short Circuit Withstand (STD)	5 [kA]			
Wires Per Phase	1			
Wire Range (Lug Size)	#4 AWG - 500 kcmil			
			Operating Condition Electrical Data	
			Compressor kW	103.9
			Total kW	103.9

Notes:

Certified in accordance with the AHRI Water-Cooled Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Using Vapor Compression Cycle Certification Program, which is based on AHRI Standard 550/590 (I-P) and AHRI Standard 551/591 (SI). Certified units may be found in the AHRI Directory at www.ahridirectory.org. Auxiliary components included in total KW - Oil heaters, Chiller controls. Auxiliary power is already included in the compressor power



ASHRAE Standard 90.1-2010 and ASHRAE Standard 90.1-2013 & 2016 Compliant.

Part Load Rating Data				
Capacity (ton.R)	COND EWT (°F)	COND LWT (°F)	Total kW	Unit Efficiency (Btu/W·h)
145.3	85.00	95.00	103.9	16.78
114.3	76.45	84.08	67.60	20.28
80.34	67.12	72.31	37.75	25.54
39.04	65.00	67.51	17.77	26.37

Sound Pressure Levels (In Accordance with AHRI 575)									
Load %	63 Hz (dB)	125 Hz (dB)	250 Hz (dB)	500 Hz (dB)	1 kHz (dB)	2 kHz (dB)	4 kHz (dB)	8 kHz (dB)	LpA
100	77	63	75	80	85	86	73	63	90
79	76	62	74	79	84	85	72	62	88
55	74	60	72	77	82	83	70	60	87
27	71	57	69	74	79	80	67	57	84

THE OCTAVE AND A-WEIGHTED SOUND PRESSURE LEVELS ARE THE LEVELS EXPECTED TO BE OBTAINED IF MEASUREMENTS ARE PERFORMED IN ACCORDANCE WITH AHRI STANDARD 575-08, METHOD OF MEASURING MACHINERY SOUND WITHIN EQUIPMENT ROOMS.

THESE LEVELS ARE EXPECTED TO OCCUR ONLY IN AN ACOUSTIC FREE-FIELD ENVIRONMENT, SUCH AS A LARGE MACHINERY ROOM WITH ACOUSTIC ABSORPTION ON PERIMETER WALLS. PROPER ISOLATION IS REQUIRED AT THE CHILLER MOUNTING FEET, WATER PIPING AND OTHER CHILLER TO BUILDING INTERFACES.

TOLERANCES: THE SOUND LEVEL OF IDENTICAL UNIT SELECTIONS CAN VARY DUE TO MANUFACTURING TOLERANCE AND TEST REPEATABILITY. VARIATIONS OF +/-3 dBA ON THE A-WEIGHTED LEVELS AND +/-5 DB ON THE OCTAVE BAND LEVELS ARE POSSIBLE.

Performance at AHRI Conditions					
Evaporator Data		Condenser Data		Performance Data	
EWT (°F)	54.00	EWT (°F)	85.00	EER (Btu/W·h)	16.72
LWT (°F)	44.00	LWT (°F)	94.30	IPLV.IP (Btu/W·h)	23.68
Flow Rate (USGPM)	345.9	Flow Rate (USGPM)	451.2	Net Cooling Capacity (ton.R)	144.5
Pressure Drop (ft H2O)	17.3	Pressure Drop (ft H2O)	17.3		
Fluid	Water	Fluid	Water		
Fouling Factor (h.ft².F/Btu)	0.000100	Fouling Factor (h.ft².F/Btu)	0.000250		
Fluid Volume (USGAL)	57.59	Fluid Volume (USGAL)	44.12		

Unit Tag	Qty	Model No	Net Cooling Capacity (ton.R)	Nominal Voltage	Refrigerant Type
CH-2	1	YLAA0155SE46XFBSXXX	142.7	460-3-60.0	R410A

PIN:								
YLAA0155SE	46XFBSXXXH	SXBLXCXX44	XEXXXHXHXX	YAXGTXXXXX	XXXXXXXXXX			
...5...10	...5...20	...5...30	...5...40	...5...50	...5...60	...5...70	...5...80	...5...90


Evaporator Data		Evaporator Data (Cont.)		Performance Data	
EWT (°F)	54.00	Fluid Volume (USGAL)	13.21	EER (Btu/W-h)	9.271
LWT (°F)	44.00	Min. Flow Rate (USGPM)	149.9	IPLV.IP (Btu/W-h)	15.80
				NPLV.IP (Btu/W-h)	15.32
Design Flow Rate (USGPM)	340.7	Max. Flow Rate (USGPM)	624.5		
Evap. Press. Drop (ft H2O)	11.8				
Fluid	Water	Condenser Data		Physical Data	
Strainer Press. Drop (ft H2O)	2.97	Ambient Temp. Design (°F)	95.0	Rigging Wt. (lb)	6340
Ext. Kit Press. Drop (ft H2O)	6.87	Altitude (ft)	3845	Operating Wt. (lb)	6449
Total Press. Drop (ft H2O)	21.6	Compressor Type	Scroll - Hermetic	Refrigerant Charge (lb)	145.1
Fouling Factor (h.ft ² .F/Btu)	0.000100				

Electrical Data				
Circuit	1	2	3	4
Compressor RLA	53 / 53 / 53	53 / 53		
Fan QTY/FLA (each)	4 / 4	4 / 4		
High LRA Current	316 / 316 / 316	316 / 316		

Single Point				
Min. Circuit Ampacity	311			
Recommended Fuse/CB Rating	350			
Max. Inverse Time CB Rating	350			
Max. Dual Element Fuse Size (A)	350			
Unit Short Circuit Withstand (STD)	5 [kA]			
Wires Per Phase	2			
Wire Range (Lug Size)	#6 AWG - 500 kcmil			
Starter Type	Across The Line			
			Operating Condition Electrical Data	
			Compressor kW	171.3
			Total Fan kW	13.44
			Total kW	184.8

Notes:

Certified in accordance with the AHRI Air-Cooled Water-Chilling Packages Using Vapor Compression Cycle Certification Program, which is based on AHRI Standard 550/590 (I-P) and AHRI Standard 551/591 (SI). Certified units may be found in the AHRI Directory at www.ahridirectory.org. Auxiliary components included in total KW - Oil heaters, Chiller controls. Auxiliary power is already included in the compressor and fan power



ASHRAE Standard 90.1-2010 and ASHRAE Standard 90.1-2013 & 2016 Compliant.

Compliant with the requirements of the LEED Energy and Atmosphere Enhanced Refrigerant Management Credit (EAc4).

Part Load Rating Data				
Stage	Ambient (°F)	Capacity (ton.R)	Total kW	Unit Efficiency (Btu/W·h)
1	95.0	142.7	184.8	9.271
2	87.5	124.9	128.7	11.65
3	77.1	99.99	86.73	13.84
4	64.1	68.87	49.14	16.82
5	55.0	34.45	22.40	18.45

Sound Power Levels (In Accordance with AHRI 370)										
Stage	Ambient (°F)	63 Hz (dB)	125 Hz (dB)	250 Hz (dB)	500 Hz (dB)	1 kHz (dB)	2 kHz (dB)	4 kHz (dB)	8 kHz (dB)	LWA
1	95.0	99	98	94	95	92	88	85	82	97
2	87.5	99	98	94	95	91	88	84	82	97
3	77.1	99	98	94	94	91	87	84	82	96
4	64.1	96	95	91	92	88	85	81	79	94
5	55.0	93	92	88	88	85	82	78	76	91

Note: Unit is equipped with Low Sound Fans.

Performance at AHRI Conditions					
Evaporator Data		Condenser Data		Performance Data	
EWT (°F)	54.00	Ambient Temp. (°F)	95.0	EER (Btu/W·h)	9.710
LWT (°F)	44.00	Altitude (ft)	0.000	IPLV.IP (Btu/W·h)	15.80
Flow Rate (USGPM)	346.9			Net Cooling Capacity (ton.R)	145.3
Pressure Drop (ft H2O)	12.2				
Fluid	Water				
Fouling Factor (h.ft ² .F/Btu)	0.000100				
Fluid Volume (USGAL)	13.21				

Note: Unit rated at design condition capacity.

Unit Tag	Qty	Model No	Net Cooling Capacity (ton.R)	Nominal Power Volts-Ph-Hz	Refrigerant Type
CH-1	1	YVAA0523JCF46BAVDXX	420.0	460-3-60.0	R134a

PIN:								
YVAA0523JC	F46BAVDXXX	SAXLXXXX60	44XOTXXS17	6X1SXXA2BT	XFXXXXXXXXXX	XXXSXX		
...5...10	...5...20	...5...30	...5...40	...5...50	...5...60	...5...70	...5...80	...5...90

Evaporator Data		Evaporator Data (Cont.)		Performance Data	
EWT (°F)	54.00	Fluid Volume (USGAL)	146.9	EER (Btu/W-h)	10.47
LWT (°F)	44.00	Min. Design Flow Rate (USGPM)*	550.0	IPLV.IP (Btu/W-h)	16.31
Design Flow Rate (USGPM)	1005	Max. Flow Rate (USGPM)	2160	NPLV.IP (Btu/W-h)	16.41
Total Press. Drop (ft H2O)	13.1	Condenser Data		Physical Data	
Fluid	Water	Ambient Temp. Design (°F)	95.0	Rigging Wt. (lb)	28252
Fouling Factor (h.ft ² .F/Btu)	0.000100	Altitude (ft)	3846	Operating Wt. (lb)	29610
Number Passes	2	Compressor Type	VSD Screw - Semi Hermetic	Refrigerant Charge (lb)	890.6

Electrical Data				
Circuit	1	2	3	4
Compressor kW	222.9	222.1		
Compressor RLA	341	341		
Fan QTY/FLA (each)	13 / 3.3	13 / 3.3		

Multi Point				
Min. Circuit Ampacity	475	469		
Max. Fuse / CB Rating (A)	800	800		
Unit Short Circuit Withstand (STD)	30 [kA]			
Wires Per Phase	2	2		
Wire Range (Lug Size)	#2 - 600 kcmil	#2 - 600 kcmil		
Displacement Power Factor	0.95		Operating Condition Electrical Data	
Control kVA	3		Compressor kW	445.0
			Total kW	481.3

Notes:

Certified in accordance with the AHRI Air-Cooled Water-Chilling Packages Using Vapor Compression Cycle Certification Program, which is based on AHRI Standard 550/590 (I-P) and AHRI Standard 551/591 (SI). Certified units may be found in the AHRI Directory at www.ahridirectory.org. Auxiliary components included in total KW - Oil heaters, Chiller controls. Auxiliary power is already included in the compressor and fan power



Min DSD (Factory Purpose/Use only): 80 psig
 Use Copper Conductors only
 Displacement Power Factor refers to compressor only. Unit Power Factor depends on fan option selected. Calculated value is available by request.

Minimum and maximum evaporator flow information are for full load ratings with Water.
 Evaporator Passes: 2, Condenser Type: T, Fan Type: F
 Actuated suction service valves ARE selected
 Exclusion of actuated suction service valves will require incorporation of additional freeze protection including use of glycol, pump control or draining the evaporator.
 Minimum Chilled Water Flow Rate is for full load selections; Variable Primary Flow ratings as low as 50% of the minimum are permitted. Glycol limits are higher. To obtain minimum flow with Variable Primary Flow, run rating with Variable Primary Flow Partload Type.

ASHRAE Standard 90.1-2010 and ASHRAE Standard 90.1-2013 & 2016 Compliant.



Air Cooled Screw Chiller Performance Datasheet

IECC 2012 and IECC 2015/2018 Compliant.



Air Cooled Screw Chiller Performance Datasheet

Part Load Rating Data				
Load %	Ambient (°F)	Capacity (ton.R)	Total kW	Unit Efficiency (Btu/W-h)
100	95.0	420.0	481.3	10.47
75	80.1	315.0	262.5	14.40
50	65.1	210.0	142.9	17.64
25	55.0	105.0	64.65	19.49

Sound Power Levels (In Accordance with AHRI 370)										
Load %	Ambient (°F)	63 Hz (dB)	125 Hz (dB)	250 Hz (dB)	500 Hz (dB)	1 kHz (dB)	2 kHz (dB)	4 kHz (dB)	8 kHz (dB)	LWA
100	95.0	101	101	102	103	99	95	92	87	104
75	80.1	101	101	102	102	100	93	90	86	104
50	65.1	99	99	100	100	96	90	87	85	101
25	55.0	96	96	97	98	93	87	84	83	99

Note: Unit is equipped with Low Sound Fans.

Performance at AHRI Conditions					
Evaporator Data		Condenser Data		Performance Data	
EWT (°F)	54.00	Ambient Temp. (°F)	95.0	EER (Btu/W-h)	10.84
LWT (°F)	44.00	Altitude (ft)	0.000	IPLV.IP (Btu/W-h)	16.31
Flow Rate (USGPM)	1005			Net Cooling Capacity (ton.R)	420.0
Pressure Drop (ft H2O)	13.1				
Fluid	Water				
Fouling Factor (h.ft².F/Btu)	0.000100				
Fluid Volume (USGAL)	146.9				

Note: Unit rated at design condition capacity.

Part Load Rating Data at AHRI Conditions				
Load %	Ambient (°F)	Capacity (ton.R)	Total kW	Unit Efficiency (Btu/W-h)
100	95.0	420.0	464.8	10.84
75	80.0	315.0	261.6	14.45
50	65.0	210.0	144.9	17.40
25	55.0	105.0	65.90	19.12



Design Conditions Datasheet

Unit Tag	Qty	Model No	Net Cooling Capacity (ton.R)	Nominal Voltage	Refrigerant Type
CH-3	1	YVWAMBMEEEAE0210SA	210.0	460-3-60.0	R134a

PIN:								
YVWAMBMEEE	AE0210SAX4	6SXXSSSXXA	LXXSXREXXX	AW170EXTSA	X44621CXX1	CGWX95491C	XXSCGWHBXS	XXX1XXXXXX
...5...10	...5...20	...5...30	...5...40	...5...50	...5...60	...5...70	...5...80	...5...90

Evaporator Data		Condenser Data		Performance Data	
EWT (°F)	54.00	EWT (°F)	85.00	Full Load Efficiency (kW/ton.R)	0.6092
LWT (°F)	44.00	LWT (°F)	95.00	IPLV.IP (kW/ton.R)	0.4052
Flow (USGPM)	502.6	Flow (USGPM)	594.1	NPLV.IP (kW/ton.R)	0.4032
Pressure Drop (ft H2O)	17.0	Pressure Drop (ft H2O)	9.45	Heat Rejection (MBH)	2957
Fluid	Water	Fluid	Water	Physical Data	
Fouling Factor (h.ft².F/Btu)	0.000	Fouling Factor (h.ft².F/Btu)	0.000	Rigging Wt. (lb)	12502
Fluid Volume (USGAL)	59.70	Fluid Volume (USGAL)	76.87	Operating Wt. (lb)	13642
Min Fluid Flow Rate (USGPM)	230.0	Min Fluid Flow Rate (USGPM)	360.0	Refrigerant Charge (lb)	276/276
Max Fluid Flow Rate (USGPM)	910.0	Max Fluid Flow Rate (USGPM)	1420	Length (in)	164.4
Evap Type	Hybrid Falling Film	Cond Type	Water Cooled Condenser	Width (in)	55.3
Chiller Type	Water Cooled VSD Screw	Compressor Type	VSD Screw - Semi Hermetic	Height (in)	71.8
Number Passes	2	Number Passes	2		

Electrical Data				
Circuit	1	2	3	4
Compressor RLA	88	90	0	0
Compressor Overload Setting	138	140	0	0

Single Point				
Min. Circuit Ampacity	195			
Max. Fuse / CB Rating (A)	250			
Unit Short Circuit Withstand (STD)	30 [kA]			
Wires Per Phase	1			
Wire Range (Lug Size)	#2 AWG - 600 kcmil			
Starter Type	VSD			
			Operating Condition Electrical Data	
			Compressor kW	127.9
			Total kW	127.9
			Chiller FLA	182

Notes:

Sound Data in accordance with AHRI Standard 575

Nominal Current based on design conditions

Subject to change without prior notice

Min flow rate is for chillers using water. For glycol chillers please contact the application engineering team.

Certified in accordance with the AHRI Water-Cooled Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Using Vapor Compression Cycle Certification Program, which is based on AHRI Standard 550/590 (I-P) and AHRI Standard 551/591 (SI). Certified units may be found in the AHRI Directory at www.ahridirectory.org. Auxiliary components included in total KW - Oil heaters, Chiller controls. Auxiliary power is already included in the compressor power



ASHRAE Standard 90.1-2010 and ASHRAE Standard 90.1-2013 & 2016 Compliant.

Part Load Rating Data					
Load %	Capacity (ton.R)	COND EWT (°F)	COND LWT (°F)	Total kW	Unit Efficiency (kW/ton.R)
100	210.0	85.00	95.00	127.9	0.6092
90	189.0	85.00	93.96	111.7	0.5911
80	168.0	85.00	92.94	97.44	0.5800
70	147.0	85.00	91.94	84.03	0.5716
60	126.0	85.00	90.94	71.66	0.5687
50	105.0	85.00	89.96	60.25	0.5738
40	84.00	85.00	88.98	49.73	0.5919
30	63.00	85.00	88.02	40.04	0.6356
20	42.00	85.00	86.99	24.90	0.5929
12	25.94	85.00	86.26	17.95	0.6920

Sound Pressure Levels (In Accordance with AHRI 575)									
Load %	63 Hz (dB)	125 Hz (dB)	250 Hz (dB)	500 Hz (dB)	1 kHz (dB)	2 kHz (dB)	4 kHz (dB)	8 kHz (dB)	LpA
100	66	65	58	66	79	76	68	62	82
90	62	67	60	68	80	72	65	63	81
80	57	72	72	89	74	68	62	62	86
70	58	60	74	81	71	69	61	61	80
60	59	58	80	70	73	66	61	62	77
50	58	63	75	74	71	65	61	61	75
40	61	67	67	72	68	59	61	58	73
30	58	69	70	74	66	58	61	59	73
20	57	64	65	70	65	57	58	55	70
12	54	69	55	64	63	53	58	58	67

Note: Unit is equipped with Low Sound Kit (Level 1 Reduction).

THE OCTAVE AND A-WEIGHTED SOUND PRESSURE LEVELS ARE THE LEVELS EXPECTED TO BE OBTAINED IF MEASUREMENTS ARE PERFORMED IN ACCORDANCE WITH AHRI STANDARD 575-08, METHOD OF MEASURING MACHINERY SOUND WITHIN EQUIPMENT ROOMS.

THESE LEVELS ARE EXPECTED TO OCCUR ONLY IN AN ACOUSTIC FREE-FIELD ENVIRONMENT, SUCH AS A LARGE MACHINERY ROOM WITH ACOUSTIC ABSORPTION ON PERIMETER WALLS. PROPER ISOLATION IS REQUIRED AT THE CHILLER MOUNTING FEET, WATER PIPING AND OTHER CHILLER TO BUILDING INTERFACES.

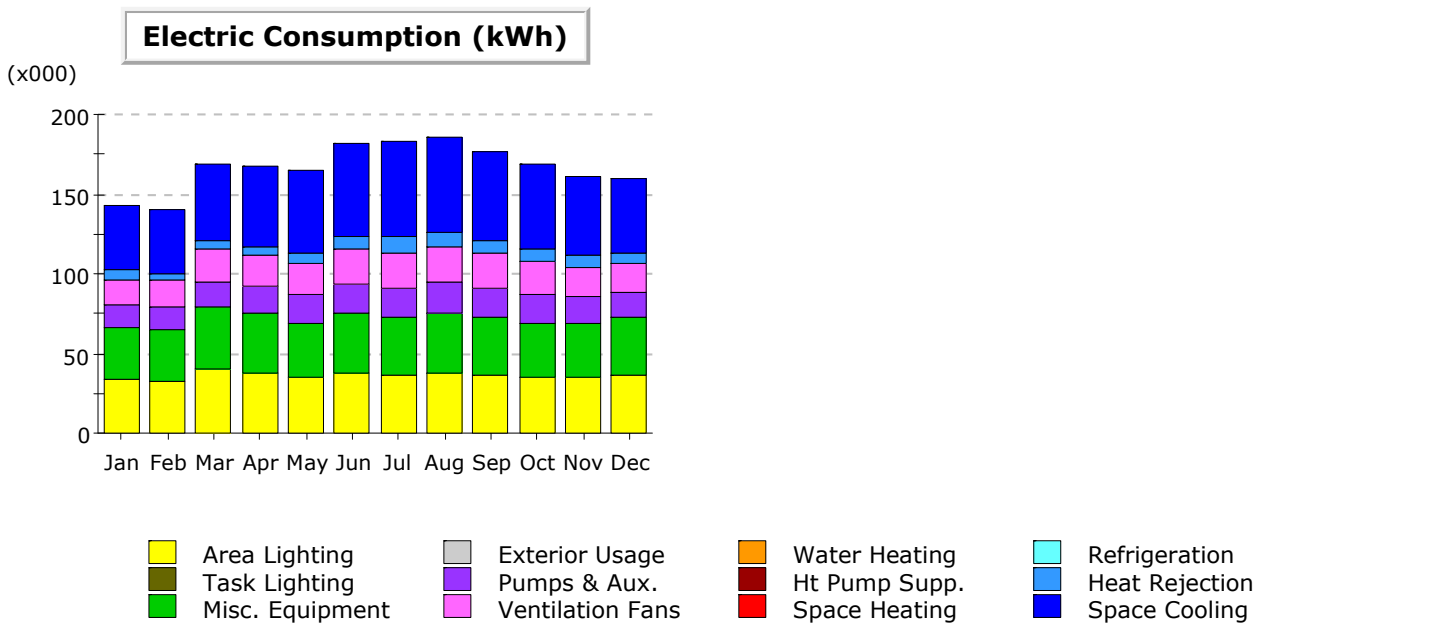
TOLERANCES: THE SOUND LEVEL OF IDENTICAL UNIT SELECTIONS CAN VARY DUE TO MANUFACTURING TOLERANCE AND TEST REPEATABILITY. VARIATIONS OF +/-3 dBA ON THE A-WEIGHTED LEVELS AND +/-5 DB ON THE OCTAVE BAND LEVELS ARE POSSIBLE.

Performance at AHRI Conditions					
Evaporator Data		Condenser Data		Performance Data	
EWT (°F)	54.00	EWT (°F)	85.00	Full Load Efficiency (kW/ton.R)	0.6125
LWT (°F)	44.00	LWT (°F)	94.30	IPLV.IP (kW/ton.R)	0.4052
Flow Rate (USGPM)	502.6	Flow Rate (USGPM)	639.3	Heat Rejection (MBH)	2959
Pressure Drop (ft H2O)	17.0	Pressure Drop (ft H2O)	10.8	Cooling Capacity (ton.R)	210.0
Fluid	Water	Fluid	Water		
Fouling Factor (h.ft².F/Btu)	0.000100	Fouling Factor (h.ft².F/Btu)	0.000250		
Fluid Volume (USGAL)	59.70	Fluid Volume (USGAL)	76.87		

Note: Unit rated at design condition capacity.

Part Load Rating Data at AHRI Conditions					
Load %	Capacity (ton.R)	COND EWT (°F)	COND LWT (°F)	Total kW	Unit Efficiency (Btu/W·h)
100	210.0	85.00	94.30	128.6	19.59
75	157.5	75.00	81.71	73.41	25.74
50	105.0	65.00	69.36	38.64	32.61
25	52.50	65.00	67.18	19.18	32.85

**Anexo 3. Resultados de modelos energéticos de
análisis de sistemas de aire acondicionado**

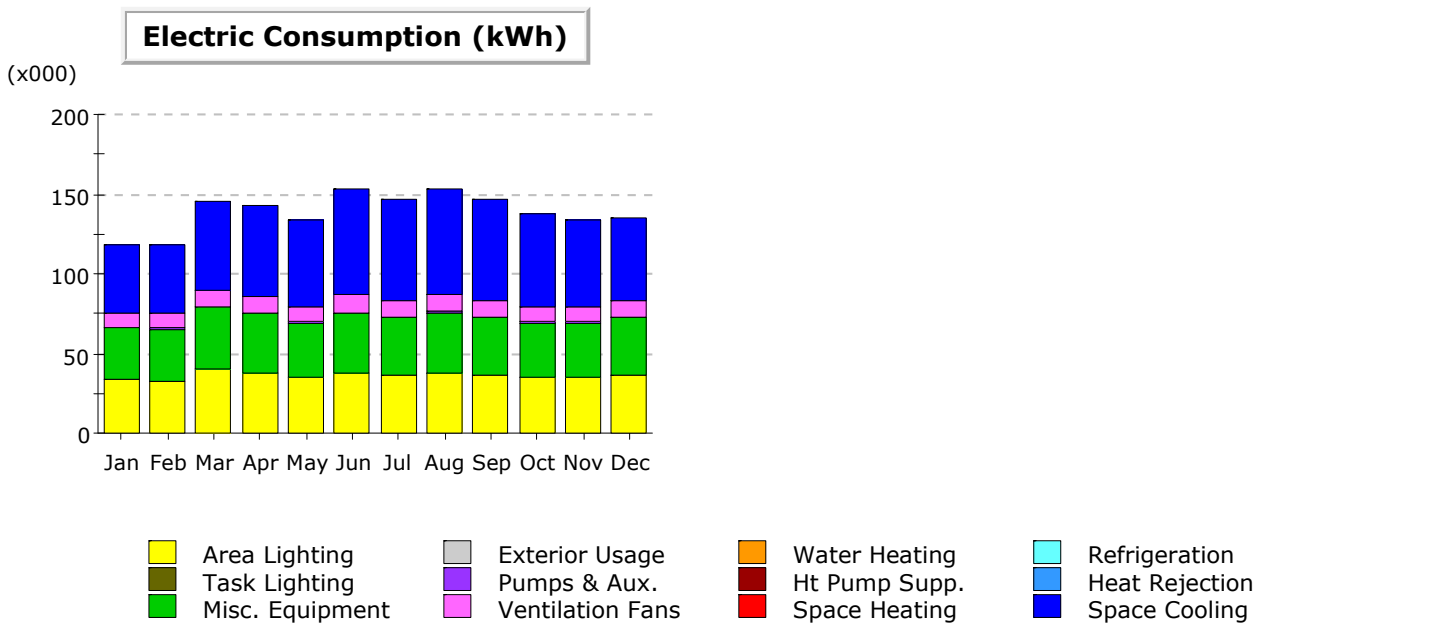


Electric Consumption (kWh x000)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	40.3	40.3	48.9	51.0	52.0	58.9	59.9	59.1	56.1	52.8	49.3	46.7	615.2
Heat Reject.	5.9	4.1	5.2	5.0	6.6	7.8	9.1	9.2	7.8	8.1	7.8	6.5	83.0
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vent. Fans	16.0	16.4	19.9	20.2	19.3	22.2	22.2	22.2	21.5	19.9	18.7	18.2	236.6
Pumps & Aux.	13.9	13.8	16.6	16.6	17.4	18.3	19.1	19.4	18.6	18.2	16.4	16.5	204.8
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	33.1	32.6	38.9	37.2	34.6	37.2	36.0	37.4	35.8	34.6	34.3	36.0	427.7
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	33.1	33.0	39.7	38.0	34.8	38.0	36.4	38.1	36.4	34.8	34.7	36.4	433.6
Total	142.4	140.1	169.3	168.0	164.6	182.4	182.7	185.3	176.3	168.3	161.3	160.3	2,000.9

Gas Consumption (Btu)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool													
Heat Reject.													
Refrigeration													
Space Heat													
HP Supp.													
Hot Water													
Vent. Fans													
Pumps & Aux.													
Ext. Usage													
Misc. Equip.													
Task Lights													
Area Lights													
Total													

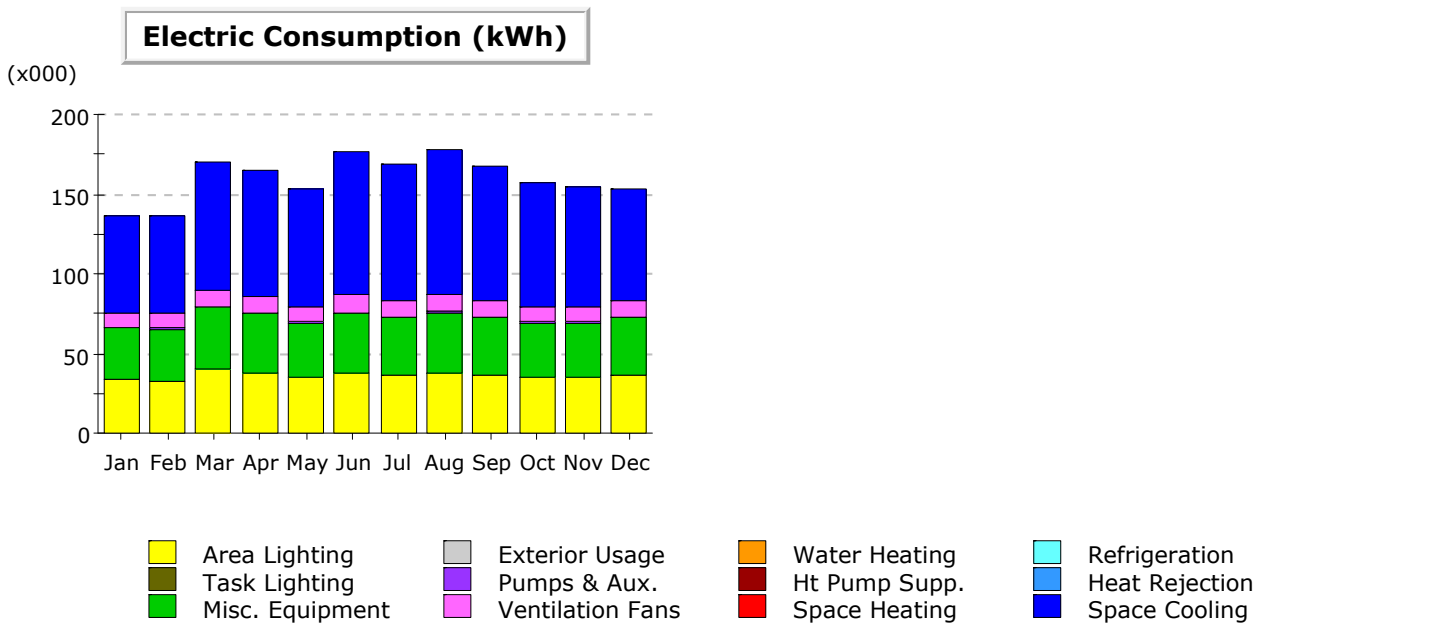


Electric Consumption (kWh x000)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	42.9	43.6	54.9	56.1	54.1	67.0	63.7	65.8	63.3	57.5	54.9	51.6	675.5
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vent. Fans	9.2	9.2	11.1	10.6	9.7	10.6	10.2	10.6	10.2	9.7	9.7	10.2	120.8
Pumps & Aux.	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.3	5.4
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	33.1	32.6	38.9	37.2	34.6	37.2	36.0	37.4	35.8	34.6	34.3	36.0	427.7
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	33.1	33.0	39.7	38.0	34.8	38.0	36.4	38.1	36.4	34.8	34.7	36.4	433.6
Total	118.7	118.6	145.1	142.4	133.5	153.5	146.8	152.6	146.2	137.0	134.1	134.5	1,663.0

Gas Consumption (Btu)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool													
Heat Reject.													
Refrigeration													
Space Heat													
HP Supp.													
Hot Water													
Vent. Fans													
Pumps & Aux.													
Ext. Usage													
Misc. Equip.													
Task Lights													
Area Lights													
Total													

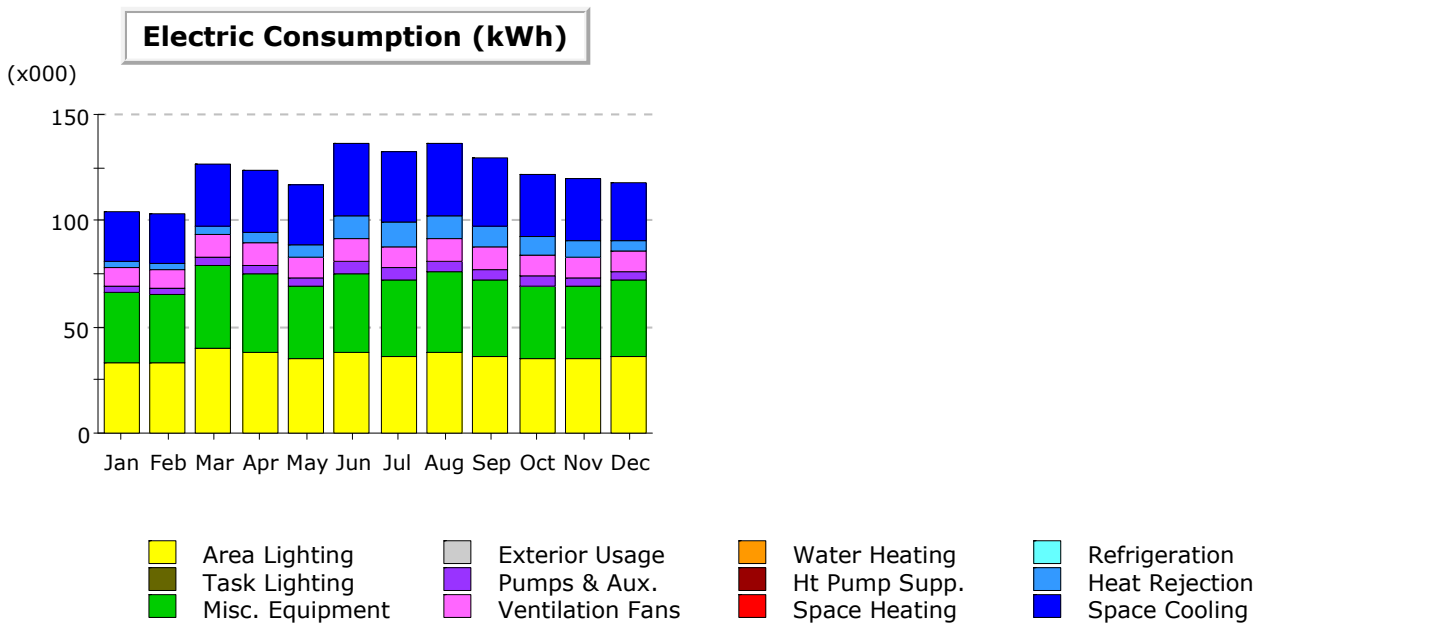


Electric Consumption (kWh x000)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	60.0	61.0	79.8	78.4	73.3	89.9	86.1	90.7	84.6	77.6	75.6	70.7	927.8
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vent. Fans	9.2	9.2	11.1	10.6	9.7	10.6	10.2	10.6	10.2	9.7	9.7	10.2	120.8
Pumps & Aux.	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	6.0
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	33.1	32.6	38.9	37.2	34.6	37.2	36.0	37.4	35.8	34.6	34.3	36.0	427.7
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	33.1	33.0	39.7	38.0	34.8	38.0	36.4	38.1	36.4	34.8	34.7	36.4	433.6
Total	135.8	136.1	170.0	164.8	152.8	176.4	169.3	177.6	167.5	157.1	154.9	153.7	1,915.9

Gas Consumption (Btu)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool													
Heat Reject.													
Refrigeration													
Space Heat													
HP Supp.													
Hot Water													
Vent. Fans													
Pumps & Aux.													
Ext. Usage													
Misc. Equip.													
Task Lights													
Area Lights													
Total													

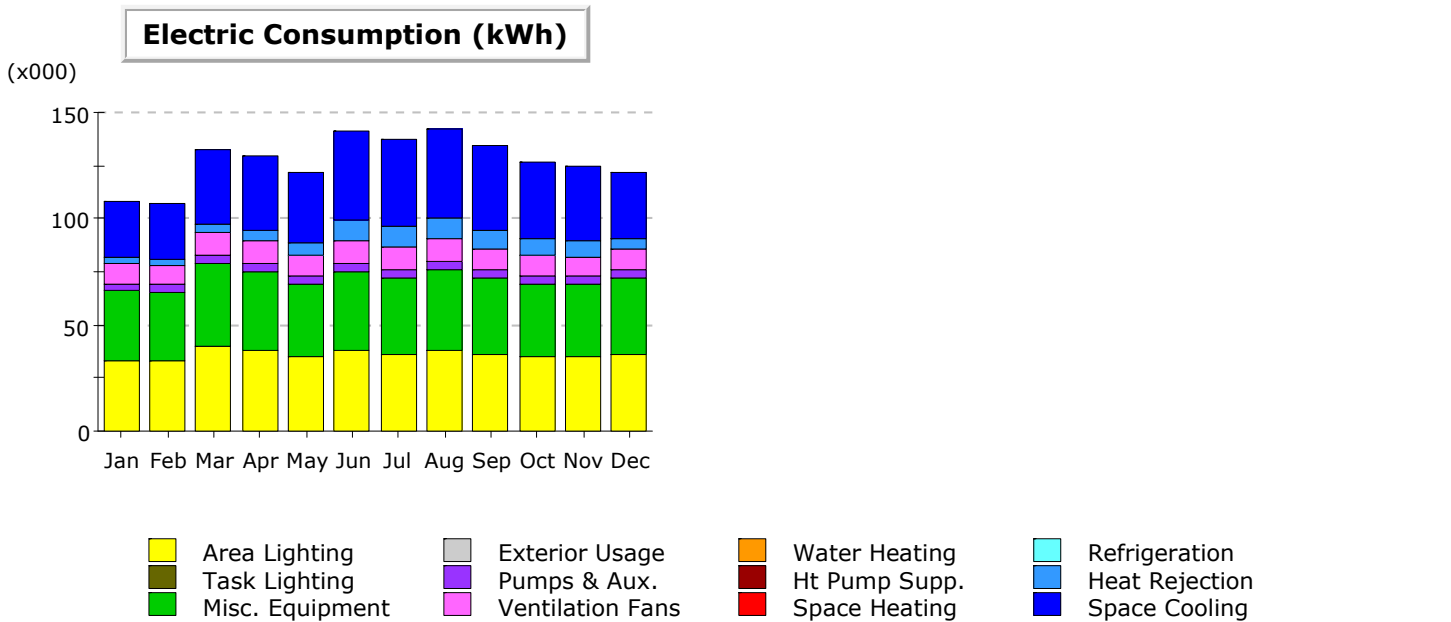


Electric Consumption (kWh x000)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	22.9	23.8	30.1	29.5	27.9	34.0	32.8	34.4	31.9	29.5	29.0	27.3	353.1
Heat Reject.	3.1	2.7	3.5	4.2	6.1	10.9	11.7	10.9	9.8	8.8	8.1	4.5	84.3
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vent. Fans	9.2	9.2	11.1	10.6	9.7	10.6	10.2	10.6	10.2	9.7	9.7	10.2	120.8
Pumps & Aux.	2.5	2.3	3.7	4.0	3.9	5.5	5.2	5.2	5.2	4.5	4.2	3.2	49.3
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	33.1	32.6	38.9	37.2	34.6	37.2	36.0	37.4	35.8	34.6	34.3	36.0	427.7
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	33.1	33.0	39.7	38.0	34.8	38.0	36.4	38.1	36.4	34.8	34.7	36.4	433.6
Total	104.0	103.4	127.1	123.5	116.9	136.3	132.2	136.6	129.2	121.9	120.0	117.6	1,468.7

Gas Consumption (Btu)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool													
Heat Reject.													
Refrigeration													
Space Heat													
HP Supp.													
Hot Water													
Vent. Fans													
Pumps & Aux.													
Ext. Usage													
Misc. Equip.													
Task Lights													
Area Lights													
Total													

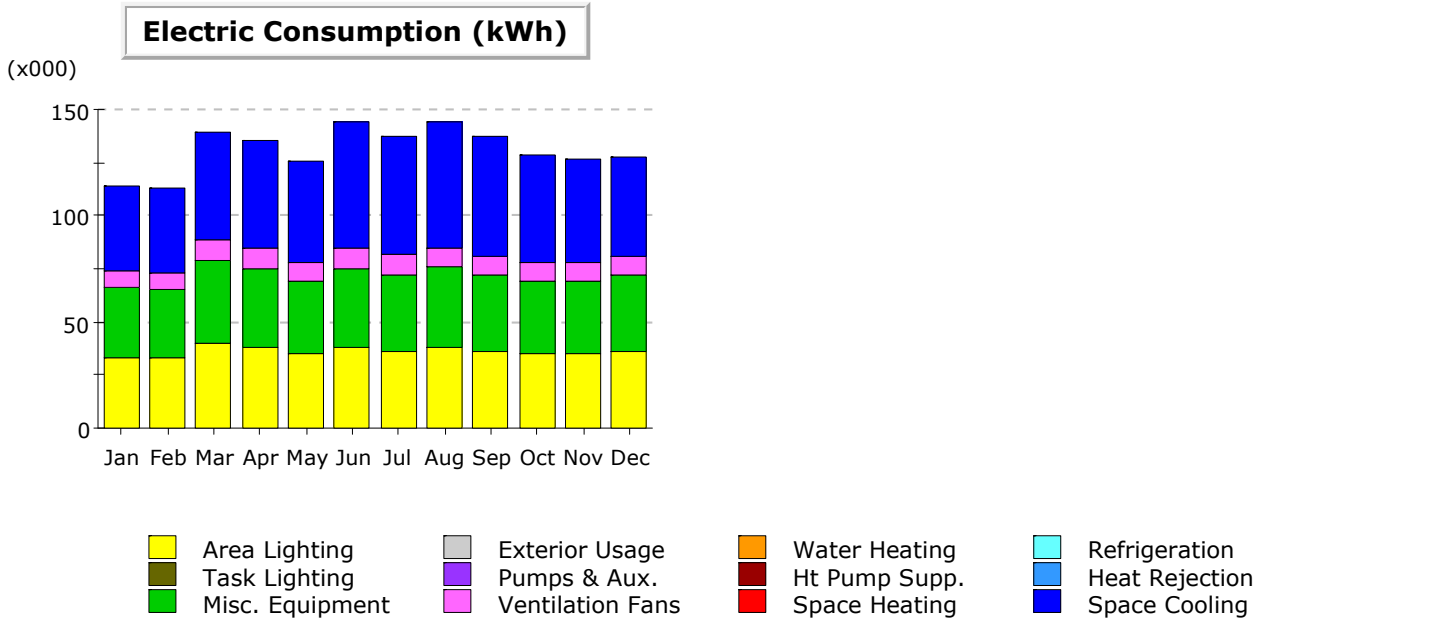


Electric Consumption (kWh x000)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	26.1	26.2	34.8	35.0	33.3	42.2	40.4	42.1	39.7	36.0	35.1	31.4	422.3
Heat Reject.	3.3	2.8	3.6	4.5	5.7	9.3	10.4	9.6	8.1	7.6	7.5	4.8	77.3
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vent. Fans	9.2	9.2	11.1	10.6	9.7	10.6	10.2	10.6	10.2	9.7	9.7	10.2	120.8
Pumps & Aux.	3.1	3.2	4.0	3.9	3.4	4.1	3.9	4.1	3.8	3.5	3.5	3.4	44.0
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	33.1	32.6	38.9	37.2	34.6	37.2	36.0	37.4	35.8	34.6	34.3	36.0	427.7
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	33.1	33.0	39.7	38.0	34.8	38.0	36.4	38.1	36.4	34.8	34.7	36.4	433.6
Total	108.0	107.0	132.1	129.2	121.5	141.5	137.2	142.0	134.0	126.2	124.8	122.2	1,525.8

Gas Consumption (Btu)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool													
Heat Reject.													
Refrigeration													
Space Heat													
HP Supp.													
Hot Water													
Vent. Fans													
Pumps & Aux.													
Ext. Usage													
Misc. Equip.													
Task Lights													
Area Lights													
Total													



Electric Consumption (kWh x000)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	39.3	39.7	50.9	50.7	47.9	59.3	56.2	58.8	56.0	50.9	49.5	46.3	605.7
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vent. Fans	8.0	8.0	9.7	9.3	8.5	9.4	9.0	9.4	9.0	8.5	8.5	8.9	106.0
Pumps & Aux.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	33.1	32.6	38.9	37.2	34.6	37.2	36.0	37.4	35.8	34.6	34.3	36.0	427.7
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	33.1	33.0	39.7	38.0	34.8	38.0	36.4	38.1	36.4	34.8	34.7	36.4	433.6
Total	113.6	113.3	139.3	135.2	125.7	144.0	137.6	143.8	137.2	128.8	127.0	127.6	1,573.0

Gas Consumption (Btu)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool													
Heat Reject.													
Refrigeration													
Space Heat													
HP Supp.													
Hot Water													
Vent. Fans													
Pumps & Aux.													
Ext. Usage													
Misc. Equip.													
Task Lights													
Area Lights													
Total													

Anexo 4. Presupuesto inversión inicial de sistemas de aire acondicionado

Nombre de Proyecto	N/A	
Presupuesto	VRF	
Tipo de cambio	632	

CONDENSADORES

Modelo	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
YVAHP072B32S	MODULAR 6 TON VRF HP OU 208/230V 3PH	2	4,939.75	9,879.50
YVAHP144B32S	MODULAR 12 TON VRF HP OU 208/230V 3PH	2	8,454.39	16,908.78
YVAHP216B32S	MODULAR 18 TON VRF HP OU 208/230V 3PH	1	13,676.84	13,676.84
YVAHP240B32S	MODULAR 20 TON VRF HP OU 208/230V 3PH	1	13,735.99	13,735.99
YVAHP264B32S	MODULAR 22 TON VRF HP OU 208/230V 3PH	1	15,463.73	15,463.73
YVAHP312B32S	MODULAR 26 TON VRF HP OU 208/230V 3PH	6	18,462.80	110,776.80
YVAHP336B32S	MODULAR 28 TON VRF HP OU 208/230V 3PH	1	19,235.21	19,235.21
YVAHP408B32S	MODULAR 34 TON VRF HP OU 208/230V 3PH	7	24,189.75	169,328.25
			EXW	369,005.10
		15%	Flete	55,350.77
			CIF	424,355.87
		0%	Impuestos	0.00
			Subtotal	424,355.87
		1.5%	G.Aduana	6,365.34
			Total	430,721.20
		25%	GM	107,680.30
			GRAN TOTAL (\$)	538,401.50

EVAPORADORES Y ACCESORIOS

Modelo	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
TIWM012B21S	1 TON WALL MOUNT IU 208/230V 1PH	18	410.56	7,390.08
YIC4015B21S	1.3 TON 4-WAY CASSETTE IU 208/230V 1PH	2	597.04	1,194.08
YICM008B21S	0.7 TON MINI CASSETTE IU 208/230V 1PH	2	463.61	927.22
YICM012B21S	1.0 TON MINI CASSETTE IU 208/230V 1PH	4	467.15	1,868.60
YIDH027B22S	2.3 TON G2 DUCTED HI STA IU 208/230V 1PH	2	1,062.52	2,125.04
YIDH030B22S	2.5 TON G2 DUCTED HI STA IU 208/230V 1PH	2	1,129.04	2,258.08
YIDH048B22S	4.0 TON G2 DUCTED HI STA IU 208/230V 1PH	8	1,361.88	10,895.04
YIDH072B21S	6.0 TON DUCTED HI STATIC IU 208/230V 1PH	10	1,723.89	17,238.90
YIDM015B22S	1.3 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	12	922.08	11,064.96
YIDM018B22S	1.5 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	2	949.80	1,899.60
YIDM024B22S	2.0 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	8	999.68	7,997.44
YIDM027B22S	2.3 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	7	1,060.67	7,424.69
YIDM030B22S	2.5 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	2	1,121.65	2,243.30
YIDM036B22S	3.0 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	13	1,252.84	16,286.92
YIDM048B22S	4.0 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	44	1,382.20	60,816.80
YIDM054B22S	4.5 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	25	1,520.80	38,020.00
YIDS015B21S	1.3 TON DUCTED SLIM IU 208/230V 1PH	20	585.48	11,709.60
YIDS018B21S	1.5 TON DUCTED SLIM IU 208/230V 1PH	6	602.83	3,616.98
P-AP160NA2	PANEL FOR 4 WAY CASSETTE (STANDARD)	2	153.24	306.48
P-AP56NAM	PANEL FOR MINI-CASSETTE	6	165.08	990.48
MW-NP282A3	Multi Kit (with insulation)	29	94.24	2,732.96
MW-NP452A3	Multi Kit (with insulation)	26	164.45	4,275.70
MW-NP692A3	Multi Kit (with insulation)	26	282.72	7,350.72
MW-NP902A3	Multi Kit (with insulation)	85	371.43	31,571.55
CCL01	LARGE CENTRAL CONTROLLER	3	1,455.73	4,367.19
CIW01	WIRED CONTROLLER	187	104.08	19,462.96
			EXW	276,035.37
		15%	Flete	41,405.31
			CIF	317,440.68

15%	Impuestos	47,616.10
	Subtotal	365,056.78
1.5%	G.Aduana	5,475.85
	Total	370,532.63
25%	GM	92,633.16
	GRAN TOTAL (\$)	463,165.79

DUCTERÍA

Rubro	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (CRC)	Precio Total (CRC)
DUCT-RECT	Ductería Rectangular	805	50,000.00	40,250,000.00
DUCT-FLEX	Ductería Flexible	644	15,000.00	9,660,000.00
			EXW	49,910,000.00
10.0%	G.Admin			4,991,000.00
	Total			54,901,000.00
25%	GM			13,725,250.00
	GRAN TOTAL (CRC)			68,626,250.00
	GRAN TOTAL (\$)			108,585.84

INSTALACIÓN

Rubro	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
INST-MEC	Instalación Mecánica / HP	62.2	4,500.00	279,900.00
			GRAN TOTAL (\$)	279,900.00

RESUMEN

Descripción		Precio Total(\$)
EQUIPOS TOTAL (CON TRATADO + SIN TRATADO)		1,001,567.29
DUCTERÍA		108,585.84
INSTALACIÓN		279,900.00
	SUBTOTAL	1,390,053.13
13.0%	I.V.A.	180,706.91
	GRAN TOTAL	1,570,760.03
	TON	512.00
	\$\$\$/TON	3,067.89

Nombre de Proyecto	N/A
Presupuesto	Chiller enfriado por aire Scroll
Tipo de cambio	632

CHILLER ENFRIADO POR AIRE

Modelo	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
YLA0155SE46XFB	CHILLER SCROLL ENFRIADO POR AGUA	3	72,220.10	216,660.30
				0.00
				0.00
			Subtotal	216,660.30
		10.0%	G.Admin	21,666.03
			Total	238,326.33
		25%	GM	59,581.58
			GRAN TOTAL (\$)	297,907.91

EVAPORADORAS Y CONTROLES

Modelo	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
TIWM012B21S	1 TON WALL MOUNT IU 208/230V 1PH	18	410.56	7,390.08
YIC4015B21S	1.3 TON 4-WAY CASSETTE IU 208/230V 1PH	2	597.04	1,194.08
YICM008B21S	0.7 TON MINI CASSETTE IU 208/230V 1PH	2	463.61	927.22
YICM012B21S	1.0 TON MINI CASSETTE IU 208/230V 1PH	4	467.15	1,868.60
YIDH027B22S	2.3 TON G2 DUCTED HI STA IU 208/230V 1PH	2	1,062.52	2,125.04
YIDH030B22S	2.5 TON G2 DUCTED HI STA IU 208/230V 1PH	2	1,129.04	2,258.08
YIDH048B22S	4.0 TON G2 DUCTED HI STA IU 208/230V 1PH	8	1,361.88	10,895.04
YIDH072B21S	6.0 TON DUCTED HI STATIC IU 208/230V 1PH	10	1,723.89	17,238.90
YIDM015B22S	1.3 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	12	922.08	11,064.96
YIDM018B22S	1.5 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	2	949.80	1,899.60
YIDM024B22S	2.0 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	8	999.68	7,997.44
YIDM027B22S	2.3 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	7	1,060.67	7,424.69
YIDM030B22S	2.5 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	2	1,121.65	2,243.30
YIDM036B22S	3.0 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	13	1,252.84	16,286.92
YIDM048B22S	4.0 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	44	1,382.20	60,816.80
YIDM054B22S	4.5 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	25	1,520.80	38,020.00
YIDS015B21S	1.3 TON DUCTED SLIM IU 208/230V 1PH	20	585.48	11,709.60
YIDS018B21S	1.5 TON DUCTED SLIM IU 208/230V 1PH	6	602.83	3,616.98
P-AP160NA2	PANEL FOR 4 WAY CASSETTE (STANDARD)	2	153.24	306.48
P-AP56NAM	PANEL FOR MINI-CASSETTE	6	165.08	990.48
CCL01	LARGE CENTRAL CONTROLLER	3	1,455.73	4,367.19
CIW01	WIRED CONTROLLER	187	104.08	19,462.96
				0.00
			EXW	230,104.44
		15%	Flete	34,515.67
			CIF	264,620.11
		15%	Impuestos	39,693.02
			Subtotal	304,313.12
		1.5%	G.Aduana	4,564.70
			Total	308,877.82
		25%	GM	77,219.45
			GRAN TOTAL (\$)	386,097.27

BOMBAS

Modelo	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
e-1510, Model 2 BD	Base Mounted Pump Series e-1510, Model 2 BD	3	1,761.00	5,283.00
BG_115119 - EC-3X	BG_115119 - EC-3X Suction Diffuser Plus 4 IN. FLN	3	356.00	1,068.00
BG_132161 - 3DS-4B	BG_132161 - 3DS-4B BALANCED Type Triple Duty	3	1,037.00	3,111.00
				0.00
				0.00
				0.00

				0.00
				0.00
				0.00
				0.00
			Subtotal	9,462.00
	15%		Flete	1,419.30
			CIF	10,881.30
	15%		Impuestos	1,632.20
			Subtotal	12,513.50
	1.5%		G.Aduana	187.70
			Total	12,701.20
	25%		GM	3,175.30
			GRAN TOTAL (\$)	15,876.50

DUCTERÍA

Rubro	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (CRC)	Precio Total (CRC)
DUCT-RECT	Ductería Rectangular	805	50,000.00	40,250,000.00
DUCT-FLEX	Ductería Flexible	644	15,000.00	9,660,000.00
			EXW	49,910,000.00
	10.0%		G.Admin	4,991,000.00
			Total	54,901,000.00
	25%		GM	13,725,250.00
			GRAN TOTAL (CRC)	68,626,250.00
			GRAN TOTAL (\$)	108,585.84

INSTALACIÓN

Rubro	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
INST-MEC	Instalación Mecánica / HP	62.2	4,800.00	298,560.00
			GRAN TOTAL (\$)	298,560.00

RESUMEN

Descripción	Precio Total(\$)
EQUIPOS TOTAL (CON TRATADO + SIN TRATADO)	699,881.68
DUCTERÍA	108,585.84
INSTALACIÓN	298,560.00
	SUBTOTAL
13.0%	I.V.A.
	GRAN TOTAL
	1,250,941.10
	TON
	512.00
	\$\$\$/TON
	2,443.24

Nombre de Proyecto	N/A
Presupuesto	Chiller enfriado por aire Screw
Tipo de cambio	632

CHILLERS

Modelo	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
YVAA0523JCF46BA	CHILLER SCROLL ENFRIADO POR AGUA	1	227,002.31	227,002.31
				0.00
				0.00
			Subtotal	227,002.31
		10.0%	G.Admin	22,700.23
			Total	249,702.54
		25%	GM	62,425.64
			GRAN TOTAL (\$)	312,128.18

EVAPORADORAS Y CONTROLES

Modelo	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
TIWM012B21S	1 TON WALL MOUNT IU 208/230V 1PH	18	410.56	7,390.08
YIC4015B21S	1.3 TON 4-WAY CASSETTE IU 208/230V 1PH	2	597.04	1,194.08
YICM008B21S	0.7 TON MINI CASSETTE IU 208/230V 1PH	2	463.61	927.22
YICM012B21S	1.0 TON MINI CASSETTE IU 208/230V 1PH	4	467.15	1,868.60
YIDH027B22S	2.3 TON G2 DUCTED HI STA IU 208/230V 1PH	2	1,062.52	2,125.04
YIDH030B22S	2.5 TON G2 DUCTED HI STA IU 208/230V 1PH	2	1,129.04	2,258.08
YIDH048B22S	4.0 TON G2 DUCTED HI STA IU 208/230V 1PH	8	1,361.88	10,895.04
YIDH072B21S	6.0 TON DUCTED HI STATIC IU 208/230V 1PH	10	1,723.89	17,238.90
YIDM015B22S	1.3 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	12	922.08	11,064.96
YIDM018B22S	1.5 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	2	949.80	1,899.60
YIDM024B22S	2.0 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	8	999.68	7,997.44
YIDM027B22S	2.3 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	7	1,060.67	7,424.69
YIDM030B22S	2.5 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	2	1,121.65	2,243.30
YIDM036B22S	3.0 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	13	1,252.84	16,286.92
YIDM048B22S	4.0 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	44	1,382.20	60,816.80
YIDM054B22S	4.5 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	25	1,520.80	38,020.00
YIDS015B21S	1.3 TON DUCTED SLIM IU 208/230V 1PH	20	585.48	11,709.60
YIDS018B21S	1.5 TON DUCTED SLIM IU 208/230V 1PH	6	602.83	3,616.98
P-AP160NA2	PANEL FOR 4 WAY CASSETTE (STANDARD)	2	153.24	306.48
P-AP56NAM	PANEL FOR MINI-CASSETTE	6	165.08	990.48
CCL01	LARGE CENTRAL CONTROLLER	3	1,455.73	4,367.19
CIW01	WIRED CONTROLLER	187	104.08	19,462.96
				0.00
				0.00
				0.00
				0.00
			EXW	230,104.44
		15%	Flete	34,515.67
			CIF	264,620.11
		15%	Impuestos	39,693.02
			Subtotal	304,313.12
		1.5%	G.Aduana	4,564.70
			Total	308,877.82
		25%	GM	77,219.45
			GRAN TOTAL (\$)	386,097.27

BOMBAS

Modelo	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
e-1510, Model 2 BD	Base Mounted Pump Series e-1510, Model 2.5 B	2	3,639.00	7,278.00
BG_115119 - EC-3X	BG_115104 - ED-3X Suction Diffuser Plus	2	423.00	846.00
BG_132161 - 3DS-4B	BG_132124 - 3DS-4S Triple Duty Valve Straight	2	1,194.00	2,388.00

Nombre de Proyecto	N/A
Presupuesto	Chiller enfriado por agua Scroll
Tipo de cambio	632

CHILLERS

Modelo	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
YCWL0157SE46XAC	CHILLER SCROLL ENFRIADO POR AGUA	3	63,391.81	190,175.43
				0.00
				0.00
			Subtotal	190,175.43
		10.0%	G.Admin	19,017.54
			Total	209,192.97
		25%	GM	52,298.24
			GRAN TOTAL (\$)	261,491.22

EVAPORADORAS Y CONTROLES

Modelo	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
TIWM012B21S	1 TON WALL MOUNT IU 208/230V 1PH	18	410.56	7,390.08
YIC4015B21S	1.3 TON 4-WAY CASSETTE IU 208/230V 1PH	2	597.04	1,194.08
YICM008B21S	0.7 TON MINI CASSETTE IU 208/230V 1PH	2	463.61	927.22
YICM012B21S	1.0 TON MINI CASSETTE IU 208/230V 1PH	4	467.15	1,868.60
YIDH027B22S	2.3 TON G2 DUCTED HI STA IU 208/230V 1PH	2	1,062.52	2,125.04
YIDH030B22S	2.5 TON G2 DUCTED HI STA IU 208/230V 1PH	2	1,129.04	2,258.08
YIDH048B22S	4.0 TON G2 DUCTED HI STA IU 208/230V 1PH	8	1,361.88	10,895.04
YIDH072B21S	6.0 TON DUCTED HI STATIC IU 208/230V 1PH	10	1,723.89	17,238.90
YIDM015B22S	1.3 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	12	922.08	11,064.96
YIDM018B22S	1.5 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	2	949.80	1,899.60
YIDM024B22S	2.0 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	8	999.68	7,997.44
YIDM027B22S	2.3 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	7	1,060.67	7,424.69
YIDM030B22S	2.5 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	2	1,121.65	2,243.30
YIDM036B22S	3.0 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	13	1,252.84	16,286.92
YIDM048B22S	4.0 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	44	1,382.20	60,816.80
YIDM054B22S	4.5 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	25	1,520.80	38,020.00
YIDS015B21S	1.3 TON DUCTED SLIM IU 208/230V 1PH	20	585.48	11,709.60
YIDS018B21S	1.5 TON DUCTED SLIM IU 208/230V 1PH	6	602.83	3,616.98
P-AP160NA2	PANEL FOR 4 WAY CASSETTE (STANDARD)	2	153.24	306.48
P-AP56NAM	PANEL FOR MINI-CASSETTE	6	165.08	990.48
CCL01	LARGE CENTRAL CONTROLLER	3	1,455.73	4,367.19
CIW01	WIRED CONTROLLER	187	104.08	19,462.96
				0.00
				0.00
				0.00
				0.00
			EXW	230,104.44
		15%	Flete	34,515.67
			CIF	264,620.11
		15%	Impuestos	39,693.02
			Subtotal	304,313.12
		1.5%	G.Aduana	4,564.70
			Total	308,877.82
		25%	GM	77,219.45
			GRAN TOTAL (\$)	386,097.27

BOMBAS y TORRES DE ENFRIAMIENTO

Modelo	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
e-1510, Model 2 BD	Base Mounted Pump Series e-1510, Model 2 BD	3	1,761.00	5,283.00
BG_115119 - EC-3X	BG_115119 - EC-3X Suction Diffuser Plus 4 IN. FL	3	356.00	1,068.00
BG_132161 - 3DS-4B	BG_132161 - 3DS-4B BALANCED Type Triple Duty	3	1,037.00	3,111.00

e-1510, Model 3 BD	B&G Base Mounted Pump Series e-1510, Model 3	3	4,585.00	13,755.00
BG_115121 - EE-3X	Suction Diffuser Plus	3	490.00	1,470.00
BG_132124 - 3DS-4S	Triple Duty Valve Straight	3	1,194.00	3,582.00
XES3E-8518-0	BAC Cooling Tower	3	57,800.00	173,400.00
				0.00
				0.00
				0.00
			EXW	201,669.00
	20%		Flete	40,333.80
			CIF	242,002.80
	15%		Impuestos	36,300.42
			Subtotal	278,303.22
	1.5%		G.Aduana	4,174.55
			Total	282,477.77
	25%		GM	70,619.44
			GRAN TOTAL (\$)	353,097.21

DUCTERÍA

Rubro	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (CRC)	Precio Total (CRC)
DUCT-RECT	Ductería Rectangular	805	50,000.00	40,250,000.00
DUCT-FLEX	Ductería Flexible	644	15,000.00	9,660,000.00
			EXW	49,910,000.00
	10.0%		G.Admin	4,991,000.00
			Total	54,901,000.00
	25%		GM	13,725,250.00
			GRAN TOTAL (CRC)	68,626,250.00
			GRAN TOTAL (\$)	108,585.84

INSTALACIÓN

Rubro	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
INST-MEC	Instalación Mecánica / HP	62.2	5,000.00	311,000.00
			GRAN TOTAL (\$)	311,000.00

RESUMEN

Descripción	Precio Total(\$)
EQUIPOS TOTAL (CON TRATADO + SIN TRATADO)	1,000,685.70
DUCTERÍA	108,585.84
INSTALACIÓN	311,000.00
	SUBTOTAL
13.0%	1,420,271.54
	I.V.A.
	184,635.30
	GRAN TOTAL
	1,604,906.84
	TON
	512.00
	\$\$\$ / TON
	3,134.58

Nombre de Proyecto	N/A
Presupuesto	Chiller enfriado por agua Screw
Tipo de cambio	632

CHILLERS

Modelo	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
YVWAMBMEEEEAE0210SAX46	CHILLER SCREW ENFRIADO POR AGUA	2	122,138.79	244,277.58
				0.00
				0.00
			Subtotal	244,277.58
		10.0%	G.Admin	24,427.76
			Total	268,705.34
		25%	GM	67,176.33
			GRAN TOTAL (\$)	335,881.67

EVAPORADORES Y CONTROLES

Modelo	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
TIWM012B21S	1 TON WALL MOUNT IU 208/230V 1PH	18	410.56	7,390.08
YIC4015B21S	1.3 TON 4-WAY CASSETTE IU 208/230V 1PH	2	597.04	1,194.08
YICM008B21S	0.7 TON MINI CASSETTE IU 208/230V 1PH	2	463.61	927.22
YICM012B21S	1.0 TON MINI CASSETTE IU 208/230V 1PH	4	467.15	1,868.60
YIDH027B22S	2.3 TON G2 DUCTED HI STA IU 208/230V 1PH	2	1,062.52	2,125.04
YIDH030B22S	2.5 TON G2 DUCTED HI STA IU 208/230V 1PH	2	1,129.04	2,258.08
YIDH048B22S	4.0 TON G2 DUCTED HI STA IU 208/230V 1PH	8	1,361.88	10,895.04
YIDH072B21S	6.0 TON DUCTED HI STATIC IU 208/230V 1PH	10	1,723.89	17,238.90
YIDM015B22S	1.3 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	12	922.08	11,064.96
YIDM018B22S	1.5 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	2	949.80	1,899.60
YIDM024B22S	2.0 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	8	999.68	7,997.44
YIDM027B22S	2.3 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	7	1,060.67	7,424.69
YIDM030B22S	2.5 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	2	1,121.65	2,243.30
YIDM036B22S	3.0 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	13	1,252.84	16,286.92
YIDM048B22S	4.0 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	44	1,382.20	60,816.80
YIDM054B22S	4.5 TON G2 DUCTED MD STA IU 208/230V 1PH	25	1,520.80	38,020.00
YIDS015B21S	1.3 TON DUCTED SLIM IU 208/230V 1PH	20	585.48	11,709.60
YIDS018B21S	1.5 TON DUCTED SLIM IU 208/230V 1PH	6	602.83	3,616.98
P-AP160NA2	PANEL FOR 4 WAY CASSETTE (STANDARD)	2	153.24	306.48
P-AP56NAM	PANEL FOR MINI-CASSETTE	6	165.08	990.48
CCL01	LARGE CENTRAL CONTROLLER	3	1,455.73	4,367.19
CIW01	WIRED CONTROLLER	187	104.08	19,462.96
				0.00
				0.00
				0.00
				0.00
			EXW	230,104.44
		15%	Flete	34,515.67
			CIF	264,620.11
		15%	Impuestos	39,693.02
			Subtotal	304,313.12
		1.5%	G.Aduana	4,564.70
			Total	308,877.82
		25%	GM	77,219.45
			GRAN TOTAL (\$)	386,097.27

BOMBAS y TORRES DE ENFRIAMIENTO

Modelo	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
e-1510, Model 2 BD	Base Mounted Pump Series e-1510, Model 2.5 BB	2	1,761.00	3,522.00
BG_115119 - EC-3X	BG_115104 - ED-3X Suction Diffuser Plus	2	356.00	712.00
BG_132161 - 3DS-4B	BG_132124 - 3DS-4S Triple Duty Valve Straight	2	1,037.00	2,074.00
e-1510, Model 2.5 BB	Base Mounted Pump Series e-1510, Model 2.5	2	4,585.00	9,170.00
BG_115104 - ED-3X	Suction Diffuser Plus 4 IN.	2	490.00	980.00

BG_132124 - 3DS-4S	Triple Duty Valve Straight 4 IN.	2	1,194.00	2,388.00
XES3E-8518-0	BAC Cooling Tower	2	63,400.00	126,800.00
			EXW	145,646.00
		20%	Flete	29,129.20
			CIF	174,775.20
		15%	Impuestos	26,216.28
			Subtotal	200,991.48
		1.5%	G.Aduana	3,014.87
			Total	204,006.35
		25%	GM	51,001.59
			GRAN TOTAL (\$)	255,007.94

DUCTERÍA

Rubro	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (CRC)	Precio Total (CRC)
DUCT-RECT	Ductería Rectangular	805	50,000.00	40,250,000.00
DUCT-FLEX	Ductería Flexible	644	15,000.00	9,660,000.00
			EXW	49,910,000.00
		10.0%	G.Admin	4,991,000.00
			Total	54,901,000.00
		25%	GM	13,725,250.00
			GRAN TOTAL (CRC)	68,626,250.00
			GRAN TOTAL (\$)	108,585.84

INSTALACIÓN

Rubro	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
INST-MEC	Instalación Mecánica / HP	62.2	5,000.00	311,000.00
			GRAN TOTAL (\$)	311,000.00

RESUMEN

Descripción	Precio Total(\$)	
EQUIPOS TOTAL (CON TRATADO + SIN TRATADO)	976,986.89	
DUCTERÍA	108,585.84	
INSTALACIÓN	311,000.00	
	SUBTOTAL	1,396,572.72
13.0%	I.V.A.	181,554.45
	GRAN TOTAL	1,578,127.18
	TON	512.00
	\$\$\$/TON	3,082.28

Nombre de Proyecto	N/A	
Presupuesto	Mantenimiento	
Tipo de cambio	632	

MANTENIMIENTO VRF

Modelo	Recambio	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Evaporador VRV	370	51.41	19,021.70
Condensador VRV hasta 10 HP	3	58.62	175.86
Condensador VRV más 10 HP	42	75.36	3,165.12
TOTAL POR VISITA			22,362.68

MANTENIMIENTO CHILLER ENFRIADO POR AIRE TIPO SCROLL

Modelo	Recambio	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Bombas 5 HP para arriba	3	56.05	168.15
Chiller 140 Ton o mas	3	397.22	1,191.66
Evaporador VRV	370	51.41	19,021.70
TOTAL POR VISITA			20,381.51

MANTENIMIENTO CHILLER ENFRIADO POR AIRE TIPO TORNILLO

Modelo	Recambio	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Bombas 5 HP para arriba	2	56.05	112.10
Chiller 140 Ton o mas	1	397.22	397.22
Evaporador VRV	370	51.41	19,021.70
TOTAL POR VISITA			19,531.02

MANTENIMIENTO CHILLER ENFRIADO POR AGUA TIPO SCROLL

Modelo	Recambio	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Bombas 5 HP para arriba	6	56.05	336.30
Chiller 140 Ton o mas	3	397.22	1,191.66
Torre (más de 100 Ton)	3	420.37	1,261.11
Evaporador VRV	370	51.41	19,021.70
TOTAL POR VISITA			21,810.77

MANTENIMIENTO CHILLER ENFRIADO POR AGUA TIPO TORNILLO

Modelo	Recambio	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Bombas 5 HP para arriba	4	56.05	224.20
Chiller 140 Ton o mas	2	397.22	794.44
Torre (más de 100 Ton)	2	420.37	840.74
Evaporador VRV	370	51.41	19,021.70
TOTAL POR VISITA			20,881.08

**Anexo 5. Memoria de cálculo de consumo de agua
para chillers enfriados por agua**

Sistema de aire acondicionado	CHILLER WC TORNILLO
-------------------------------	---------------------

Calor de rechazo	
BTU/h	kW
3,086,000.00	904.42

Entalpía evaporización agua (kJ/kg)
2,431.10

Agua evaporizada	
kg/s	kg/h
0.372	1,339.271

Densidad del agua (kg/m3)
995.71

Flujo de agua evaporizada	
m3/h	
1.3450	

Torre 1 (horas) PS-C	Torre 2 (horas) PS-C
2,750.00	2,153.00

Agua de sustitución anual (m3)	Agua de sustitución anual (m3)
3,698.86	2,895.87

TOTAL ANNUAL
6,594.74

TOTAL MENSUAL
549.56

COSTO MENSUAL M3 (CRC)	1,118,705.45
COSTO ANUAL M3 (CRC)	13,424,465.36
COSTO ANUAL (\$)	\$20,861.32

*Tarifas tomadas del ARESEP vigentes para hasta Diciembre, 2021

**Tipo de cambio de venta BCCR para 7/11/2021

Sistema de aire acondicionado	CHILLER WC SCROLL
-------------------------------	-------------------

Calor de rechazo	
BTU/h	kW
2,145,000.00	628.64

Entalpía evaporización agua (kJ/kg)
2,431.10

Agua evaporizada	
kg/s	kg/h
0.259	930.893

Densidad del agua (kg/m3)
995.71

Flujo de agua evaporizada
m3/h
0.9349

Torre 1 (horas) PS-C	Torre 2 (horas) PS-C	Torre 3 (horas) PS-C
2,750.00	2,716.00	1,703.00

Agua de sustitución anual (m3)	Agua de sustitución anual (m3)	Agua de sustitución anual (m3)
2,570.99	2,539.20	1,592.14

TOTAL ANNUAL
6,702.33

TOTAL MENSUAL
558.53

COSTO MENSUAL M3 (CRC)	1,137,201.78
COSTO ANUAL M3 (CRC)	13,646,421.33
COSTO ANUAL (\$)	\$21,206.23

*Tarifas tomadas del ARESEP vigentes para hasta Diciembre, 2021

**Tipo de cambio de venta BCCR para 7/11/2021

Anexo 6. Análisis financiero de los sistemas de aire acondicionado

Análisis Financiero de Sistema	Volumen Variable de Refrigerante (VRF)
--------------------------------	----------------------------------------

Variación interanual de precios (BCCR, Set 2021)	2.09%
Tasa de corte	10.00%

Inversión inicial HVAC	\$1,570,760.03
Inversión inicial Paneles	\$328,320.00
Inversión inicial TOTAL	\$1,899,080.03

Periodo (Años)	Consumo de energía		Mantenimiento		tCO2		Balance Final	Acumulado
	AC SCROLL	VRF	AC SCROLL	VRF	AC SCROLL	VRF		
0	---	---	---	---	---	---	(\$1,899,080.03)	(\$1,899,080.03)
1	\$411,636.00	\$295,649.00	\$81,526.04	\$89,450.72	\$24,875.00	\$20,422.62	\$112,514.69	(\$1,786,565.34)
2	\$420,239.19	\$301,828.06	\$83,229.93	\$91,320.24	\$25,394.88	\$20,849.46	\$114,866.25	(\$1,671,699.09)
3	\$429,022.19	\$308,136.27	\$84,969.44	\$93,228.83	\$25,925.64	\$21,285.21	\$117,266.96	(\$1,554,432.13)
4	\$437,988.76	\$314,576.32	\$86,745.30	\$95,177.32	\$26,467.48	\$21,730.07	\$119,717.83	(\$1,434,714.30)
5	\$447,142.72	\$321,150.96	\$88,558.28	\$97,166.52	\$27,020.65	\$22,184.23	\$122,219.94	(\$1,312,494.36)
6	\$456,488.00	\$327,863.02	\$90,409.15	\$99,197.30	\$27,585.38	\$22,647.88	\$124,774.33	(\$1,187,720.03)
7	\$466,028.60	\$334,715.36	\$92,298.70	\$101,270.53	\$28,161.92	\$23,121.22	\$127,382.12	(\$1,060,337.91)
8	\$475,768.60	\$341,710.91	\$94,227.74	\$103,387.08	\$28,750.50	\$23,604.45	\$130,044.40	(\$930,293.51)
9	\$485,712.16	\$348,852.66	\$96,197.10	\$105,547.87	\$29,351.39	\$24,097.79	\$132,762.33	(\$797,531.17)
10	\$495,863.55	\$356,143.69	\$98,207.62	\$107,753.82	\$29,964.83	\$24,601.43	\$135,537.06	(\$661,994.11)
11	\$506,227.10	\$363,587.09	\$100,260.16	\$110,005.87	\$30,591.10	\$25,115.60	(\$1,833,712.74)	(\$2,495,706.85)
12	\$516,807.24	\$371,186.06	\$102,355.60	\$112,305.00	\$31,230.45	\$25,640.52	\$141,261.72	(\$2,354,445.13)
13	\$527,608.51	\$378,943.85	\$104,494.83	\$114,652.17	\$31,883.17	\$26,176.40	\$144,214.09	(\$2,210,231.04)
14	\$538,635.53	\$386,863.77	\$106,678.77	\$117,048.40	\$32,549.53	\$26,723.49	\$147,228.16	(\$2,063,002.88)
15	\$549,893.01	\$394,949.23	\$108,908.36	\$119,494.71	\$33,229.81	\$27,282.01	\$150,305.23	(\$1,912,697.65)
16	\$561,385.78	\$403,203.67	\$111,184.54	\$121,992.15	\$33,924.31	\$27,852.20	\$153,446.61	(\$1,759,251.04)
17	\$573,118.74	\$411,630.62	\$113,508.30	\$124,541.79	\$34,633.33	\$28,434.32	\$156,653.64	(\$1,602,597.39)
18	\$585,096.92	\$420,233.70	\$115,880.62	\$127,144.71	\$35,357.17	\$29,028.59	\$159,927.71	(\$1,442,669.69)
19	\$597,325.45	\$429,016.59	\$118,302.53	\$129,802.04	\$36,096.13	\$29,635.29	\$163,270.19	(\$1,279,399.49)
20	\$609,809.55	\$437,983.03	\$120,775.05	\$132,514.90	\$36,850.54	\$30,254.67	\$166,682.54	(\$1,112,716.95)

Retorno de Inversión	No se recupera
Valor presente	\$411,459.20
TIR	-5.82%

Análisis Financiero de Sistema	Chiller enfriado por aire tipo Tornillo
--------------------------------	-----------------------------------------

Variación interanual de precios (BCCR, Set 2021)	2.09%
Tasa de corte	10.00%

Inversión inicial	\$1,269,000.85
Inversión inicial Paneles	\$328,320.00
Inversión inicial TOTAL	\$1,597,320.85

Periodo (Años)	Consumo de energía		Mantenimiento		tCO2		Balance Final	Acumulado
	AC SCROLL	AC SCREW	AC SCROLL	AC SCREW	AC SCROLL	AC SCREW		
0	---	---	---	---	---	---	(\$1,597,320.85)	(\$1,597,320.85)
1	\$411,636.00	\$312,574.00	\$81,526.04	\$78,124.08	\$24,875.00	\$21,591.52	\$105,747.44	(\$1,491,573.41)
2	\$420,239.19	\$319,106.80	\$83,229.93	\$79,756.87	\$25,394.88	\$22,042.78	\$107,957.56	(\$1,383,615.85)
3	\$429,022.19	\$325,776.13	\$84,969.44	\$81,423.79	\$25,925.64	\$22,503.47	\$110,213.87	(\$1,273,401.97)
4	\$437,988.76	\$332,584.85	\$86,745.30	\$83,125.55	\$26,467.48	\$22,973.80	\$112,517.34	(\$1,160,884.63)
5	\$447,142.72	\$339,535.87	\$88,558.28	\$84,862.87	\$27,020.65	\$23,453.95	\$114,868.96	(\$1,046,015.67)
6	\$456,488.00	\$346,632.17	\$90,409.15	\$86,636.51	\$27,585.38	\$23,944.14	\$117,269.72	(\$928,745.95)
7	\$466,028.60	\$353,876.79	\$92,298.70	\$88,447.21	\$28,161.92	\$24,444.57	\$119,720.66	(\$809,025.30)
8	\$475,768.60	\$361,272.81	\$94,227.74	\$90,295.76	\$28,750.50	\$24,955.46	\$122,222.82	(\$686,802.48)
9	\$485,712.16	\$368,823.41	\$96,197.10	\$92,182.94	\$29,351.39	\$25,477.03	\$124,777.27	(\$562,025.21)
10	\$495,863.55	\$376,531.82	\$98,207.62	\$94,109.56	\$29,964.83	\$26,009.50	\$127,385.12	(\$434,640.09)
11	\$506,227.10	\$384,401.34	\$100,260.16	\$96,076.45	\$30,591.10	\$26,553.10	\$130,047.47	(\$304,592.62)
12	\$516,807.24	\$392,435.32	\$102,355.60	\$98,084.45	\$31,230.45	\$27,108.06	\$132,765.46	(\$171,827.16)
13	\$527,608.51	\$400,637.22	\$104,494.83	\$100,134.41	\$31,883.17	\$27,674.61	\$135,540.26	(\$36,286.90)
14	\$538,635.53	\$409,010.54	\$106,678.77	\$102,227.22	\$32,549.53	\$28,253.01	\$138,373.05	\$102,086.15
15	\$549,893.01	\$417,558.86	\$108,908.36	\$104,363.77	\$33,229.81	\$28,843.50	\$141,265.05	\$243,351.20
16	\$561,385.78	\$426,285.84	\$111,184.54	\$106,544.98	\$33,924.31	\$29,446.33	\$144,217.49	\$387,568.68
17	\$573,118.74	\$435,195.21	\$113,508.30	\$108,771.77	\$34,633.33	\$30,061.76	\$147,231.63	\$534,800.31
18	\$585,096.92	\$444,290.79	\$115,880.62	\$111,045.10	\$35,357.17	\$30,690.05	\$150,308.77	\$685,109.09
19	\$597,325.45	\$453,576.47	\$118,302.53	\$113,365.94	\$36,096.13	\$31,331.47	\$153,450.23	\$838,559.31
20	\$609,809.55	\$463,056.22	\$120,775.05	\$115,735.29	\$36,850.54	\$31,986.30	\$156,657.34	\$995,216.65

Retorno de Inversión (años)	13.26
Valor presente	\$1,036,341.92
TIR	4.760%

Análisis Financiero de Sistema	Chiller enfriado por agua tipo Scroll
---------------------------------------	---------------------------------------

Variación interanual de precios (BCCR, Set 2021)	2.09%
Fase de corte	10.00%

Inversión inicial	\$1,604,906.84
Inversión inicial Paneles	\$328,320.00
Inversión inicial TOTAL	\$1,933,226.84

Periodo (Años)	Consumo de energía		Mantenimiento		tCO2		Agua		Tratamiento de agua		Balance Final	Acumulado
	AC SCROLL	WC SCROLL	AC SCROLL	WC SCROLL	AC SCROLL	WC SCROLL	AC SCROLL	WC SCROLL	AC SCROLL	WC SCROLL		
0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	(\$1,933,226.84)	(\$1,933,226.84)
1	\$411,636.00	\$296,306.00	\$81,526.04	\$87,243.08	\$24,875.00	\$19,809.84	\$0.00	\$21,206.23	\$0.00	\$10,800.00	\$82,671.89	(\$1,850,554.95)
2	\$420,239.19	\$302,498.80	\$83,229.93	\$89,066.46	\$25,394.88	\$20,223.87	\$0.00	\$21,649.44	\$0.00	\$11,025.72	\$84,399.73	(\$1,766,155.22)
3	\$429,022.19	\$308,821.02	\$84,969.44	\$90,927.95	\$25,925.64	\$20,646.54	\$0.00	\$22,101.91	\$0.00	\$11,256.16	\$86,163.68	(\$1,679,991.54)
4	\$437,988.76	\$315,275.38	\$86,745.30	\$92,828.34	\$26,467.48	\$21,078.06	\$0.00	\$22,563.84	\$0.00	\$11,491.41	\$87,964.50	(\$1,592,027.04)
5	\$447,142.72	\$321,864.63	\$88,558.28	\$94,768.46	\$27,020.65	\$21,518.59	\$0.00	\$23,035.43	\$0.00	\$11,731.58	\$89,802.96	(\$1,502,224.07)
6	\$456,488.00	\$328,591.61	\$90,409.15	\$96,749.12	\$27,585.38	\$21,968.33	\$0.00	\$23,516.87	\$0.00	\$11,976.77	\$91,679.84	(\$1,410,544.23)
7	\$466,028.60	\$335,459.17	\$92,298.70	\$98,771.17	\$28,161.92	\$22,427.46	\$0.00	\$24,008.37	\$0.00	\$12,227.09	\$93,595.95	(\$1,316,948.28)
8	\$475,768.60	\$342,470.27	\$94,227.74	\$100,835.49	\$28,750.50	\$22,896.20	\$0.00	\$24,510.15	\$0.00	\$12,482.63	\$95,552.11	(\$1,221,396.17)
9	\$485,712.16	\$349,627.90	\$96,197.10	\$102,942.95	\$29,351.39	\$23,374.73	\$0.00	\$25,022.41	\$0.00	\$12,743.52	\$97,549.15	(\$1,123,847.02)
10	\$495,863.55	\$356,935.12	\$98,207.62	\$105,094.46	\$29,964.83	\$23,863.26	\$0.00	\$25,545.38	\$0.00	\$13,009.86	\$99,587.92	(\$1,024,259.10)
11	\$506,227.10	\$364,395.06	\$100,260.16	\$107,290.93	\$30,591.10	\$24,362.00	\$0.00	\$26,079.28	\$0.00	\$13,281.77	\$101,669.31	(\$922,589.78)
12	\$516,807.24	\$372,010.92	\$102,355.60	\$109,533.31	\$31,230.45	\$24,871.17	\$0.00	\$26,624.33	\$0.00	\$13,559.35	\$103,794.20	(\$818,795.58)
13	\$527,608.51	\$379,785.95	\$104,494.83	\$111,822.56	\$31,883.17	\$25,390.98	\$0.00	\$27,180.78	\$0.00	\$13,842.74	\$105,963.50	(\$712,832.08)
14	\$538,635.53	\$387,723.47	\$106,678.77	\$114,159.65	\$32,549.53	\$25,921.65	\$0.00	\$27,748.86	\$0.00	\$14,132.06	\$108,178.14	(\$604,653.95)
15	\$549,893.01	\$395,826.89	\$108,908.36	\$116,545.59	\$33,229.81	\$26,463.41	\$0.00	\$28,328.81	\$0.00	\$14,427.42	\$110,439.06	(\$494,214.89)
16	\$561,385.78	\$404,099.68	\$111,184.54	\$118,981.39	\$33,924.31	\$27,016.50	\$0.00	\$28,920.88	\$0.00	\$14,728.95	\$112,747.24	(\$381,467.65)
17	\$573,118.74	\$412,545.36	\$113,508.30	\$121,468.10	\$34,633.33	\$27,581.14	\$0.00	\$29,525.33	\$0.00	\$15,036.79	\$115,103.65	(\$266,364.00)
18	\$585,096.92	\$421,167.56	\$115,880.62	\$124,006.79	\$35,357.17	\$28,157.59	\$0.00	\$30,142.41	\$0.00	\$15,351.05	\$117,509.32	(\$148,854.68)
19	\$597,325.45	\$429,969.96	\$118,302.53	\$126,598.53	\$36,096.13	\$28,746.08	\$0.00	\$30,772.38	\$0.00	\$15,671.89	\$119,965.26	(\$28,889.41)
20	\$609,809.55	\$438,956.33	\$120,775.05	\$129,244.44	\$36,850.54	\$29,346.87	\$0.00	\$31,415.53	\$0.00	\$15,999.43	\$122,472.54	\$93,583.13

Retorno de Inversión (años)	19.24
Valor presente	\$810,197.78
TIR	0.426%

Análisis Financiero de Sistema	Chiller enfriado por agua tipo Tornillo
--------------------------------	-----------------------------------------

Variación interanual de precios (BCCR, Set 2021)	2.09%
Fasa de corte	10.00%

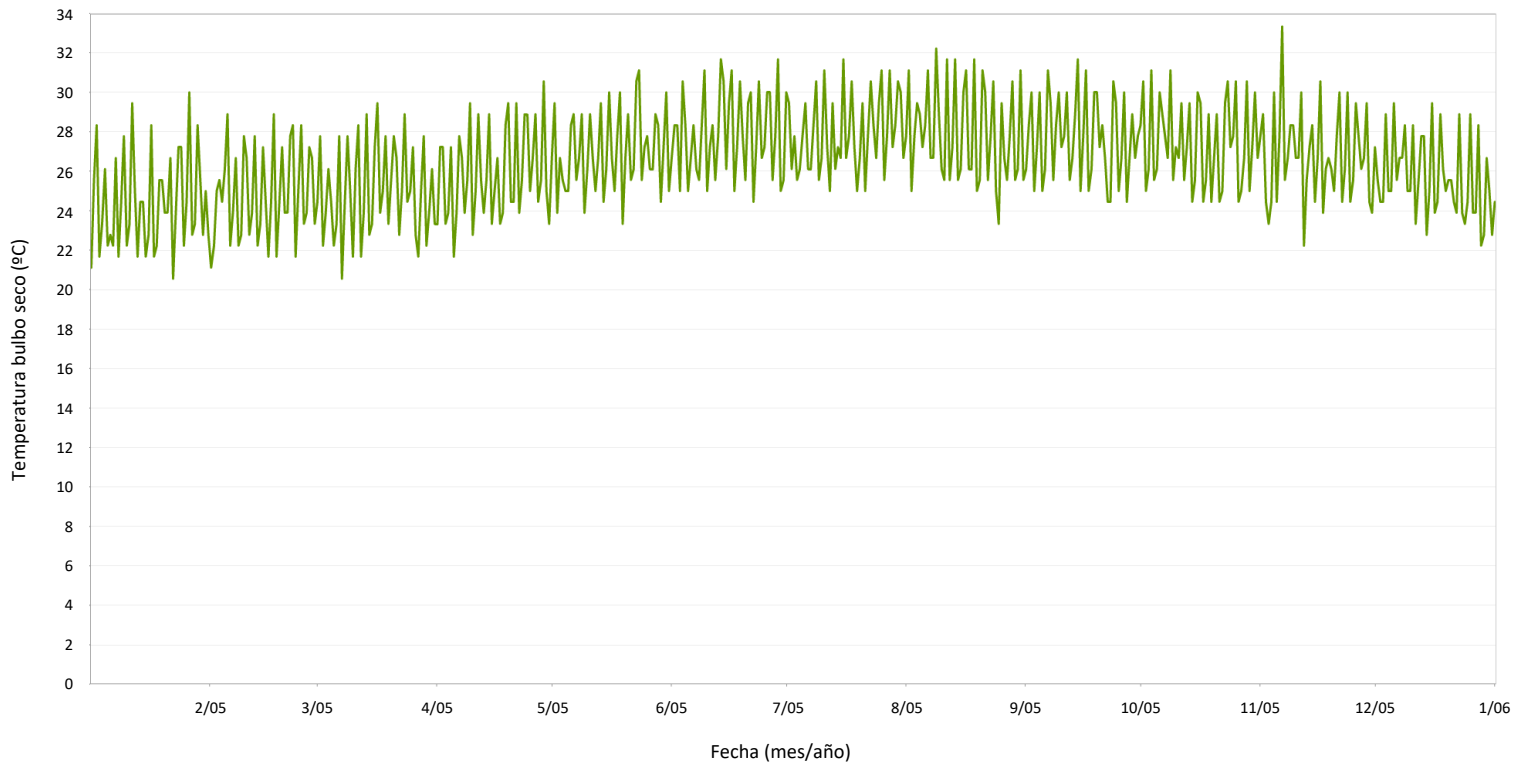
Inversión inicial	\$1,578,127.18
Inversión inicial Paneles	\$328,320.00
Inversión inicial TOTAL	\$1,906,447.18

Periodo (Años)	Consumo de energía		Mantenimiento		tCO2		Agua		Tratamiento de agua		Balance Final	Acumulado
	AC SCROLL	WC SCREW	AC SCROLL	WC SCREW	AC SCROLL	WC SCREW	AC SCROLL	WC SCROLL	AC SCROLL	WC SCROLL		
0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	(\$1,906,447.18)	(\$1,906,447.18)
1	\$411,636.00	\$278,841.00	\$81,526.04	\$83,524.32	\$24,875.00	\$19,069.56	\$0.00	\$20,861.32	\$0.00	\$10,800.00	\$104,940.84	(\$1,801,506.34)
2	\$420,239.19	\$284,668.78	\$83,229.93	\$85,269.98	\$25,394.88	\$19,468.11	\$0.00	\$21,297.32	\$0.00	\$11,025.72	\$107,134.11	(\$1,694,372.23)
3	\$429,022.19	\$290,618.35	\$84,969.44	\$87,052.12	\$25,925.64	\$19,875.00	\$0.00	\$21,742.43	\$0.00	\$11,256.16	\$109,373.21	(\$1,584,999.02)
4	\$437,988.76	\$296,692.28	\$86,745.30	\$88,871.51	\$26,467.48	\$20,290.38	\$0.00	\$22,196.85	\$0.00	\$11,491.41	\$111,659.11	(\$1,473,339.91)
5	\$447,142.72	\$302,893.15	\$88,558.28	\$90,728.92	\$27,020.65	\$20,714.45	\$0.00	\$22,660.76	\$0.00	\$11,731.58	\$113,992.78	(\$1,359,347.13)
6	\$456,488.00	\$309,223.61	\$90,409.15	\$92,625.16	\$27,585.38	\$21,147.38	\$0.00	\$23,134.37	\$0.00	\$11,976.77	\$116,375.23	(\$1,242,971.90)
7	\$466,028.60	\$315,686.39	\$92,298.70	\$94,561.03	\$28,161.92	\$21,589.36	\$0.00	\$23,617.88	\$0.00	\$12,227.09	\$118,807.48	(\$1,124,164.42)
8	\$475,768.60	\$322,284.23	\$94,227.74	\$96,537.35	\$28,750.50	\$22,040.58	\$0.00	\$24,111.49	\$0.00	\$12,482.63	\$121,290.55	(\$1,002,873.87)
9	\$485,712.16	\$329,019.97	\$96,197.10	\$98,554.98	\$29,351.39	\$22,501.23	\$0.00	\$24,615.42	\$0.00	\$12,743.52	\$123,825.52	(\$879,048.34)
10	\$495,863.55	\$335,896.49	\$98,207.62	\$100,614.78	\$29,964.83	\$22,971.51	\$0.00	\$25,129.89	\$0.00	\$13,009.86	\$126,413.48	(\$752,634.87)
11	\$506,227.10	\$342,916.73	\$100,260.16	\$102,717.63	\$30,591.10	\$23,451.61	\$0.00	\$25,655.10	\$0.00	\$13,281.77	\$129,055.52	(\$623,579.35)
12	\$516,807.24	\$350,083.69	\$102,355.60	\$104,864.43	\$31,230.45	\$23,941.75	\$0.00	\$26,191.29	\$0.00	\$13,559.35	\$131,752.78	(\$491,826.57)
13	\$527,608.51	\$357,400.44	\$104,494.83	\$107,056.09	\$31,883.17	\$24,442.13	\$0.00	\$26,738.69	\$0.00	\$13,842.74	\$134,506.41	(\$357,320.15)
14	\$538,635.53	\$364,870.10	\$106,678.77	\$109,293.57	\$32,549.53	\$24,952.97	\$0.00	\$27,297.53	\$0.00	\$14,132.06	\$137,317.60	(\$220,002.55)
15	\$549,893.01	\$372,495.89	\$108,908.36	\$111,577.80	\$33,229.81	\$25,474.49	\$0.00	\$27,868.05	\$0.00	\$14,427.42	\$140,187.53	(\$79,815.02)
16	\$561,385.78	\$380,281.05	\$111,184.54	\$113,909.78	\$33,924.31	\$26,006.91	\$0.00	\$28,450.49	\$0.00	\$14,728.95	\$143,117.45	\$63,302.43
17	\$573,118.74	\$388,228.93	\$113,508.30	\$116,290.49	\$34,633.33	\$26,550.45	\$0.00	\$29,045.11	\$0.00	\$15,036.79	\$146,108.61	\$209,411.04
18	\$585,096.92	\$396,342.91	\$115,880.62	\$118,720.96	\$35,357.17	\$27,105.35	\$0.00	\$29,652.15	\$0.00	\$15,351.05	\$149,162.28	\$358,573.32
19	\$597,325.45	\$404,626.48	\$118,302.53	\$121,202.23	\$36,096.13	\$27,671.86	\$0.00	\$30,271.88	\$0.00	\$15,671.89	\$152,279.77	\$510,853.09
20	\$609,809.55	\$413,083.17	\$120,775.05	\$123,735.36	\$36,850.54	\$28,250.20	\$0.00	\$30,904.56	\$0.00	\$15,999.43	\$155,462.42	\$666,315.51

Retorno de Inversión (años)	15.56
Valor presente	\$1,028,437.13
TIR	2.835%

**Anexo 7. Datos climáticos del Aeropuerto Juan
Santamaría, Alajuela, Costa Rica**

**TEMPERATURA BULBO SECO A LO LARGO DEL AÑO EN LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA DEL AEROPUERTO JUAN SANTAMARÍA,
ALAJUELA, COSTA RICA**



HUMEDAD RELATIVA A LO LARGO DEL AÑO EN LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA DEL AEROPUERTO JUAN SANTAMARÍA, ALAJUELA, COSTA RICA

