

**RECOMENDACIONES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA REALIZACIÓN Y LA
EVALUACIÓN DEL DISEÑO ENERGÉTICO VERDE DE EDIFICACIONES EN LA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

SONIA ESPERANZA ECHEVERRIA ROJAS

LICETH PAOLA TORRES PARADA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
DE TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2014

**RECOMENDACIONES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA REALIZACIÓN Y LA
EVALUACIÓN DEL DISEÑO ENERGÉTICO VERDE DE EDIFICACIONES EN LA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

SONIA ESPERANZA ECHEVERRIA ROJAS

LICETH PAOLA TORRES PARADA

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
Ingeniero Electricista**

DIRECTOR: MSc. GERMÁN ALFONSO OSMA PINTO

CODIRECTOR: Dr. GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAICAS

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES**

BUCARAMANGA

2014

A mis padres Doris Amanda Rojas Niño y Oswaldo Enrique Echeverría Salamanca por todo su apoyo, comprensión y amor. Ellos siempre fueron importantes en mi vida, siempre han estado para mí y nunca habría logrado esto sin ellos.

A mis hermanos Fabio Enrique Echeverría Rojas y Lina María Echeverría Rojas porque son los mejores hermanos del mundo, tenerlos a mi lado es lo mejor que me pudo pasar.

A mi abuela María Narcisa Niño que es un ejemplo para mí, me enseñó que aún en tiempos difíciles Dios siempre está con nosotros.

A mis amigos, en especial los que conocí en la universidad porque me ayudaron a crecer como persona, me inspiraron a ser mejor, me hicieron reír y compartí buenos momentos con ellos.

Sonia Esperanza Echeverría Rojas

A Dios y la Virgen María por bendecirme durante estos años.

A mis padres por el apoyo constante y su comprensión. En especial a mi madre por sus palabras de motivación cada día.

A mis hermanos por su cariño y sus consejos.

A Maggie por su apoyo incondicional, compañía y estar a mi lado siempre.

A mis familiares y amigos que compartieron conmigo momentos que serán inolvidables.

Liceth Paola Torres Parada

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primer lugar a Dios y a nuestros padres. También, a nuestro director de proyecto MSc. German Alfonso Osma Pinto por sus conocimientos y comprensión durante el transcurso de la realización de esta investigación. Además a nuestro Co- director PhD. Gabriel Ordoñez Plata por su colaboración y a todas aquellas personas que estuvieron involucradas de una u otra manera en el crecimiento personal y profesional en nuestras vidas.

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	15
1. METODOLOGÍA DEL PROYECTO	15
2. ENFOQUES METODOLÓGICOS	16
2.1 PRIMER ENFOQUE METODOLÓGICO.....	16
2.2 SEGUNDO ENFOQUE METODOLÓGICO	17
2.3 TERCER ENFOQUE METODOLÓGICO	17
2.4 SIMILITUDES.....	17
2.5 DIFERENCIAS	18
2.6 RECOMENDACIONES	18
2.6.1 BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN.....	18
2.6.2 PLANEACIÓN DE LOS SISTEMAS FUNDAMENTALES DEL EDIFICIO	18
2.6.3 ELABORACIÓN DE UN DISEÑO INICIAL	19
2.6.4 ANÁLISIS DE DATOS	19
2.6.5 ELABORACIÓN DEL DISEÑO FINAL.....	19
2.6.6 MODELADO EN 3D Y RESPECTIVAS SIMULACIONES.....	19
2.6.7 VALORACIÓN DEL DISEÑO.....	19
3. ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN	19
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN DE ANÁLISIS	20
3.2 TRABAJO PREVIO.....	20
3.3 ANÁLISIS ENERGÉTICO CON ARCHICAD 17.....	21
3.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SIMULACIÓN.....	22
3.3.2 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA	22
3.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE ARCHICAD 17 CON RESPECTO A LOS DEMAS SOFTWARE.....	23
3.4.1 VENTAJAS DE ARCHICAD	23
3.4.2 DESVENTAJAS DE ARCHICAD	23
3.4.3 SELECCIÓN DE HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN	24
4. EVALUACIÓN DE LAS EDIFICACIONES SOSTENIBLES	24
4.1 MÉTODOS INTERNACIONALES DE CERTIFICACIÓN Y REGLAMENTACIÓN EN COLOMBIA	24
4.2 METODOLOGÍA DE LA ESTRATEGIA DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA.....	25
4.3 CONTENIDO DE LA HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN	26
4.4 MÉTODO DE EVALUACIÓN.....	28
CONCLUSIONES	30
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
BIBLIOGRAFÍA	33
ANEXOS	36

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Primer enfoque metodológico	16
Figura 2. Segundo enfoque metodológico	17
Figura 3. Tercer enfoque metodológico	17
Figura 4. Enfoque metodológico recomendado para la UIS.....	18
Figura 5. Edificación Altos de Betania.....	20
Figura 6. Modelo de la vivienda con Designbuilder.....	20
Figura 7. Modelo de la edificación con eQUEST.....	20
Figura 8. Visualización del modelo tridimensional en Ecotect Analysis.	20
Figura 9. Modelo de la edificación en Archicad.....	21
Figura 10. Balance mensual de energía	22
Figura 11. Porcentaje de acristalamiento expuesto al sol	23
Figura 12. Metodología de la estrategia de evaluación.....	26
Figura 13. Datos de entrada del diseño arquitectónico	26
Figura 14. Datos de entrada de los sistemas de climatización	27
Figura 15. Datos de entrada del sistema de ventilación.....	27
Figura 16. Indicadores energéticos a evaluar	27
Figura 17. Casilla de consumo de diseño tradicional	28
Figura 18. Casilla de consumo de diseño verde	28
Figura 19. Diagrama de porcentajes	29

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resultados de consumo de las herramientas.....	21
Tabla 2. Datos con el reporte de Archicad17	22
Tabla 3. Características del estándar de certificación BREEAM	25
Tabla 4. Características del estándar de certificación LEED	25
Tabla 5. Calificación cuantitativa	28
Tabla 6. Número máximo de puntos según el indicador	29

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Consideraciones para un diseño sostenible	36
ANEXO B. Descripción de la edificación objeto de estudio	44
ANEXO C. Construcción del modelo en Archicad	49
ANEXO D. Herramientas de simulación energética.....	72
ANEXO E. Reporte de eQUEST	90

RESUMEN

TÍTULO: RECOMENDACIONES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA REALIZACIÓN Y LA EVALUACIÓN DEL DISEÑO ENERGÉTICO VERDE DE EDIFICACIONES EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.*

AUTORES: Sonia Esperanza Echeverría Rojas, Liceth Paola Torres Parada**

Palabras claves: Diseño verde de edificaciones, simulación energética de edificaciones, eQUEST, uso racional y eficiente de la energía.

DESCRIPCIÓN:

Actualmente, la Universidad Industrial de Santander está liderando iniciativas relacionadas al uso racional y eficiente de la energía y su importancia en el mundo de la construcción. A partir de la necesidad de mejorar los diseños energéticos de las edificaciones este documento se orienta a establecer recomendaciones para fortalecer el diseño energético de edificaciones de infraestructura de la UIS desde el enfoque de construcción verde, realizando la investigación de diversas herramientas de simulación energética, metodologías de diseño y evaluación.

La Unidad de Planeación presenta interés en el software Archicad17 y su complemento energético, por lo que se llevó a cabo un modelado y simulaciones de una edificación estudiada en un proyecto de grado precedente donde se realizó el modelo con tres herramientas de simulación: Designbuilder, eQUEST y Ecotec; para comparar Archicad17 con los otros software y conocer su utilidad, y así seleccionar la mejor opción para los planes de la universidad.

Con el fin de identificar enfoques metodológicos para el diseño energético verde de edificaciones, se realizó una exhaustiva búsqueda en diferentes fuentes (IBPSA, ELSEVIER, PLEA), para la creación de una propuesta de posible aplicabilidad para la UIS; brindando recomendaciones en la planeación de los aspectos de diseño del edificio y en el uso de software de simulación energética y de esta manera se podrá propender a un ahorro de energía significativo en la edificación.

Con esta información se elaboró un aplicativo en Excel de evaluación de diseño verde cuyos aspectos claves son la evaluación del consumo energético, iluminación, y sistemas de climatización. Teniendo en cuenta los resultados de las simulaciones del software escogido con consideraciones de diseño verde, se calcula el ahorro al no usar un diseño tradicional, lo que permite que la UIS verifique si se cumplen sus expectativas con respecto al ahorro de energía de futuras edificaciones.

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico- Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: MSc. Germán Osma Pinto. Codirector: Dr. Gabriel Ordóñez Plata.

ABSTRACT

TITLE: RECOMMENDATIONS FOR THE IMPROVEMENT OF THE REALIZATION AND EVALUATION OF BUILDING GREEN ENERGY DESIGN IN UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER*

AUTHORS: Sonia Esperanza Echeverría Rojas, Liceth Paola Torres Parada **

KEYWORDS: sustainable buildings, green design, building energy simulation, eQUEST, rational use of energy, energy simulation tools.

DESCRIPTION:

Currently UIS (Universidad Industrial de Santander) is leading initiatives related to the rational use of energy and its value for the building industry. Improving the current energetic designs is a necessity, and because of that this document sets up recommendations to upgrade the energetic design of university buildings using green construction approaches, researching about energy simulation tools, methodologies of design and evaluation.

Thanks to the meticulous and thorough investigation process (with various sources like PLEA, ELSEVIER and IBPSA) it was possible to create a proposal for UIS that has recommendations and important information about green design and energy simulation tools. This proposal could be used to enhance the energetic building design of the university that could result in significant energy savings for the buildings (new and renovations of existing ones)

Having in mind the interest the Planning Unit has in the software Archicad 17 and its energetic add-on it was necessary to recreate and simulate a building used in a past thesis, where the edification was modeled with three energy simulation tools: DesignBuilder, eQUEST and Ecotect. In this way it was possible to compare the four software and learn about its advantages and disadvantages to be able to choose the most convenient for the university.

With this information it was possible to elaborate an Excel Green Design evaluation tool which assesses the edification in key aspects like energy consumption of illumination, equipments and HVAC systems that together with the results given in the simulation report of the chosen simulation tool seeks to calculate the percent of energy that could be saved in UIS buildings by using green approaches.

* Bachelor Thesis

** Department of Physical-Mechanical Engineerings. School of Electrical, Electronic and of Telecommunications Engineerings. Director: MSc. Germán Osma Pinto. Codirector: Dr. Gabriel Ordóñez Plata.

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción es una de las más problemáticas en cuanto al impacto ambiental; las emisiones de gases de efecto de invernadero a la atmósfera son altas, el consumo de energía en la edificación es significativo, tanto en su fase de construcción como en la de ocupación; es común el uso de materiales contaminantes y demás prácticas tradicionales que solo le hacen daño al medio ambiente [1] [2].

Se debe encontrar una solución para este problema, sin dejar de lado el confort y eficiencia de los edificios; un diseño donde el medio ambiente sea privilegiado y no se afecten las necesidades básicas de cada ocupante [1] [2].

Por esta razón, se hace necesaria la implementación del diseño verde en las edificaciones; este conjunto de conceptos busca disminuir el consumo de energía sin afectar la estética, la funcionalidad y la utilidad de la edificación [3].

La Universidad Industrial de Santander ha manifestado su interés en este tipo de diseños con varios proyectos de investigación enfocándose en estrategias, herramientas e incluso en parámetros de evaluación verde, para atender la necesidad de infraestructura de su campus universitario (intervenciones edilicias existentes y nuevas), ya que se ha demostrado que a partir de nuevas ideas de diseño, para lograr ahorro en consumo energético [4-6].

Lo anterior se evidencia con investigaciones que el Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica (GISEL) ha venido realizando en los últimos años con los diversos proyectos, aproximadamente 7 en pregrado, uno de maestría culminado, otro en desarrollo y uno de doctorado en desarrollo, relacionados con simulación energética como Designbuilder, Autodesk Ecotect Analysis y EnergyPlus, software con los que la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones cuenta con licencia (siendo EnergyPlus libre) [4-7].

Tomando como base resultados obtenidos en proyectos de grados realizados, esta investigación busca brindarle más herramientas e información a la UIS para afianzar los avances que ha venido realizando en materia de diseño verde.

Este documento está conformado por 5 capítulos que son el desarrollo de los objetivos propuestos. En la sección 1 se muestra la metodología de investigación, en la sección 2 se presenta la identificación de enfoques metodológicos de construcción verde, destacando similitudes y diferencias entre ellos. En la sección 3 se realiza un análisis comparativo entre las herramientas de simulación consideradas anteriormente (añadiendo *Energy Model Archicad*). Finalmente, en la sección 4 se propone una estrategia de evaluación del diseño energético verde a proyectos futuros o renovaciones a ser consideradas por la Unidad de Planeación de la universidad en sus edificaciones. Por último el documento presenta las conclusiones y observaciones del trabajo de grado realizado.

1. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

Esta investigación busca establecer recomendaciones para fortalecer el diseño energético de edificaciones de infraestructura de la Universidad Industrial de Santander desde el enfoque de construcción verde; la metodología está conformada por tres fases.

Inicialmente, se recopila información acerca de herramientas y software utilizados para la simulación energética de edificaciones verdes, y de los enfoques metodológicos más prometedores para el diseño energético. Con ello se realiza la identificación y clasificación de las características de estas herramientas para su posible aplicación en el proceso de diseño energético de las futuras construcciones planeadas de la universidad.

Debido al interés que la Unidad de Planeación de la UIS tiene en el módulo energético del software Archicad 17, se realiza el modelo en 3D y las simulaciones energéticas pertinentes de una edificación que fue objeto de estudio en el proyecto de grado “Herramientas computacionales para análisis energético de Viviendas de Interés Social”, con el fin de conocer la utilidad y determinar la conveniencia de Archicad en cuanto a la evaluación energética, y así poder dar una recomendación respecto a su uso.

Con la información adquirida se realiza una comparación de las herramientas mencionadas (Archicad 17, Autodesk Ecotect Analysis,

eQUEST y DesignBuilder), para evaluarlas, conocer sus características respecto al análisis energético, ventajas y desventajas. Esta información es obtenida tanto de artículos (de fuentes como IBPSA, PLEA, ELSEVIER), manuales de usuario, páginas de internet y reportes del mismo software [8].

Con esta comparación se procede a seleccionar una herramienta y posteriormente elaborar un aplicativo para ser presentado a la unidad de Planeación de la UIS para el mejoramiento de la realización y evaluación del diseño energético de proyectos de infraestructura (ya sean proyectos nuevos o renovaciones de edificaciones ya existentes).

2. ENFOQUES METODOLÓGICOS PARA EL DISEÑO ENERGÉTICO VERDE DE EDIFICACIONES

Para que una edificación sea sostenible se deben tener en cuenta varios parámetros a seguir, parámetros que están consignados en los siguientes enfoques metodológicos, que explican y dictan las pautas que se deben seguir a la hora de diseñar una edificación verde.

La fase inicial de todo enfoque es la búsqueda de información; en esta etapa se recopilan datos acerca de las necesidades y deseos de los clientes, de la planificación del proyecto y de otros aspectos primordiales del edificio como su orientación, el clima, los materiales y alrededores, entre otros [3] [9].

Si las características nombradas anteriormente se planean de manera cuidadosa desde el diseño, pueden disminuir el consumo de energía del edificio, ya sea por iluminación (aprovechamiento de la luz solar), por el poco o nulo uso de sistemas activos de climatización como la ventilación natural o haciendo uso de los árboles de los alrededores para sombreado y para regular los cambios climáticos del edificio [3][10][11-13][16-18].

Si se hace una planificación de las necesidades del edificio, también se debe tener en cuenta uno de los requisitos más importantes en cualquier edificación verde: el uso racional de la energía. Si no es posible disminuir significativamente el con-

sumo con aspectos como materiales, localización, orientación y un diseño arquitectónico basado en el clima; se deben buscar ideas alternativas como el uso de sistemas fotovoltaicos para electricidad y calefacción, uso de biomasa, sistemas de control inteligente para la edificación junto con foto sensores y sensores de movimiento, equipos y sistemas de iluminación más eficientes y de poco consumo, sistemas pasivos de calefacción tales como uso de la ventilación natural, uso de materiales frescos, sistemas híbridos etc. [3][12][14][15][20-23].

Estas consideraciones hacen parte de todos los enfoques referentes a sostenibilidad y edificaciones verdes, por lo tanto es importante destacarlas. A continuación se presenta una explicación breve de cada uno.

2.1 Primer enfoque

La característica más representativa del primer enfoque es que planea de manera cuidadosa las características iniciales del edificio como la ubicación de la construcción y el clima. Con la información obtenida acerca de estos parámetros se elabora una versión preliminar del diseño; por ejemplo de acuerdo al clima se realiza el primer bosquejo a partir de las condiciones meteorológicas del lugar, determinando qué materiales se deberían utilizar para que el uso de sistemas activos de climatización sea bajo o en lo posible nulo [3][12][13][15][19]. Este enfoque se muestra en la Figura 1.

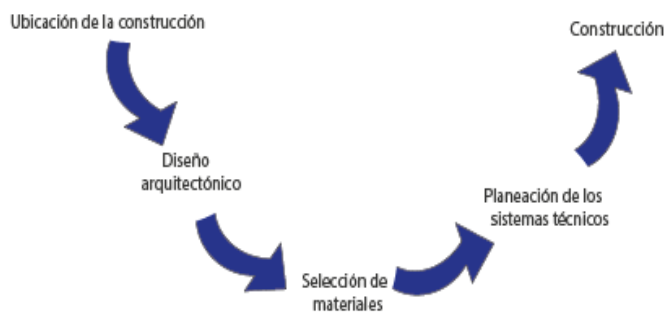


Figura 1. Primer enfoque metodológico.

El paso a seguir es la planeación de los sistemas técnicos del edificio, es decir la energía primaria que usará la edificación. Previamente, se debe evaluar el impacto ambiental de ésta, entendiendo

que el uso eficiente de la energía siempre será una prioridad [3][10-12][19][21].

La fase final es la de construcción ya que ocurre cuando se han planeado de manera estratégica todos los aspectos del edificio [3][9-11].

2.2 Segundo enfoque

Inicia con un proceso de recopilación de información al que le siguen los bosquejos iniciales basados en esos datos recolectados anteriormente [9]. En la Figura 2 se presentan las fases de este enfoque.

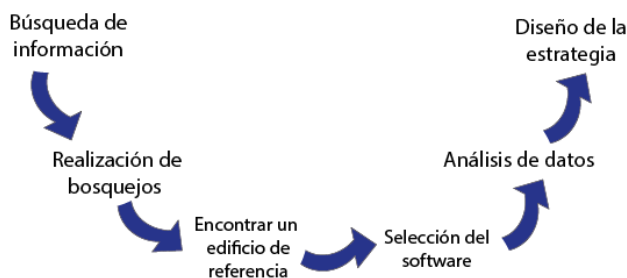


Figura 2. Segundo enfoque metodológico.

Con los bosquejos elaborados se procede a seleccionar un edificio de referencia que se usará a la hora de realizar las simulaciones energéticas a la edificación. Posteriormente, se debe seleccionar el software a utilizar mediante un estudio exhaustivo teniendo en cuenta el tipo de simulación que se quiere realizar y la información que se desea obtener [9].

El siguiente paso es el análisis de resultados dado por los reportes del software, de acuerdo a esto se podrá diseñar una propuesta que cumpla con los deseos del cliente establecidos en la primera fase.

La utilidad de las simulaciones viene dada porque se puede evaluar el diseño de la edificación en su etapa de planificación, lo que hace a este enfoque el más preciso a la hora de garantizar la eficiencia energética y el ahorro de energía en la edificación [9].

Con la propuesta final de diseño se pasaría al desarrollo de la misma, en esta fase es donde comienza la construcción de la edificación.

2.3 Tercer enfoque

La primera fase de este enfoque consiste en la búsqueda de información y la elaboración de un bosquejo de diseño inicial, después se procede a hacer un análisis de las funciones primarias del edificio, cuánta energía se consume en promedio, las funciones que debe tener el edificio y sus características internas para climatización y construcción [9]. En la Figura 3 se muestran las etapas del enfoque.

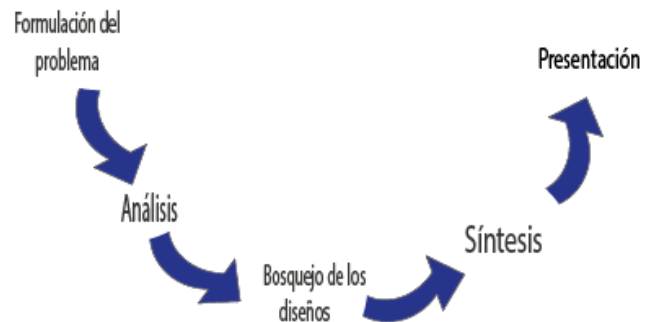


Figura 3. Tercer enfoque metodológico.

Luego del análisis sigue la síntesis que se refiere a las cualidades arquitectónicas y funcionales, es decir busca que la construcción, el consumo de energía y la climatización de la edificación estén en armonía [9].

Lo que distingue a este enfoque de los otros es la fase de presentación que sucede cuando el proyecto ya está finalizado y se presenta a los dueños del edificio, público y demás personas encargadas del mismo, mediante reportes, dibujos, diagramas, esquemas, maquetas, y modelos en 3D [9].

2.4 Similitudes entre enfoques

Los enfoques metodológicos a grandes rasgos tienen varias similitudes explicadas a continuación.

La fase inicial de cada enfoque se centra en investigar los deseos y necesidades del cliente para la edificación, es decir una planeación de sus aspectos iniciales como la ubicación, materiales y diseño arquitectónico basado en las condiciones climáticas del lugar de construcción de la edificación.

Con esta información se realiza el apropiado análisis de la misma, el cuál debe responder las siguientes preguntas: ¿Qué se espera de la edificación? ¿Cuáles son sus necesidades de climatización? ¿A qué condiciones climáticas se verá expuesto?

Al responder estas preguntas y con el análisis hecho, el paso siguiente sería el de formular el concepto o idea inicial que aborde los parámetros requeridos para la construcción del edificio tales como: La planeación de los sistemas técnicos (demandas de consumo de acuerdo a la función final, el consumo esperado del edificio, etc.).

El paso a seguir es el de sintetizar la información para desarrollar la idea parcial hasta completarla y finalizarla de manera que se tenga el diseño final de la edificación.

Finalmente, ya teniendo el concepto principal de diseño se procede a la construcción del edificio, que es el momento donde todo el tiempo de planeación y análisis se ve consignado en la edificación.

2.5 Diferencias entre enfoques

Las diferencias entre los enfoques parten de que cada uno de estos se concentra más en una fase distinta. Para el primer enfoque, la planeación previa y la investigación inicial son las más importantes para lograr una edificación sostenible.

Para el segundo lo primordial a la hora de realizar el diseño es la evaluación previa del mismo, que indique si las metas esperadas por el cliente se cumplen.

Para el tercero el análisis y síntesis de información son las fases más trascendentales, porque en estas etapas las ideas de diseño toman forma para construir una edificación que logre las expectativas trazadas por la persona encargada del proyecto.

2.6 Recomendaciones

La propuesta que se plantea para la Universidad Industrial de Santander contiene las siguientes etapas, representadas en la Figura 4.

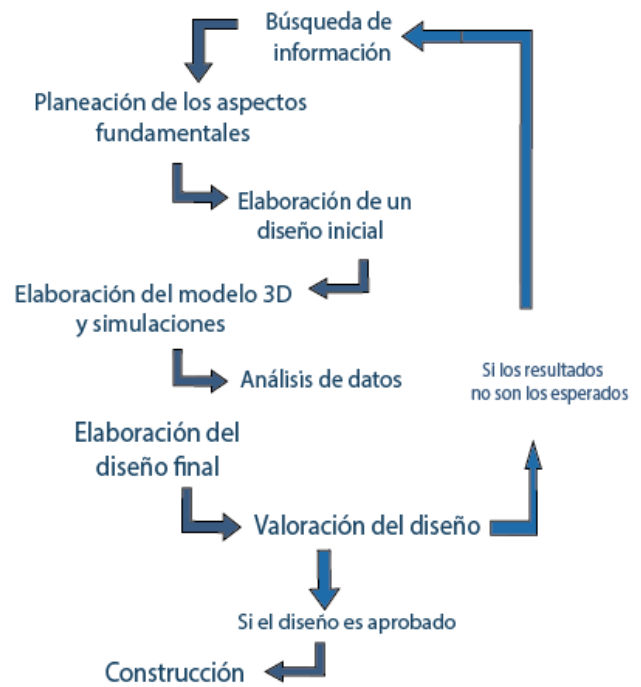


Figura 4. Enfoque metodológico recomendado para la UIS.

2.61 Búsqueda de información

El proceso de investigación siempre será la primera etapa de cualquier proyecto, no importa si es una edificación nueva o se trata de una renovación, ya que es primordial saber acerca de los requerimientos y necesidades del cliente.

2.6.2 Planeación de los sistemas fundamentales del edificio

La planeación cuidadosa de los aspectos fundamentales de la edificación se basa en las exigencias dadas por el cliente para la edificación con respecto a sistema de climatización, la energía primaria a usar, la ubicación, el clima y los materiales. Es decir, qué tipo de sistema de climatización se quiere para el edificio (pasivo o activo), cuáles son las necesidades del mismo (calefacción del sitio, calentamiento de agua, refrigeración del lugar, ventilación mecánica o natural, etc.), el tipo de energía que tendrá el edificio, su fuente, si se quiere que parte de esta energía sea suministrada por el mismo edificio mediante paneles solares fotovoltaicos por ejemplo.

2.6.3 Elaboración de un diseño inicial

Con la información obtenida en las fases anteriores el paso a seguir es realizar un bosquejo inicial del diseño requerido, el cuál cumpla con los parámetros iniciales del diseño que sean: aprovechamiento de la ubicación de la edificación a construir, su clima y el buen uso de los materiales.

2.6.4 Elaboración del modelo en 3D y simulaciones respectivas

Con el bosquejo del diseño inicial se procede a construir el modelo en 3D y realizar las simulaciones energéticas correspondientes para corroborar que se alcanzaron las metas de acuerdo a lo que el cliente requiere. Las herramientas de simulación energética son variadas y todo depende de lo que se requiera; se recomienda eQUEST ya que es sencilla de usar, la licencia es libre y genera distintos reportes de consumo de energía, que son adecuados y cuentan con toda la información necesaria para lo que requiere la UIS.

2.6.5 Análisis de datos

Con base en las simulaciones se analizan los datos dados por el reporte de resultados, estos datos se comparan con los datos estimados dados por los encargados del proyecto y si la diferencia es significativa se buscan alternativas de manera que el diseño cumpla con lo esperado. eQUEST entrega diferentes tipos de reporte de consumo de energía, mensual, anual, y el más importante de todos: consumo de energía de acuerdo a su uso final. Con estas gráficas se puede ver qué sistema tiene el mayor desperdicio de energía y cuáles pueden ser la o las soluciones a este problema.

2.6.6 Elaboración del diseño final

Con el análisis realizado se pasa a elaborar el diseño final de la edificación, donde todas las ideas expresadas anteriormente deben estar consignadas de manera adecuada para que se cumplan todas las expectativas dadas inicialmente en el proyecto. En esta fase se realiza la versión final de la propuesta de diseño.

2.6.7 Valoración del diseño de acuerdo a lo esperado por el cliente.

Si se comprueba que el ahorro de energía es el esperado, el diseño se da por finalizado y ese es el que se usará en la etapa de construcción, si esto no ocurre, se deben repetir los pasos anteriores y seguir los consejos del ANEXO A, donde se presenta una recopilación de información acerca de las diferentes características para la construcción de una edificación verde como la localización, materiales, clima, climatización, comportamiento de los ocupantes y uso racional y eficiente de la energía, de esta manera es posible que se encuentre una solución para que el diseño energético cumpla con lo que el cliente desea.

3. ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN

Los avances en los sistemas de información y software ofrecen oportunidades para fortalecer la construcción de edificios verdes, otorgando la posibilidad de realizar estudios con gran variedad de análisis y permitiendo así tener una visión global del comportamiento de una edificación, inclusive desde las primeras etapas de su diseño [24].

Las herramientas computacionales de simulación energética de edificaciones permiten realizar análisis térmicos y lumínicos, a fin de evaluar la influencia de características climáticas específicas y diversas alternativas de construcción en las condiciones de operación y, en consecuencia, el comportamiento energético de una edificación [25-27].

Tal análisis se realiza con base en el BIM (*Building Information Modeling*) de la edificación y las condiciones de su entorno. Esta información se usa para resolver sistemas de ecuaciones que describen el comportamiento de variables de tipo ambiental y energética en los espacios interiores de la edificación, de acuerdo con las capacidades del software. Los resultados ayudan en la toma de decisiones, respecto al diseño de la edificación, para reducir consumos energéticos [26].

Las herramientas de simulación a estudiar en este capítulo, permiten analizar varios de los siguientes aspectos: Consumo energético, emisio-

nes de CO₂, penetración de la luz solar, ventilación natural, sistemas de climatización, ganancias solares, temperaturas internas. En general, estos programas generan reportes y permiten la exportación de datos para el análisis en detalle con otras herramientas [33].

3.1 Descripción de la edificación de análisis

En esta sección se presenta la descripción de la vivienda multifamiliar Altos de Betania (ANEXO B), que fue estudiada en un proyecto de grado precedente donde se realizó el modelado, la simulación y análisis energético con tres herramientas (DesignBuilder, eQUEST y Autodesk Ecotect Analysis), a una de las torres conformada por 5 pisos, cada uno con 6 apartamentos (Ver Figura 5) [8].



Figura 5. Edificación Altos de Betania [30].

Altos de Betania está ubicado en la ciudad de Bucaramanga, la cual se encuentra en la parte septentrional de Colombia, en la Cordillera Oriental a los 7°08'N 73°08'O de latitud norte con respecto al Meridiano de Bogotá y de longitud al oeste de Greenwich respectivamente. Su altura sobre el nivel del mar es de alrededor de los 960 msnm [28].

El clima de Bucaramanga está clasificado por el IDEAM (El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) de la siguiente manera: en las partes de menor altitud de la ciudad el clima es cálido seco; en las zonas de mayor altitud de la ciudad el clima es templado. Tiene una temperatura promedio de 25 °C y una máxima promedio de 30,9 °C. Se presenta radiación solar fuerte durante todo el año y no se presentan estaciones [29].

3.2 Trabajo previo

A continuación se muestra el modelado de la edificación Altos de Betania con DesignBuilder, eQUEST y Autodesk Ecotect Analysis, representados en las Figuras 6, 7 y 8 respectivamente, y algunos resultados con cada uno de ellos que se obtuvieron en el proyecto de grado “Herramientas computacionales para análisis energético de Viviendas de Interés Social” [8].



Figura 6. Modelo de la vivienda con DesignBuilder.

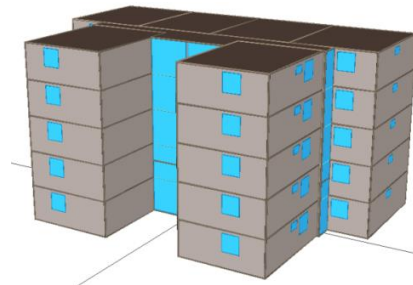


Figura 7. Modelo de la edificación con eQUEST.

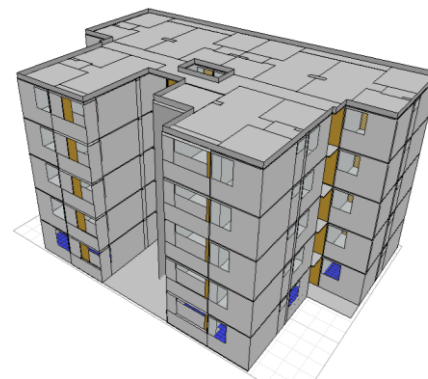


Figura 8. Visualización del modelo tridimensional en Autodesk Ecotect Analysis.

En la Tabla 1 se aprecia el resultado del consumo total anual de la edificación, con cada herramienta de simulación.

Consumos energéticos (kWh)			
Parámetro	Designbuilder	eQUEST	Ecotect
Iluminación interior	10 716,57	6 464	No específica
Equipos en el interior	28 471,81	29 682	No específica
Energía total anual	39 188	36146	40 261,5

Tabla 1. Resultados de consumo de las herramientas.

Designbuilder muestra los consumos energéticos anuales totales debido a iluminación interior y el uso de equipos eléctricos de la edificación.

Ecotect analysis en sus reportes no presenta los consumos de electricidad relacionados a iluminación y equipos, por lo cual solo genera el resultado del consumo eléctrico anual total.

Con eQUEST no solo se obtiene el consumo anual total de la edificación, sino también muestra el consumo mensual.

Respecto al confort térmico las horas de confort en todo el año calculadas con designbuilder fueron de 8 472 es decir, que solo se obtuvieron 288 horas de confort en el edificio, por lo cual los ocupantes de éste sólo experimentarían confort térmico 12 días en dicho periodo.

Ecotect Analysis en el análisis de confort térmico muestra las temperaturas obtenidas mes a mes, donde se aprecia que en la edificación se tiene aproximadamente 5872 horas de confort térmico anuales.

En cuanto al confort, con eQUEST solo es posible mirar los niveles de iluminancia de las zonas descritas en el edificio, ya que la herramienta no realiza el cálculo de factores que lleven a un análisis confort térmico.

Estos niveles de iluminancia se muestran durante las 24 horas del día, en el apartamento 6 del quinto piso se obtuvieron los valores más elevados de iluminancia, la mayoría del día sin necesidad de luz artificial cumple con los niveles de confort visual, que para una vivienda están en el orden de los 300 luxes.

Mientras la zona con el menor confort visual es el apartamento cuatro del primer piso, que en la mayoría del día necesita de la ayuda de luz artificial para satisfacer el confort visual.

3.3 Análisis energético Archicad 17

ArchiCAD es un software de diseño arquitectónico asistido por computadora que permite a los usuarios crear "edificios virtuales" con elementos constructivos virtuales como paredes, techos, puertas, ventanas y muebles [31].

En *Graphisoft Archicad* se crea un modelo de información del edificio en 3D y toda la documentación e imágenes necesarias son creadas automáticamente. Además cuenta con el motor integrado de evaluación energética, que soporta múltiples bloques térmicos y permite evaluar el rendimiento energético del edificio con una tecnología que cumple las normativas, a su vez genera un reporte de balance de energía mensual durante el año, adicionalmente muestra el costo y las emisiones de CO₂ que se producen debido a este consumo energético [31] [32].

Para la creación del modelo se llevó a cabo el siguiente procedimiento: Inicialmente a partir de los planos constructivos en 2D (formato CAD) se importaron a Archicad, y luego se utilizaron como base para trazar el modelo y posterior construcción.

El software ofrece una lista de componentes de construcción: muros, pisos, puertas, ventanas entre otros. Cada uno cuenta con una biblioteca de opciones referente a los materiales, dimensiones, estilos y otras características. Todos éstos se escogieron acorde a las especificaciones constructivas de la edificación mencionada. El modelo construido en Archicad se muestra en la Figura 9.

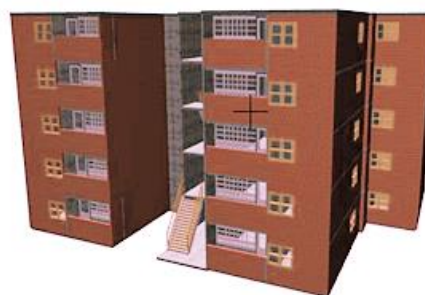


Figura 9. Modelo de la edificación en Archicad.

3.3.1 Descripción del proceso de simulación

Para realizar la evaluación energética de la edificación se debe especificar la ubicación del proyecto, con datos como las coordenadas geográficas, la altura sobre el nivel del mar, zona horaria, datos meteorológicos (archivos “epw”) y características del entorno de la edificación, si esta frente de agua (frente al mar o río), jardín (puede ser en el campo) y pavimentado (ambiente urbano). El archivo climático utilizado para las simulaciones es “Colombia-Bucaramanga”, creado a partir de datos tomados de la estación climatológica de la E3T.

Existe la opción “protección viento” para modelar árboles, muros, edificaciones vecinas, etc. Además con la opción sombras fachadas, se modela la vegetación existente alrededor del edificio y demás dispositivos para el análisis de sombra. Para el caso vivienda Altos de Betania no se seleccionó ninguna de estas opciones.

Es importante seleccionar la función principal del edificio, para definir el uso que tendrá; para este proyecto es la opción residencial, donde se muestran los perfiles de operación y se debe insertar datos del consumo y demanda de iluminación y equipos (datos referenciados en la curva de demanda estrato 2 ESSA) y de las especificaciones energéticas del proyecto, además el número de personas que ocupan la vivienda (4 personas promedio en vivienda estrato 2) todos estos datos se pueden definir para periodos de 1 a 24 horas.

Posteriormente, se requiere definir las zonas (espacios cerrados) ya que cada una de ellas representa un bloque térmico, hay dos formas de definir las una manera manual y otra el mismo software hace un reconocimiento. En este caso las zonas que se seleccionaron son habitación principal, habitación auxiliar y sala comedor.

Cada bloque térmico presenta características térmicas similares, donde para cada uno es necesario elegir un sistema de energía. Este sistema contiene los datos referidos al suministro de energía del edificio, para los usos de calefacción, refrigeración, ventilación, generación de agua caliente e iluminación. Donde se seleccionó sistemas naturales en cuanto a ventilación y

calefacción, las fuentes que proveen la energía a la edificación, son fuentes de tipo hidráulica y térmica (Ver ANEXO C).

3.3.2 Resultados de la evaluación energética

Al finalizar la evaluación energética de la edificación, Archicad genera un reporte (formato PDF) que contiene en su primera parte datos generales información básica según lo especificado por el usuario y otros datos relacionados con la edificación (ver Tabla 2).

Datos de Geometría	-Área suelo tratado -Volumen ventilado -Ratio de acristalamiento
Datos de Rendimiento	-Fuga de aire -Capacidad de calor externo
Demanda específicas anuales	-Energía calefacción neta -Energía refrigerante neta -Consumo de energía -Coste de la operación Emisiones de CO ₂

Tabla 2. Datos del reporte con Archicad 17.

Las demandas específicas anuales, son los requerimientos que necesita el edificio para un año, todos estos datos se encuentran por metro cuadrado.

Los valores de consumo de energía anual del edificio, coste de la operación, emisiones de CO₂ y el coste anual del edificio son dados según las características del tipo de energía que se utiliza.

Archicad presenta una gráfica general del comportamiento del edificio mes a mes (Ver Figura 10) donde se especifica en kWh por año, la energía debido a iluminación y equipamiento, ganancia solar, ventilación etc.

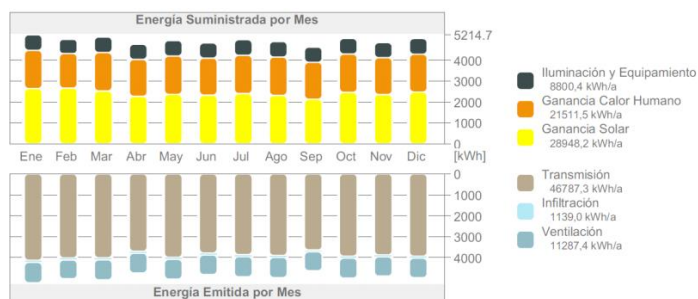


Figura 10. Balance de energía mensual.

El consumo energético anual del edificio fue 43 815 kWh (Archicad brinda un valor total no espe-

cifica cuánto en iluminación y cuánto por equipos).

El análisis de aberturas no es mostrado en el reporte, si no que a través de cada abertura que compone la edificación, el programa puede hacer una simulación acerca de cuanta potencia es absorbida por la abertura (puertas y ventanas) del apartamento en forma de radiación solar.

De la misma manera pueden verse los datos de cuánto porcentaje del área del cristal de las aberturas está siendo expuesto al sol de manera directa. Estos datos son anuales, y se puede conocer en cuál mes, día y hora las aberturas absorbieron la mayor o menor radiación solar.

La Figura 11 es la simulación de la ventana este del apartamento 4 del quinto piso, en la gráfica el eje horizontal son los meses del año y el eje vertical las 24 horas del día. Donde se aprecia que durante todo el año (la franja amarilla) de 7:00 a.m. a 12:00 p.m. aproximadamente el 90% del área de la ventana está expuesta al sol de forma directa.

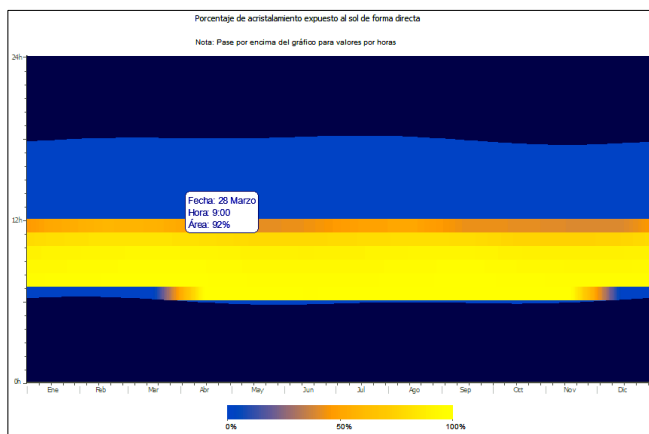


Figura 11. Porcentaje de acristalamiento expuesto al sol.

3.4 Análisis comparativo de Archicad 17 con respecto a los demás software de simulación

Tanto Archicad como las demás herramientas para el cálculo del consumo energético, tienen en cuenta el perfil de operación y ocupación del edificio, a su vez la ubicación, condiciones climáticas y la selección de materiales de construcción.

3.4.1 Ventajas de Archicad

Los cálculos que realiza el software son bastante rápidos y el reporte de resultados presenta los datos de manera clara y concisa.

La interfaz de usuario es sencilla, tanto a la hora de construir el modelo 3D como cuando se realizan las simulaciones energéticas.

Permite modelar árboles de varios tamaños alrededor del edificio que sean usados como fuente de sombras.

Es posible realizar un estudio de asoleo, donde, según los datos brindados por el archivo de datos meteorológicos, modela la incidencia solar en el edificio durante un día, lo que hace posible observar las áreas o lugares donde la radiación solar será mayor a lo largo del día.

Realiza un análisis interesante de la incidencia solar en las aberturas (puertas y ventanas) del edificio, en cualquier periodo de tiempo.

3.4.2 Desventajas de Archicad

El software Archicad presenta limitaciones en cuanto a confort térmico y confort visual, ya que en sus reportes no muestran datos de iluminación natural ni gráficos de temperatura para deducir el confort térmico al interior de la edificación.

El valor de consumo energético anual es mayor, se debe que con Archicad no permite el uso de sistemas de control lumínico, por lo tanto el aprovechamiento la luz solar no se ve reflejado en una reducción en el consumo por iluminación.

Referente al análisis de confort térmico Ecotect y Designbuilder, generan gráficos de temperatura, que permiten inferir cuántos y cuáles días se presenta confort térmico. También con Designbuilder, se puede modelar sistemas de control lumínico por zona utilizando sensores y calcular el ahorro en iluminación artificial [25] [26].

Con eQUEST se realiza un análisis completo de confort visual, es posible obtener los niveles de iluminancia por zonas y el porcentaje de reducción de energía destinada a iluminación a partir

del aprovechamiento de la iluminación natural, esta herramienta no realiza el cálculo de factores que lleven a un análisis confort térmico [27].

En la Tabla D.2 del Anexo D se indican los resultados o parámetros que cada herramienta permite evaluar, por medio de las simulaciones energéticas y los reportes obtenidos.

3.4.3 Selección de la herramienta de simulación

La selección del software de simulación se hizo teniendo en cuenta varios criterios como la licencia, la interfaz, resultados de las simulaciones, tiempo de simulación. eQUEST presenta todas estas ventajas ya que tiene la posibilidad de importar archivos DWG, la interfaz gráfica es amigable para el usuario, es un software libre, se encuentra mucha información acerca de su uso, tiene archivos climáticos basados en datos reales y permite importar este tipo de archivos de otras fuentes, aparte que su extensión es compatible con otros programas [8] [33].

eQUEST tiene la posibilidad de calcular el consumo de energía del edificio hora a hora, sus cálculos tienen en cuenta las características del edificio como su forma, las propiedades térmicas de los materiales de construcción, el efecto de las sombras en la edificación, sus ocupantes, el funcionamiento de equipos y sistemas de iluminación, el clima del lugar, sus condiciones ambientales, el consumo de energía de sistemas de climatización así como su funcionamiento y el tipo de combustible y la eficiencia del equipo [8] [27] [33]. (ver ANEXO E)

A pesar que DesignBuilder es una herramienta muy completa que realiza análisis energéticos exhaustivos, y que también permite desarrollar el proceso de modelado, caracterización y simulación de las edificaciones, se escoge eQUEST como software energético a recomendar, porque hace estas mismas tareas de manera ordenada y más intuitivamente, el tiempo de simulación es significativamente corto y principalmente porque es un software libre [33].

4. EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES SOSTENIBLES

Actualmente, existe una tendencia creciente en la construcción de edificaciones sostenibles, en consecuencia han surgido varios reglamentos para la construcción y métodos para certificar estas edificaciones. Estos buscan evaluar indicadores de diseño sostenible, trayendo beneficios ambientales (dado que estas edificaciones reducen las emisiones de gas CO₂), económicos (la reducción del consumo energético y de los gastos operacionales y de mantenimiento es significativa) y sociales (hay una gran mejora en la calidad de aire interior, la mitigación de ruido y los niveles de iluminación del edificio) [34-36].

4.1 Métodos internacionales de certificación y reglamentación en Colombia.

En la actualidad, existen varios métodos de evaluación y certificación del nivel de sostenibilidad en edificaciones, dos de los más reconocidos a nivel mundial son BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology*) y LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*) [35] [37].

El sistema de certificación BREEAM se basa en otorgar una puntuación tras aplicar un factor de ponderación ambiental que tiene en cuenta la importancia relativa de cada área de impacto, de la misma manera comprende todas las distintas fases de diseño y construcción, el uso final del edificio y dispone de esquemas de evaluación y certificación en función de la tipología y uso del edificio [35].

Para lograr una clasificación de BREEAM se tiene que alcanzar un porcentaje y unos estándares mínimos que son determinados por el número de créditos conseguidos. Estos créditos se consiguen, si se cumple con indicadores y requisitos para cada indicador.

Con LEED los edificios deben satisfacer unos pre-requisitos y ganar puntos para lograr diferentes niveles de certificación. Los pre-requisitos y los créditos varían para cada sistema de calificación y cada persona escoge el que mejor se adapte al proyecto que están realizando [37].

En las Tablas 3 y 4 se muestran las principales características de cada uno.

Ítems evaluados en la parte energética	Máximo puntaje	Nivel	Rango
Reducción de gases de efecto invernadero.	15	Sin clasificación	Menor a 30
Medición de la energía.	1	Aceptable	30 a 45
Iluminación externa	1	Bueno	45 a 55
Uso poco o nulo de combustibles fósiles	1	Muy bueno	55 a 70
Eliminación de las infiltraciones de aire.	1	Excelente	70 a 75
Medidores de cargas que consuman alta energía.	1	Extraordinario	Mayor a 85
Escaleras eléctricas	1		
Ascensores	2		

Tabla 3. Características del estándar de certificación de BREEAM.

Ítems evaluados en la parte energética	Máximo puntaje	Nivel	Rango
Optimización del rendimiento energético	19	Certificado	40 a 49
Uso de energías renovables	1 a 7	Plata	50 a 59
Gestión de los sistemas de climatización	2	Oro	60 a 79
Medición y verificación	3		Mayor a 80
Tecnologías verdes	3		

Tabla 4. Características del estándar de certificación de LEED.

La construcción tiene un impacto importante en el cambio climático, en consecuencia la sostenibilidad aplicada a la construcción es la respuesta adecuada para atender los retos de adaptación y mitigación. Colombia presenta una creciente población que en su mayoría se localiza en las ciudades, se estima que para el 2020 más del 80% de la población serán habitantes urbanos; por lo tanto, la construcción sostenible es un elemento clave para la economía del país [38].

El Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS) busca mejores prácticas durante todo el ciclo de vida de las edificaciones (diseño, construcción y operación), minimizar el impacto en el ambiente, el consumo de recursos y la pérdida de biodiversidad. A partir de algunos elementos claves como la gestión del ciclo de vida, la relación estrecha de edificación con el entorno, el uso eficiente y racional de la energía, la conservación, ahorro y reutilización del agua, la utilización de recursos reciclables y renovables, mayor eficiencia en técnicas de construcción y cambios en hábitos de personas y comunidades [38-41].

En el caso de las viviendas de interés social estas se rigen por el RETEVIS (Reglamento Técnico para la Eficiencia Energética de las Viviendas de Interés Social). Este reglamento tiene como objetivo especificar las acciones necesarias para encaminar los procesos al uso racional y eficiente de la energía (URE), definir parámetros, rangos, índices y métodos de cálculo y valoración de la eficiencia energética.

El reglamento se enfoca en parámetros que permitan llegar a un confort lumínico y un confort térmico con sistemas que hagan uso de la luz solar cuando sea posible, también se deben usar materiales que no absorban el calor del exterior, mitiguen el ruido y tengan poca filtración de humedad, en lo posible disminuir el uso de sistemas activos de climatización y fomentar el uso de sistemas pasivos; además diseñar e implementar sistemas que usen energías renovables y/o no convencionales.

Si se tienen en cuenta los consejos dados por el reglamento y se toman decisiones adecuadas en las primeras etapas de diseño de una edificación se garantiza mejorar el consumo energético durante el proceso de construcción y por lo tanto a lo largo de la vida útil de la VIS.

4.2 Metodología de la estrategia de evaluación del diseño energético

La metodología abordada para la realización de la estrategia de evaluación está conformada por dos fases (ver Figura 12), la primera es la identificación de lineamientos y parámetros de diseño verde que el software de simulación energética seleccionado en el Capítulo 4; lo cual permite

analizar o evaluar y la segunda, es la elaboración de un aplicativo de evaluación. La importancia de ésta radica en la necesidad de establecer una estrategia de cómo evaluar energéticamente los diseños de las edificaciones futuras de la Universidad Industrial de Santander.

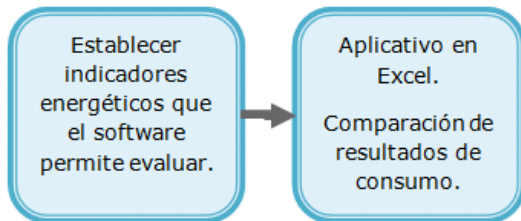


Figura 12. Metodología de la estrategia.

Con el fin de identificar y establecer lineamientos básicos directamente relacionados con los principios de arquitectura de diseño sostenible, para mejorar el comportamiento energético y reducir los consumos; se procedió a la búsqueda de información en distintas fuentes, investigando sobre métodos de evaluación de diseño energético en edificaciones (LEED, BREEAM, CCCS RETEVIS).

De esta manera se determinaron indicadores que brindan información del funcionamiento energético de la edificación y que a su vez eQUEST permite analizar. Los requisitos y parámetros seleccionados se fundamentan principalmente en el consumo energético y sistemas de climatización, es decir se va a calificar el consumo en iluminación, en equipos, en cargas de calefacción, refrigeración y ventilación, con éstos se busca analizar el comportamiento energético y comprobar si el comportamiento obtenido es el esperado por el diseño.

Finalmente, se elabora la estrategia de evaluación (aplicativo en Excel) que permite dar una valoración al diseño energético, partiendo de la comparación de datos de referencias o estimados, con los valores de consumo generados por el reporte de eQUEST.

4.3 Contenido de la herramienta de evaluación

El aplicativo en Excel está conformado por 2 pestañas, la primera pestaña son los datos iniciales de entrada del proyecto, que contiene información sobre el proyecto nombre, responsable y

fecha; datos de localización: la dirección, ciudad, coordenadas (longitud y latitud) y clima.

También información sobre el diseño arquitectónico, planos del diseño, el área a construir, número de pisos y su respectiva área y la funcionalidad del edificio. Además se puede seleccionar si la edificación tiene elementos que le producen sombra, con las siguientes opciones: vegetación, edificación a los alrededores y dispositivos de protección solar (ver Figura 13). Posteriormente, en el sistema de iluminación se podrá escoger que tipo de lámpara se utiliza para la iluminación artificial y si hay aprovechamiento de la luz solar.

Figura 13. Datos de entrada del diseño arquitectónico

También se deben especificar los sistemas de climatización con los que cuenta el edificio, refrigeración, calefacción (calentamiento de agua o del sitio) ventilación (natural o mecánica) los días y las horas de funcionamiento del sistema de ventilación (ver Figuras 14 y 15).

Además en esta pestaña se incluyen datos sobre la implementación de fuentes de generación de

energías alternativas que en el proyecto planean realizar.

Sistemas de Climatización:

Calefacción:

Calefacción del lugar

Puntos de ajuste de temperatura del sitio (°F)

Ocupado **Sin ocupar**

Calentamiento de agua

Si

es que da eQUEST para el tipo de sistema de calefacción

Horno

Refrigeración

Puntos de ajuste de temperatura del sitio

Ocupado **Sin ocupar**

condiciones que da eQUEST para el tipo de sistema de refrigeración

Figura 14. Datos de entrada de sistemas de climatización.

Ventilación:

Ventilación Natural Si

Ventilación Artificial No

Horas de funcionamiento del ventilador:

Días de la semana

Lunes	Si	Miércoles	No	Viernes	Si
Martes	No	Jueves	Si	Sábado	No
				Domingo	Si

Hora de encendido 18:00:00

Hora de apagado 2:00:00

Sistemas Pasivos:

Si

No

Figura 15. Datos del sistema de ventilación.

Los datos de entrada se utilizan para recrear por medio del software un modelo 3D de la edificación. Al simular estas condiciones en el edificio, el software arroja un reporte de los resultados de consumo de energías, cuyos datos se pueden comparar con los valores de consumo estimados inicialmente o requeridos por el cliente o la persona encargada del proyecto.

En la segunda pestaña se realiza la evaluación del diseño energético, calificando indicadores con sus respectivos ítems. En la Figura 16 se presenta en detalle los 4 indicadores seleccionados.



Figura 16. Indicadores energéticos a evaluar.

Para realizar la evaluación del diseño energético de la edificación dada, se evalúa el consumo energético calificando los ítems de consumo por iluminación y consumo por equipos, a partir de las consideraciones de diseño verde estipuladas en el gráfico anterior.

De la misma manera los sistemas de climatización se evalúan de acuerdo a los ítems respectivos de diseño.

Para los indicadores de generación en sitio y aislamiento térmico la calificación no se realiza por medio de la comparación de dos datos, si no que dependiendo de lo que el diseño del edificio tenga se obtiene una puntuación.

Para generación en sitio el diseño obtiene la calificación de 5 puntos, si se demuestra que el diseño arquitectónico y eléctrico el edificio cuenta con la disposición para implementar fuentes de generación de energía para su sostenibilidad o

para suplir parte de su consumo se obtiene un punto, si la generación es menor a 1 KW 3 puntos y si es mayor a 1 KW obtendrá los 5 puntos.

Con respecto al aislamiento térmico, si el diseño contiene los siguientes elementos que permitan aislamiento térmico se obtienen puntos:

- Envoltente
- Materiales especiales
- Techo verde

Cada ítem tiene un valor diferente de puntos, dos (2) puntos que se le otorgan si el diseño tiene envoltente, tres (3) si el diseño cuenta con materiales especiales y cinco (5) si el diseño tiene techo verde, dando un máximo de 10 puntos que se pueden obtener mediante este calificador.

4.4 MÉTODO DE EVALUACIÓN

El método de evaluación consta de tres tipos de calificación: la calificación por ítem (que se refiere a los parámetros verdes a evaluar) , la calificación por indicador (que se refiere a la estimación total de las características más importantes de la edificación como el consumo de iluminación y equipos, consumo de sistemas de climatización, aislamiento térmico y generación en sitio) y la calificación general del diseño que se refiere a una valoración total del edificio teniendo en cuenta todos los aspectos anteriores.

Calificación por ítem

En este tipo de evaluación es necesario ingresar dos datos, el primer dato es el consumo de energía de la edificación con un diseño tradicional. Esta información la suministra el ingeniero encargado y puede venir de dos fuentes: el consumo de un edificio con características similares (al que se llamará dato histórico) o el reporte de resultados de eQUEST de las simulaciones de la edificación con el diseño tradicional.

El segundo dato es el consumo de energía de la edificación con un diseño verde o sostenible, este también es dado por el ingeniero y se obtiene del reporte de resultados de las simulaciones en eQUEST con el diseño verde que se va a evaluar. Lo anterior se representa en las Figuras 17 y 18.

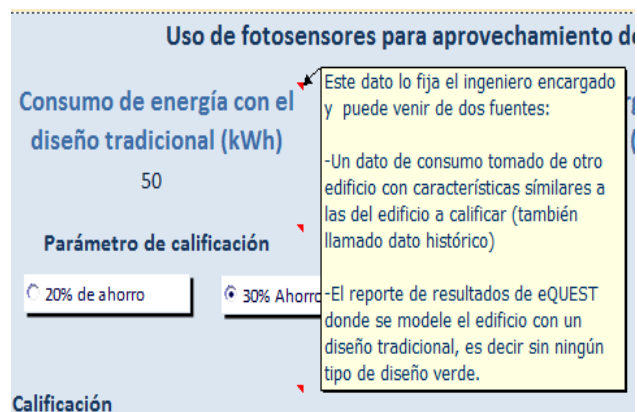


Figura 17. Casilla de consumo diseño tradicional

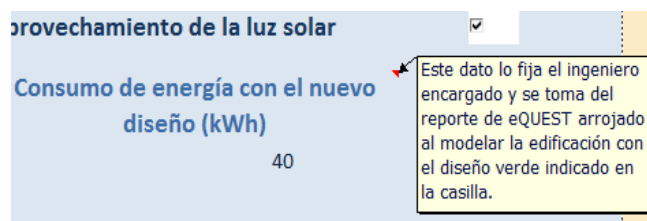


Figura 18. Casilla de consumo diseño verde

En la siguiente casilla se encuentra el valor del ahorro de consumo que aparece al comparar estos dos datos. A partir del valor de ahorro se califica el ítem de la siguiente manera:

Calificación cualitativa: Esta calificación depende del valor estipulado o requerido por el ingeniero encargado. Hay cuatro (4) casillas de porcentaje de ahorro, de 20% a 50% con un incremento de a 10% en cada una. La calificación es aceptable si el valor de ahorro de energía es mayor o igual al valor indicado en cada casilla, de lo contrario será inaceptable.

Calificación cuantitativa Por cada ítem se pueden obtener de cero (0) a cinco (5) puntos dependiendo del porcentaje de ahorro logrado con el diseño verde a evaluar. Los puntajes se muestran de manera más clara en la Tabla 5.

Porcentaje de ahorro	Puntos
0%-10%	0
10%-20%	1
20%-40%	2
40%-60%	3
60%-80%	4
Mayor a 80%	5

Tabla 5. Calificación cuantitativa.

Calificación por indicador

La calificación por indicador es la sumatoria de los puntos obtenidos en cada indicador. Dependiendo del parámetro se pueden obtener un número máximo de puntos como se explica en la Tabla 6.

Indicador	Puntos
Consumo de iluminación y equipos	15
Consumo de sistemas de climatización	15
Generación en sitio	5
Aislamiento térmico	10

Tabla 6. Número máximo de puntos según el indicador.

En esta evaluación también se da una calificación cualitativa que depende del porcentaje obtenido al comparar los puntos ganados con los puntos máximos de cada indicador. Con cada rango de porcentajes se da una calificación de la siguiente manera:

0%-59% → Insuficiente

60%-79% → Aceptable

80%-100% → Excelente

Estos resultados se consignan de manera concisa en el reporte final de resultados del aplicativo.

Para los indicadores de consumo (tanto de iluminación y equipos como de sistemas de climatización) no solo se califica el impacto, también se califica el uso de cada ítem dándose un (1) punto por cada diseño verde utilizado. De acuerdo al porcentaje obtenido al comparar los puntos ganados con los puntos máximos de cada indicador se da una calificación cualitativa:

0%-59% → Insuficiente

60%-79% → Aceptable

80%-100% → Excelente

Calificación general

La calificación general o total de la edificación es la valoración del ahorro energético y de las prácticas verdes usadas en toda la edificación. Se pueden conseguir un número máximo de cincuenta (50) puntos que son la suma de todos los puntos máximos de los cuatro (4) indicadores calificados. La evaluación radica en dividir el número de puntos obtenidos sobre el número máximo de puntos y se da una calificación de la siguiente manera:

0%-59% → Insuficiente

60%-79% → Aceptable

80%-100% → Excelente

De esta calificación también hay un reporte general de resultados que muestra los puntos máximos, los puntos ganados y la relación entre éstos (en un valor de porcentaje).

Diagrama de porcentajes

Este esquema es un diagrama radial que expone de forma gráfica la relación entre los puntos máximos que se pueden conseguir para cada indicador con los puntos obtenidos por el diseño a evaluar, de esta manera es más sencillo ver las falencias del diseño y entender en qué parámetros se debe mejorar; también es más fácil de visualizar y comprender que un reporte de resultados escrito. En la Figura 19 se muestra este diagrama.

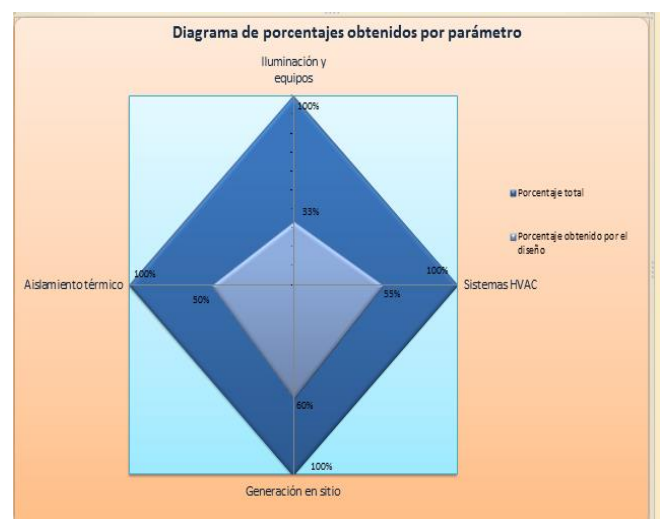


Figura 19. Diagrama de porcentajes

CONCLUSIONES

Conforme a lo investigado y a los distintos hallazgos encontrados en los enfoques metodológicos estudiados, lo más conveniente para la Universidad Industrial de Santander en los procesos de diseños futuros o renovaciones de edificaciones es: comenzar con una búsqueda de información exhaustiva de las necesidades de las edificaciones, seguida por la planeación de los sistemas fundamentales del edificio y la elaboración de un diseño inicial, con éste se realiza el modelo en 3D y las simulaciones respectivas. Posteriormente con el análisis de datos se podrán elaborar los diseños finales para luego valorar el diseño de acuerdo a los requerimientos de la universidad.

La selección de la herramienta de simulación energética se llevó a cabo teniendo en cuenta varios criterios como la facilidad de manejo de eQUEST, ya que su interfaz es sencilla y fácil de entender, su licencia es libre lo que es una gran ventaja. Además los reportes de consumo dependen del uso final lo que es muy útil y podría ser conveniente para la UIS, adicionalmente el reporte de las simulaciones energéticas muestra los resultados de manera sencilla pero eficaz lo que ayuda a un mejor análisis de los datos a evaluar.

Obtener una mayor eficiencia y ahorro de energía en las edificaciones es posible, teniendo acceso a una herramienta de evaluación que facilite la valoración previa de diseños energéticos de edificaciones. Esta valoración permite la toma de decisiones, analizando que partes del diseño se deben mejorar para garantizar la eficiencia energética; todo esto antes de la etapa de construcción, asegurando que la edificación cumplirá con las metas esperadas.

La selección de una herramienta para estudios de simulación energética depende principalmente del parámetro energético que se desee evaluar. Puesto que algunas herramientas hacen análisis exhaustivos de iluminación natural, pero no hacen en análisis de confort térmico. Es decir, cada herramienta tiene su ventaja y desventaja, de ahí la importancia de elegir la adecuada para el estudio a realizar.

Para garantizar una edificación energéticamente eficiente no solo se obtiene a partir de implemen-

tación de tecnologías verdes, si no también teniendo en cuenta sencillas decisiones en la etapa del diseño cómo: número de aberturas, materiales de construcción y análisis del comportamiento de los ocupantes se logran cambios significativos en la reducción del consumo energético.

OBSERVACIONES

Los factores principales que afectan el resultado de los consumos energéticos en la edificación, son los perfiles de funcionamiento de iluminación y aparatos, las densidades de potencia de los mismos y el tiempo de ocupación de los habitantes. Por tal razón, en la caracterización del modelo se deben tener claro estos valores para evitar errores en la simulación.

El modelo obtenido para las simulaciones en el software Archicad 17 no es una representación geométrica exacta, ya que el análisis realizado no requiere un modelo complejo para las simulaciones. A su vez como el módulo de construcción es limitado, los materiales usados en la elaboración del modelo no son exactamente los usados en el edificio a simular.

A pesar que en la información obtenida de Archicad 17 en los manuales de uso, se muestra que el módulo de evaluación energética permite un completo análisis de bloques térmicos y la implementación de fuentes de energía alternativa (paneles solares, eólica, biomasa), con la versión estudiantil no se puede hacer, ya que es necesario un complemento cuya licencia tiene un costo extra y solo está disponible para USA, Canadá, Australia, Suecia, Dinamarca y Reino Unido. Sin este complemento el módulo energético normal de Archicad 17 es pobre en cuanto a los resultados, pero tiene ciertas ventajas como el análisis de las aberturas de la edificación, donde se puede simular el porcentaje de abertura expuesta al sol y la radiación que estarían absorbiendo. Este análisis podría ser de utilidad para algunos diseños específicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] M. Jovanovic, N. Afgan, and V. Bakic, "An analytical method for the measurement of energy system sustainability in urban areas," *Energy*, vol. 35, no. 9, pp. 3909–3920, Sep. 2010.
- [2] B. Vučićević, M. Stojiljković, N. Afgan, V. Turanjanin, M. Jovanović, and V. Bakić, "Sustainability assessment of residential buildings by non-linear normalization procedure," *Energy Build.*, vol. 58, pp. 348–354, Mar. 2013.
- [3] A. Junghans, "Integration of Principles for Energy-efficient Architecture and Sustainable Facilities Management," no. November, 2012.
- [4] Juan Jose Arango Mendoza, Maria Andrea Fernandez Bastos, "Análisis energético del edificio de Estudios Industriales y Empresariales según lineamientos del sistema de certificación LEED a partir del uso de la herramienta autodesk ecotect analysis," *Trabajo de grado UIS*, 2013.
- [5] Oscar Alejandro Pulido Suarez, Marvin Meneses Silva, "Evaluación de las Estrategias de Confort Visual y Térmico establecidas para el edificio de ingeniería Eléctrica Según lineamientos del sistema de certificación LEED a partir de la herramienta designbuilder," *Trabajo de grado UIS*, 2012.
- [6] Mayra Alejandra López Castellanos, Ángela María Rojas Herrera, Ivonne Astrid Ruiz Maldonado, "Análisis energético del edificio de Estudios Industriales y Empresariales a partir del uso de la herramienta autodesk ecotect analysis," *Trabajo de grado UIS*, 2012.
- [7] Gabriel Andres Anaya Gomez, Cesar Augusto Avellanda Miranda, Jorge Luis Cardenas Rangel, "Influencia de parámetros de diseño de aplicaciones sostenibles sobre el consumo energético en las instalaciones del quinto piso del edificio de ingeniería eléctrica a partir de simulaciones con designbuilder," *Trabajo de grado UIS*, 2013.
- [8] Roger Mantilla Mejia, Marlon Millan Martinez "Herramientas computacionales para análisis energético de viviendas de interés social," *Trabajo de grado UIS*, 2014.
- [9] H. T. Ring Hansen and M. Knudstrup, "Parametric analysis as a methodical approach that facilitates the exploration of the creative space in low-energy and zero-energy design projects," in *PLEA 2008*.
- [10] L. Vieira de Abreu, L. Chebel "Trees and heat fluxes: how much do they contribute to the energy balance at urban spaces?," in *PLEA 2011. 27th Conference on Passive and low Energy Architecture*, 2011.
- [11] M. Smith, J. Rodriguez, M. Mena "Sustainable Environmental Design Consultancy: Practices informed and practical outcomes," in *PLEA 2011. 27th Conference on Passive and low Energy Architecture*, Julio, 2011.
- [12] M. Sattler, L.M. Andrade, R. M. Barros, G.S. Tenorio "Cooperative Design in a Postgraduate Distance Learning Scheme in Brazil," in *PLEA 2011. 27th Conference on Passive and low Energy Architecture*, 2011.
- [13] C. Weissenstein, J.C. Bignon "Environmental design of a building, Climatic context," in *PLEA 2011. 27th Conference on Passive and low Energy Architecture*, 2011.
- [14] A. Molin, P. Rohdin, "Solutions to reduce energy consumption in the management of large buildings", *Energy Build.*, 2012.
- [15] Thomas Spiegelhalter "Building integrated micro-generation systems for cooling, heating, and dehumidification in hot and humid climate zones," in *PLEA 2011*.
- [16] M. Zinzi, E. Carnielo S. Agnoli "Application of cool materials on solar protection devices to reduce energy consumption and improve thermal comfort conditions in residential buildings," in *PLEA 2011. 27th Conference on Passive and low Energy Architecture*, 2011.
- [17] W. Sheta, S. Sharples "Delivering Quality Indoor Environment in Houses: The Potentials and Impact of Building Materials for Facade Design in Cairo," in *PLEA 2011. 27th Conference on Passive and low Energy Architecture*, 2011.
- [18] C. Domin, L. Medlin "Building Regional Intelligence," in *PLEA 2011. 27th Conference on Passive and low Energy Architecture*, 2011.

- [19] Y. Chen, D. Besse, B. Ford "What is the Relationship between Design Excellence Distance and Building Performance?," 2011.
- [20] Z. Yu, B. Fung, F. Haghighat, H. Yoshino, E. Morofsky "A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption?," *Energy and Buildings*. Feb, 2011.
- [21] O.T. Masoso, L.J. Grobler "The dark side of occupants' behaviour on building energy use," *Energy and Buildings*, 2009.
- [22] M. Refaee, H. Altan "Measured Indoor Environment and Energy Consumption Compared to accepted Standards: A case study of Kirklees, Yorkshire, UK". November, 2012.
- [23] L. Finocchiano, M. Murphy, T. Wigenstad, A.G. Hestnes "The climate/comfort comparison and the basis of sustainable design. Impact of climate change and technological development," in *PLEA 2011. 27th Conference on Passive and low Energy Architecture*, 2011.
- [24] "Simulación energética de edificios." [Online]. Available: <http://www.greenbuildings.com.ar/simulacion-energetica-edificios.html>.
- [25] "Autodesk Ecotect Analysis," *Sustainable Building Design Software*, 2013. [Online]. Available: <http://usa.autodesk.com/ecotect/analysis/>.
- [26] "DesignBuilder: simulación energética, iluminación natural." [Online]. Available: <http://www.sol-arq.com/designbuilder/>
- [27] "Software eQUEST ." [Online]. Available: <http://wwwhttp://energydesignresources.com/resources/software-tools/equest.asp>
- [28] "Datos ubicación y clima Bucaramanga" [Online]. Available: http://www.colombialink.com/01_IND_EX/index_turismo/destinos/bucaramanga.htm
- [29] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). «ATLAS CLIMATOLÓGICO NACIONAL/Bucaramanga.
- [30] INVISBU, "Altos de Betania," 2013. [Online]. Available: <http://www.invisbu.gov.co/index.php/nuestra-gestion/programas-y-proyectos/proyecto-2-altos-de-betania>.
- [31] "Graphisoft Archicad." [Online]. Available: <http://www.graphisoft.es/archicad/archicad/overview/>. [Accessed: 20-Aug-2013].
- [32] "Energy Evaluation." [Online]. Available: http://www.graphisoft.es/archicad/archicad_17/energy_evaluation/. [Accessed: 20-Aug-2014].
- [33] S.G. Attia, A. De Herde "Early Design simulation tools for net zero energy buildings: A comparison of ten tools," in *IBPSA. 12th Conference of international Building Performance Simulation Association*. November, 2011.
- [34] "Edificación verde y su certificación - HomeTECH." [Online]. Available: http://www.hometech.com.mx/articulos.php?id_sec=21&id_art=93. [Accessed: 27-May-2014].
- [35] "Certificación BREAAAM" [Online]. Available: <http://www.breeam.es/index.php/conocenos/breeam.internacional>. [Accessed: Jun-2014].
- [36] "¿Por qué certificar?" [Online]. Available: <http://www.breeam.es/index.php/por-que-certificar/> [Accessed: 04-Jun-2014].
- [37] "LEED Certification" [Online]. Available: <http://www.usgbc.org/certification>
- [38] "CONSEJO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SOSTENIBLE" [Online]. Available: <http://www.cccs.org.co/>.
- [39] "Edificación verdes" [Online]. Available: <http://www.gbcbolivia.org/> [Accessed: 18-Feb-2014].
- [40] "Edificios verdes: Construir de forma sostenible Revista Consumer" [Online]. Available: <http://revista.consumer.es/web/es/20030601/medioambiente/>. [Accessed: 11-May-2014].
- [41] "Cambio climático, sostenibilidad y edificaciones verdes, Instituto de Ecología - UNAM." [Online]. Available: <http://web.ecologia.unam.mx/>

BIBLIOGRAFÍA

- A. Junghans, "Integration of Principles for Energy-efficient Architecture and Sustainable Facilities Management," no. November, 2012.
- A. Molin, P. Rohdin, "Solutions to reduce energy consumption in the management of large buildings", *Energy Build.*, 2012.
- "Autodesk Ecotect Analysis," Sustainable *Building Design Software*, 2013. [Online]. Available: <http://usa.autodesk.com/ecotect/analysis/>.
- B. Vučićević, M. Stojiljković, N. Afgan, V. Turanjanin, M. Jovanović, and V. Bakić, "Sustainability assessment of residential buildings by non-linear normalization procedure," *Energy Build.*, vol. 58, pp. 348–354, Mar. 2013.
- C. Weissenstein, J.C. Bignon "Environmental design of a building, Climatic contex," in *PLEA 2011. 27th Conference on Passive and low Energy Architecture*, 2011.
- C. Domin, L. Medlin "Building Regional Intelligenc," in *PLEA 2011. 27th Conference on Passive and low Energy Architecture*, 2011.
- "Certificacion BREAAAM" [Online]. Available: <http://www.breeam.es/index.php/conocenos/breeam.internacional>. [Accessed: Jun-2014].
- "CONSEJO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SOSTENIBLE" [Online]. Available: <http://www.cccs.org.co/>.
- "Cambio climatico, sostenibilidad y edificaciones verdes, Instituto de Ecología - UNAM." [Online]. Available: <http://web.ecologia.unam.mx/>
- Datos ubicación y clima Bucaramanga" [Online]. Available:http://www.colombialink.com/01_INDEX/index_turismo/destinos/bucaramanga.htm
- "DesignBuilder: simulación energética, iluminación natural." [Online]. Available: <http://www.sol-arq.com/designbuilder/>
- "Edificación verde y su certificación - HomeTECH." [Online]. Available: http://www.hometech.com.mx/articulos.php?id_sec=21&id_art=93. [Accessed: 27-May-2014].
- "Edificación verdes" [Online]. Available: <http://www.gbcbolivia.org/> [Accessed: 18-Feb-2014].
- "Edificios verdes: Construir de forma sostenible Revista Consumer" [Online]. Available: <http://revista.consumer.es/web/es/20030601/medioambiente/>. [Accessed: 11-May-2014].
- "Energy Evaluation." [Online]. Available: http://www.graphisoft.es/archicad/archicad_17/energy_evaluation/. [Accessed: 20-Aug-2014].

"Graphisoft Archicad." [Online]. Available: <http://www.graphisoft.es/archicad/archicad/overview/>. [Accessed: 20-Aug-2013].

Gabriel Andres Anaya Gomez, Cesar Augusto Avellanda Miranda, Jorge Luis Cardenas Rangel, "Influencia de parámetros de diseño de aplicaciones sostenibles sobre el consumo energético en las instalaciones del quinto piso del edificio de ingeniería eléctrica a partir de simulaciones con designbuilder," *Trabajo de grado UIS*, 2013.

H. T. Ring Hansen and M. Knudstrup, Parametric analysis as a methodical approach that facilitates the exploration of the creative space in low-energy and zero- energy design projects," in *PLEA 2008*.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). «ATLAS CLIMATOLÓGICO NACIONAL/Bucaramaga.

INVISBU, "Altos de Betania," 2013. [Online]. Available:<http://www.invisbu.gov.co/index.php/nuestro-gestion/programas-y-proyectos/proyecto-2-altos-de-betania>.

Juan Jose Arango Mendoza, Maria Andrea Fernandez Bastos, "Análisis energético del edificio de Estudios Industriales y Empresariales según lineamientos del sistema de certificación LEED a partir del uso de la herramienta autodesk ecotect analysis," *Trabajo de grado UIS*, 2013.

"LEED Certification" [Online]. Available: <http://www.usgbc.org/certification>

L. Finocchiano, M. Murphy, T. Wigenstad, A.G.Hestnes "The climate/comfort comparison and the basis of sustainable design. Impact of climate change and technological development," in *PLEA 2011. 27th Conference on Passive and low Energy Architecture*, 2011.

L. Vieira de Abreu, L. Chebel "Trees and heat fluxes:how much do they contribute to the energy balance at urban spaces?," in *PLEA 2011. 27th Conference on Passive and low Energy Architecture*, 2011.

M. Jovanovic, N. Afgan, and V. Bakic, "An analytical method for the measurement of energy system sustainability in urban areas," *Energy*, vol. 35, no. 9, pp. 3909–3920, Sep. 2010.

M. Refaee, H. Altan "Measured Indoor Environment and Energy Consumption Compared to accepted Standards: A case study of Kirklees, Yorkshire, UK". November, 2012.

M. Sattler, L.M. Andrade, R. M. Barros, G.S. Tenorio "Cooperative Design in a Postgraduate Distance Learning Scheme in Brazil," in *PLEA 2011. 27th Conference on Passive and low Energy Architecture* , 2011.

M. Smith, J. Rodriguez, M. Mena "Sustainable Environmental Design Consultancy: Practices informed and practical outcomes," in *PLEA 2011. 27th Conference on Passive and low Energy Architecture*, Julio, 2011.

M. Zinzi, E. Carnielo S. Agnoli "Application of cool materials on solar protection devices to reduce energy consumption and improve thermal comfort conditions in residential buildings," in *PLEA 2011. 27th Conference on Passive and low Energy Architecture*, 2011.

Mayra Alejandra López Castellanos Ángela María Rojas Herrera Ivonne Astrid Ruiz Maldonado, "Análisis energético del edificio de Estudios Industriales y Empresariales a partir del uso de la herramienta autodesk ecotect analysis," *Trabajo de grado UIS*, 2012.

O.T. Masoso, L.J. Grobler "The dark side of occupants' behaviour on building energy use," *Energy and Buildings*, 2009.

Oscar Alejandro Pulido Suarez, Marvin Meneses Silva, "Evaluación de las Estrategias de Confort Visual y Térmico establecidas para el edificio de ingeniería Eléctrica Según lineamientos del sistema de certificación LEED a partir de la herramienta designbuilder," *Trabajo de grado UIS*, 2012.

"¿Por qué certificar?" [Online]. Available: <http://www.breeam.es/index.php/por-que-certificar/> [Accessed: 04-Jun-2014].

Roger Mantilla Mejía, Marlon Millán Martínez "Herramientas computacionales para análisis energético de viviendas de interés social," *Trabajo de grado UIS*, 2014.

"Simulación energética de edificios." [Online]. Available: <http://www.greenbuildings.com.ar/simulacion-energetica-edificios.html>.

"Software eQUEST." [Online]. Available: <http://www.energydesignresources.com/resources/software-tools/equest.asp>

S.G. Attia, A. De Herde "Early Design simulation tools for net zero energy buildings: A comparison of ten tools," in IBPSA. *12th Conference of International Building Performance Simulation Association*. November, 2011.

Thomas Spiegelhalter "Building integrated micro-generation systems for cooling, heating, and dehumidification in hot and humid climate zones," in *PLEA 2011*.

W. Sheta, S. Sharples "Delivering Quality Indoor Environment in Houses: The Potentials and Impact of Building Materials for Facade Design in Cairo," in *PLEA 2011. 27th Conference on Passive and Low Energy Architecture*, 2011.

Y. Chen, D. Besse, B. Ford "What is the Relationship between Design Excellence Distance and Building Performance?," 2011.

Z. Yu, B. Fung, F. Haghighat, H. Yoshino, E. Morofsky "A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption?," *Energy and Buildings*. Feb, 2011.

ANEXO A. CONSIDERACIONES PARA UN DISEÑO SOSTENIBLE

En el estudio del diseño sostenible se tienen distintos enfoques metodológicos es decir pasos o fases de la manera en que se debe hacer este tipo de diseño, que lo que busca es que el medio ambiente y el entorno no se vean comprometidos por la construcción del edificio, es decir construcciones de bajo impacto ambiental sin afectar la estética, funcionalidad, utilidad del edificio ni la comodidad de los ocupantes.

Todo parte de la localización del edificio, el clima y la condición del sitio donde se construirá, el diseño arquitectónico, su forma, orientación. Los materiales de construcción a seleccionar deben ser amigables con el medio ambiente y que al mismo tiempo sean capaces de mantener el clima interno del edificio con el mínimo consumo por sistemas HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*), luego se debe hacer la planeación de los sistemas técnicos y finalmente, se procede a la construcción. A continuación se describe cada una de estas fases.

➤ **Localización**

Una de las mayores causas del cambio climático es el boom de la urbanización, donde las áreas verdes son reemplazadas por construcciones; debido a que la radiación solar afecta de manera diferente a las diferentes tipos de superficies presentes en los edificios, lo que con lleva a la reducción del confort térmico y el incremento del potencial de enfermedades para la población urbana. Por lo tanto considerar la localización del edificio a construir es primordial para la construcción de edificaciones sostenibles [10].

Se requieren consideraciones climáticas, la posición apropiada, la orientación del edificio, la condición del suelo del sitio donde se construirá. Si es posible hacer uso de la luz solar, el viento, los alrededores del lugar, si hay árboles, no solo por el hecho de que aporten sombra también porque la vegetación regula los cambios climáticos (tanto temperatura como humedad), estudios han probado los beneficios de la vegetación a la hora de mejorar el clima de las ciudades, afirmando que las mayores contribuciones a la hora de controlar los flujos de calor en las ciudades la dan la vegetación. Estos resultados varían de acuerdo a la densidad del follaje, el tamaño, forma, color de las hojas, edad y el estado de crecimiento del árbol, todas estas características ayudan a disminuir la temperatura, mejoran el confort térmico y pueden ahorrar energía [3] [10].

El clima del lugar es muy importante porque puede dar una idea de cómo se debe realizar el diseño del edificio, ya que consideraciones como el confort visual, el manejo del agua, el confort térmico vienen dadas por el tipo de clima. Por ejemplo, la arquitectura liviana y los techos grandes son típicos de climas húmedos y calurosos; en contraste, en un clima caluroso y seco las construcciones normalmente tienen un techo plano y los diseños son compactos y pesados. Así que para cada tipo de clima se tienen diferentes tipos de archi-

tectura que requieren diferentes tipos de diseño porque las necesidades de la construcción cambian [13].

El estudio de la ubicación de la construcción ayuda a dar una idea preliminar de a lo qué se va a enfrentar el edificio y que se debe hacer para que las condiciones de temperatura, humedad, energía y confort sean adecuadas para las personas sin dañar el medio ambiente [13].

También es necesario mencionar del clima local, porque por cada localización, las características micros climáticos y ambientales pueden acelerar o disminuir los impactos del cambio climático en cada región. Ejemplos de estas características son la proximidad a la costa, la elevación, los alrededores, la densidad urbana [13] [10].

➤ **Diseño**

El diseño de este tipo de edificaciones se caracteriza por ser compacto, con envolventes que no absorban radiación solar. De la misma manera, la orientación del edificio es diferente a las tradicionales, su ubicación, el tamaño de las ventanas, las subdivisiones de las zonas [3] [11].

Con respecto a la orientación, otro parámetro importante es el sombreado y la geometría solar; tener en cuenta esta información a la hora de diseñar las aberturas del edificio tendrá varias ventajas, como maximizar la ganancia solar del edificio (que puede ser aprovechada con el uso de paneles solares), minimizando las pérdidas por calor y evitando que las personas en el edificio sufran de insolación [11].

La característica primordial en este tipo de diseños es el clima del lugar y el entendimiento del sitio donde se construirá la edificación, estos parámetros deben ir ligados al diseño del edificio, si hay árboles alrededor se hace buena idea tenerlos en cuenta como fuente de sombras, de la misma manera el material a escoger deberá tener en cuenta estos parámetros. Los datos climáticos que influyen las características de diseño del edificio son [11]:

- Variaciones de temperatura y temperatura promedio diaria.
- Precipitación (lluvia, nieve)
- Velocidad y dirección del viento.
- Luz del sol (hora, radiación, nubosidad)
- Humedad
- Datos de localización como longitud, latitud, altitud y trayectoria solar.

De cierta manera se puede establecer un patrón a la hora del diseño de una edificación dependiendo del tipo de clima, es común que se construyan techos grandes en climas húmedos y calurosos; en climas secos los techos generalmente son planos, lo que implica que para cada tipo de clima hay un tipo específico de arquitectura y unas necesidades que cumplir. Esto se hace más claro cuando se estudian estas necesidades, en un clima

húmedo y caluroso el techo grande indica una necesidad de protección del sol y la lluvia, mientras que en otro tipo de clima la necesidad puede ser mayor circulación de aire. Cada necesidad tiene que ser llenada por el diseño [3] [13] [11].

Dependiendo del tipo de edificio y del clima del lugar este puede necesitar sistemas de climatización, se debe definir el rol de estos sistemas en el diseño. Si la ventilación natural es suficiente o se requiere ventilación artificial o refrigeración, la calidad del aire también es importante [13].

Si a pesar de tener en cuenta todo esto se ve que todavía hay problemas con el consumo del edificio o el impacto ambiental, es necesario implementar un sistema de control, edificios inteligentes, techos verdes u otras prácticas verdes que cada vez son más comunes [11].

El uso de la luz del sol es una de las prioridades en el diseño arquitectónico. Se deben tener en cuenta los niveles mínimos de luminosidad que se necesitan para realizar las diferentes actividades del día, de la misma manera usar este tipo de luz el mayor tiempo posible sin que afecte la vista por brillo excesivo u otros efectos indeseados. Otro aspecto a tener en cuenta es los materiales usados y que tanto reflejan o absorben la luz solar, por lo que desde el principio los materiales son una parte importante a la hora del diseño [11].

➤ Selección de materiales

Desde la etapa de planeación donde se tienen en cuenta los aspectos de localización y diseño, la selección de materiales adecuados para la edificación debe ser una parte primordial, los materiales a usar son importantes y deben tener unas características de acuerdo al lugar [3].

La propiedad esencial para seleccionar un material es su alta protección térmica, adicionalmente es importante que los materiales no dejen una huella muy grande en el ambiente, que en lo posible sean locales, no tóxicos y tener una alternativa para disponer de las materias primas sobrantes [3] [12].

Si la protección del edificio está construida con un material con un buen aislamiento térmico, que proteja al edificio de los cambios climáticos y las altas temperaturas del exterior, los sistemas de refrigeración que tienden a consumir mucha energía podrían dejar de usarse completamente o parcialmente, disminuyendo el consumo de energía, reduciendo el impacto ambiental del edificio [16]

La gama de este tipo de materiales puede llegar a ser amplia, hay incluso “pinturas frías”, las cuáles son pigmentos que reflejan ondas cercanas al espectro infrarrojo, mientras que son transparentes en el espectro visible, permitiendo que el material mantenga su color

original y aumentando la reflectancia del mismo, es decir, es una pintura convencional que refleja mucho mejor la luz del sol [16].

Estudios hechos sobre este tipo de pintura demuestran que estos materiales reducen las temperaturas interiores, por lo que pueden ser usados en cortinas de aluminio u otros elementos de protección solar [16].

➤ **Planeación de los sistemas técnicos**

Los porcentajes de consumo en el área de la construcción son bastante altos: el 23% del consumo total de energía en España, el 25% en Japón, 28% en China, 37% en Estados Unidos, 39% en el Reino Unido, 42% en Brasil, más del 47% en Botswana, 47% en Suiza, etc. Son valores que deben reducirse lo máximo posible, por lo que se comenzaron a investigar alternativas para reducir el consumo de energías no renovables y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera [14][21]

Ejemplos de estas alternativas son: Reducir las demandas de calentamiento, mejoramiento de la eficiencia en los sistemas de distribución de energía, uso de recursos renovables tanto para energía como para materiales de construcción, uso de lámparas y equipos más eficientes, uso de materiales fríos que no absorban energía arquitectura pasiva, sistemas de control, uso de energías renovables, entre otros [14] [21].

Es necesario tener en cuenta el impacto ambiental que puede tener la fuente de energía que usará el edificio y si este impacto es muy grande reducirlo al máximo. Tener en cuenta el uso eficiente de la energía es primordial, por lo que se debe hacer un estudio exhaustivo de la climatización del edificio y qué se puede hacer para reducir el uso de sistemas mecánicos de climatización que llegan a consumir una gran parte de la energía del edificio [3] [12].

➤ **Uso eficiente y ahorro de energía y fuentes renovables**

Los factores que influyen el consumo del edificio son los siguientes [20]:

- El clima (la temperatura del aire exterior, radiación solar, velocidad del viento).
- Características relacionadas con el edificio (tipo de edificación, área donde se construye, orientación del mismo).
- Características relacionadas con el usuario del edificio que no tengan que ver con factores sociales o económicos
- Climatización del edificio, operaciones, sistemas de control, sistemas de climatización.
- El comportamiento de los ocupantes del edificio.
- Factores económicos y sociales.

Normalmente cuando se piensa en ahorro de energía la mayoría de las personas consideran que la opción más viable es instalar tecnologías nuevas para lograr este propósito, el uso de energías renovables, uso de paneles solares en los edificios para que esta energía alimente las cargas de la edificación y se reduzca el uso de energías contaminantes, sistemas de control inteligente que permitan el ahorro de energía, materiales fríos que reflejen todo el calor y no lo absorban para que el edificio esté fresco la mayor parte del tiempo y no se necesiten o sea muy poco el uso de sistemas de climatización activos, el uso de ventilación natural, el uso de la luz solar entre otras prácticas verdes, y no consideran el hecho de si se entiende y se estudia el comportamiento de los ocupantes el ahorro de energía será significativo [20].

El comportamiento de los ocupantes juega un papel importante porque la mayoría de pérdidas de energía, tanto en horas en las que se trabaja como en las que no, ocurren gracias al mal uso de las personas que habitan o trabajan en el edificio. Algunas investigaciones han dado como resultado el descubrimiento de patrones de comportamiento de los trabajadores en las oficinas, algunos empleados dejan prendidas las lámparas ya que el interruptor les queda lejos, prefiriendo desperdiciar energía. Otro tipo de patrón es que en promedio, los empleados pasan más del 50% de su tiempo fuera de su estación de trabajo, sin apagar los aparatos, equipos y sistemas de iluminación, aumentando las pérdidas de energía [14].

Muchos de los edificios presentan problemas y pérdidas debidas a sistemas de control poco eficientes o inexistentes y si estos sistemas se reparan el ahorro de energía puede variar del 10-25%, incluso a veces llega a ser del 44% de la energía [14].

Por esto y muchas razones más la arquitectura sostenible debe estudiar más el comportamiento de los ocupantes ya que el potencial para ahorrar energía es enorme, incluso más que cualquier solución tecnológica, no tiene costo, no necesita grandes conocimientos técnicos, se puede aplicar a cualquier edificio, sea nuevo o ya existente y estos conocimientos se pueden pasar de ocupante a ocupante, haciendo que estas prácticas sean bastante eficientes [20] [13]. Es importante crear conciencia de este tipo de alternativas, vale la pena ya que los costos son mínimos y las ganancias enormes [21].

Otra opción es la implementación de otros sistemas de climatización alternativos donde los ocupantes sigan teniendo la misma comodidad, pero con consumos de energía más bajos. Estudios hechos en un edificio comercial en Hong Kong determinaron que el ahorro de energía al usar un sistema de iluminación que integra la luz solar con la luz artificial puede llegar a ser cercano al 48.4% [40].

También fueron estudiados los sistemas de ventilación híbridos en edificios residenciales de distintas partes del mundo (Francia, Suecia, Grecia). Los estudios mostraron una me-

jora en la calidad del aire, el confort térmico y una disminución del consumo de energía. En China se usó este mismo tipo de ventilación con resultados que muestran que hay un potencial de ahorro de energía del 20-30% comparado con un sistema de ventilación mecánico [40].

Las investigaciones en esta área son amplias y demuestran que es posible tener un edificio con pocos principios de arquitectura sostenible que puede disminuir su consumo gracias al buen manejo de los ocupantes del edificio. Si esto no es suficiente o el usuario quiere seguir con su comodidad, no es necesario que deje de usar sistemas de refrigeración o calefacción para el ahorro de energía, porque hay nuevos sistemas, nuevas investigaciones que hacen que el uso de equipos y sistemas de climatización que no sea mutuamente excluyentes con la construcción de una edificación verde [40].

➤ **Sistemas de climatización**

En estos últimos años el incremento en el mercado de los sistemas de aire acondicionado convencionales ha sido enorme. En el año 1998 se compraron mundialmente aproximadamente 26 millones de unidades, en el 2007 esta cifra se incrementó a 74.2 millones. Este tipo de aire acondicionado tiene varias desventajas:

- Su consumo de energía e impacto ambiental es demasiado alto.
- Causan grandes picos de corriente e incluso a veces apagones en varios estados de Estados Unidos y en otras partes del mundo con climas similares.
- En general este tipo de sistemas emplean refrigerantes que pueden causar daños al medio ambiente [15].

En climas calurosos el uso de aire acondicionado es culpable del mayor gasto de energía en una edificación. Unidades de aire acondicionado son vendidas en todas partes y en muchos casos son pocas las regulaciones que aplican durante su instalación. Cuando el uso de estos sistemas es esencial para el confort del edificio durante climas cálidos, hay maneras en las que se puede reducir el consumo de energía en edificios. Mejorar el diseño de los edificios y sistemas y así reducir las cargas de refrigeración [15].

Por esta razón, arquitectos y profesionales en la construcción y diseño tienen una misión más grande al diseñar edificios sostenibles mientras que la industria de la construcción enfrenta un nuevo reto donde la renovación de edificios es el verdadero reto a enfrentar para los futuros arquitectos. Los resultados del rendimiento energético en viviendas en Belgrado que fueron renovadas mostraron eficiencias en el ahorro de energía y reducciones de gas carbónico, así como avances en la calidad de vida, todo esto gracias al reemplazo del aislamiento térmico y reemplazo de ventanas [22].

El uso de sistemas pasivos en lugar de sistemas activos es una de las mejores opciones para cualquier edificio energéticamente eficiente, no solo por el ahorro de energía que traen sino también porque se pueden analizar las cargas anuales que consumirá el edificio en climatización basadas en datos meteorológicos y la actividad de los ocupantes, y realizar una comparación económica de las soluciones seleccionadas durante todo el ciclo de vida [15].

Las condiciones que se quieren para el clima interior de la edificación son una herramienta que permiten definir qué estrategias pasivas deberían ser adoptadas dentro de cierto contexto climático, pero también influyen el grado de complejidad del proceso de diseño. Para tener condiciones de confort adecuadas, existe un enfoque relativamente simple para climas fríos, que busca maximizar las ganancias solares y minimizar las pérdidas térmicas durante todo el año [23].

Las nuevas regulaciones que buscan mermar el impacto ambiental de los edificios están haciendo uso de las envolventes, caracterizadas por su alto aislamiento y hermeticidad. El uso de estas envolventes permite reducir de manera significativa la demanda de calefacción durante el invierno, pero durante las épocas calurosas puede hacer que haya sobrecalentamiento dentro del edificio. Por esta razón, en estos edificios sería necesario utilizar equipos de aire acondicionado, lo que haría que se incrementara la demanda energética de los edificios, por lo que se requiere cambiar el diseño arquitectónico para climas fríos para hacer uso de las estrategias pasivas [23].

Una alternativa es usar energías renovables que suplan todas las necesidades del edificio o que energicen un porcentaje de los equipos del edificio y el otro sea por medio de fuentes de energía renovables locales (de esta manera se necesitarán menos sistemas de aire acondicionado, haciendo que la sostenibilidad y las emisiones de gas carbónico disminuyan [15].

El confort de las personas no solo se basa en la temperatura o la humedad relativa del lugar, también influyen factores como la temperatura radiante, el flujo de aire, el metabolismo, la ropa usada e incluso cuanto se pueden controlar los sistemas. Reduciendo el impacto de la radiación solar en los edificios, vistiéndose de manera apropiada con el clima y el entorno y teniendo un buen sistema de control, los diseñadores y planeadores pueden hacer que el edificio presente un buen confort térmico y al mismo tiempo ahorrar energía [15].

Por estas y más razones, el desarrollo del diseño de edificaciones verdes obliga a ir más allá a la hora de innovar. Por lo que han surgido varios proyectos en Europa que exploran nuevos procesos y métodos para el ahorro de energía y la protección del ambiente. Un examen a los sistemas de ventilación natural revela que la estrategia de ventilación es, generalmente, basada en el diseño del dispositivo. Los elementos básicos de los sistemas de ventilación natural son [22]:

- La forma del edificio, la cuál debe ser modelada de acuerdo a la dirección del viento.
- Una selección apropiada de dispositivos para la ventilación natural que sean coherentes con las condiciones climáticas del exterior, localizada y formada para aprovechar el viento y/o las fuerzas de flotabilidad
- Aberturas que permitan el suficiente flujo de aire para que se realice el proceso de ventilación.

ANEXO B. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN OBJETO DE ESTUDIO

La mayoría de proyectos de construcción de vivienda de interés social que se están desarrollando actualmente o se desarrollarán en el municipio de Bucaramanga, están basados en una estrategia de vivienda creada por el INVISBU (Instituto de Vivienda de Interés Social y Reforma Urbana del Municipio de Bucaramanga), en la que al observar una carencia de zonas y suelos aptos para la construcción; decide adelantar proyectos de alta densificación, en los que el espacio público sea un valor agregado para el habitante; reemplazando la vivienda unifamiliar por vivienda multifamiliar [27].

El proyecto tiene como nombre “Altos de Betania”, localizado en el barrio Café Madrid, al costado oriental de la vía palenque-café Madrid,; exactamente en la latitud 7° 9'22.45"n, longitud 73° 8'30.09"o, en el municipio de Bucaramanga, departamento de Santander. Altos de Betania es un proyecto que está constituido por 9 torres de vivienda multifamiliar, de 5 pisos con cubierta plana en concreto, 6 apartamentos por piso. En la Figura B.1 se muestra una de las torres.



Figura B.1. Vivienda multifamiliar Altos de Betania.

ESPECIFICACIONES CONSTRUCTIVAS

El proyecto Altos de Betania da la oportunidad de contar con un lugar digno para las familias de escasos recursos, ya que cumple con los requerimientos mínimos de espacio de una VIS. Cada apartamento consta de sala comedor, cocina y ropas, una alcoba principal, una alcoba auxiliar, 1 baño y un balcón [27]. El área que conforma cada apartamento y el área total por piso se muestran en la Tabla B.1

Área total construida				
Apartamentos	Área por apartamento [m ²]	Circulación D [m ²]	Escalera por Apto [m ²]	Subtotal [m ²]
Apto 01	42,48	4,4	1,33	48,21
Apto 02	42,12	4,4	1,33	47,85
Apto 03	42,76	4,4	1,33	48,49
Apto 04	42,76	4,4	1,33	48,49
Apto 05	42,12	4,4	1,33	47,85
Apto 06	42,48	4,4	1,33	48,21
Total piso	252,72	26,41	7,98	-
Área construida cada piso				287,11
Área total construida del edificio				1 435,55

Tabla B.1. Área construida

Fachada

La mampostería a la vista está compuesto de ladrillos de arcilla cocida, sólidos y microperforados cuyas dimensiones son 25 cm x 6,5 cm x 12 cm, los cuales se llevaran a cabo en la fachada, culata, punto fijo y en el interior del apartamento en la zona del balcón, mesón tipo americano y muro de cocina. El bordillo perimetral sobre la cubierta tendrá el mismo tipo de ladrillo a una altura de 0,30 m.

La puerta de la entrada principal es metálica, enchape en zonas húmedas como el baño y la cocina, muros en ladrillo a la vista como se aprecia en la Figura B.2, muros interiores en mampostería H-10, mesón para cocina incluye muro de apoyo, Lavadero prefabricado, ventana tipo para alcobas , ventana celosía para baño y cocina, puerta ventana para balcón.



Figura B.2. Fachada frontal Altos de Betania.

Muros interiores

Muro sísmico en el interior de cada apartamento de 10 cm, de concreto de 3 000 psi con esfuerzo estructural.

Los muros en el interior en mampostería H-10 son de ladrillos de arcilla cocida de 10 cm de espesor, el mortero de 1,5 cm que une los ladrillos, es uniforme tanto vertical como horizontalmente.

Placa entrepiso, pisos y enchapes

El antepiso es de concreto de 2 500 psi con un espesor de 0,10 m, incluye una malla electrosoldada de 5mm de 2,4m x 6m, separación 0,2m, la cual sólo se aplicará en el primer piso. La placa entrepiso posee un espesor de 10 cm de concreto de 3 000 psi con esfuerzo estructural y el piso del apartamento posee un recubrimiento con mortero 1:3, y con un espesor de 0,05 m sobre el piso como acabado interior en éste y en zonas comunes.

La cubierta y el piso de baño tienen un recubrimiento de mortero impermeabilizado de espesor de 0,05 m con el debido control de pendientes, contempla el recubrimiento de cubierta en mortero 1:3 (una parte de cemento y 3 de arena) con impermeabilizante integral tipo Sika-1 o similar, para dar acabado final.

Ventanas

Las características de las ventanas en la Tabla B.2 se obtuvieron a partir de la consulta de planos y especificaciones de materiales del proyecto Altos de Betania.

En la edificación se instalaron 5 tipos de ventanas en cada apartamento, ubicadas en la habitación principal (V2), habitación auxiliar (V4), balcón (V5), baño (V3) y cocina (V1). Las especificaciones se muestran a continuación.

Ventana	Tipo	Dimensiones (m)		Material	Grosor (m)		Vibrio
		Ancho	Alto		Marco	División	
V1	Abertura practicable	1,9	0,6	Acero cold Rolled	0,04	0,10	Incoloro de 4mm
V2	Abertura practicable	1,2	1,3	Acero cold Rolled	0,04	0,02	Incoloro de 4mm
V3	Celosía	0,85	0,55	Acero cold Rolled	0,04	0,10	Incoloro de 4mm
V4	Abertura practicable	1,2	1,2	Acero cold Rolled	0,04	0,02	Incoloro de 4mm
V5	Celosía	2,1	1,25	Acero cold Rolled	0,04	0,02	Incoloro de 4mm

Tabla B.2. Características de las ventanas

Carpinterías

Se especifican las características de las puertas instaladas en el exterior e interior de la vivienda. En cada apartamento hay 4 tipos de puertas ubicadas en la entrada principal (P1), la entrada al balcón (P4), la entrada de las habitaciones (P2) y la entrada al baño (P3). Las especificaciones se muestran en la Tabla B.3.

Puerta	Dimensiones (m)			Material	Marco (m)		
	Ancho	Alto	Profundo		Ancho	Profundo	Material
P1	0,9	2,25	0,2	Acero Cold Rolled	0,02	0,10	Acero Cold Rolled
P2	0,8	2,25	0,36	Madera contrachapada	0,02	0,10	Madera contrachapada
P3	0,6	2,25	0,36	Madera contrachapada	0,02	0,10	Madera contrachapada
P4	0,8	2,25	0,2	Acero Cold Rolled	0,02	0,10	Acero Cold Rolled

Tabla B.3. Características de las puertas.

ESPECIFICACIONES ENERGÉTICAS

Se describen las especificaciones asociadas al sistema de iluminación general y equipos eléctricos. La iluminación general está compuesta por lámparas fluorescentes ahorradoras de energía, con casquillo de rosca. En relación a los equipos eléctricos, se encontró que en cada apartamento puede haber al menos un computador de escritorio y otros pequeños electrodomésticos de luminarias y equipos eléctricos que pueden conformar la edificación.

El cálculo de la potencia asignada para iluminación en cada nivel, se realizó, a partir de la revisión de los planos de "Instalaciones de fuerza e iluminación" del apartamento tipo, además de los cuadros de carga respectivos para el apartamento tipo y el tablero de servicios generales, que se presentan en las tablas B.4 y B.5 respectivamente.

Cuadro de cargas apartamento tipo												
Circ	Luces	Tomas		Carga (VA)				Fases	Corriente (A)	Cond AWG	Prot (A)	Observaciones
				Fase			Total					
				A	B	C						
1	-	7	1	1 440	-	-	1 440	1	12	12	1*20	Tomacorrientes generales
2	-	1	2	1 200	-	-	1 200	1	10	12	1*20	Lavadora y plancha
3	-	2	1	540	-	-	540	1	4,5	12	1*20	circuito cocina
4	8	-	-	800	-	-	800	1	6,67	14	1*15	Luces
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Libre
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Libre
Total	8	10	4	3 980	-	-	3 980	2	11,05	1*8+8	2*30	Acometida monofásica bifilar

Tabla B.4. Cuadro de cargas apartamento tipo.

Cuadro de cargas												
Cir	Luces	Tomas		Carga (VA)				Fases	Corriente (A)	Cond AWG	Prot (A)	Observaciones
				Fase			Total					
				A	B	C						
1	-	-	1	1 450	-	-	1 450	1	6,97	4	3*50	Bomba Hidro-neumática 4HP*, Rendimiento=0,8 factor de potencia= 0,85
3	-	-	-	1 450	-	1 450	1	6,97	-			
5	-	-	-	-	-	1 450	1 450	1	6,97	-		
2	5	-	-	300	-	-	300	1	2,5	14	1*15	Luces punto fijo escaleras
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	5	-	-	1 750	1 450	1 450	4 650	1	12,91	4	2*30	Acometida monofásica bifilar

Tabla B.5. Cuadro de cargas servicios generales.

Teniendo en cuenta la carga de iluminación de cada apartamento y las luces de las escaleras, y asignando un factor de potencia de 0,9 (para lámparas fluorescentes); se realizó el cálculo de la potencia asignada a la iluminación por piso que se encuentra en la Tabla B.6.

Potencia asignada para iluminación	
Piso	Potencia (W)
1	4 374
2	4 374
3	4 374
4	4 374
5	4 374

Tabla B.6. Potencia asignada a iluminación

Iluminación, computadores y equipos varios

El diseño de la iluminación en el edificio proyectó 8 salidas de iluminación con una potencia de 100 (VA) por salida. Se instalaron tres tipos de luminarias ubicadas en el interior y exterior de cada apartamento.

Conforme a la situación actual del país, se contempló el uso de un computador por apartamento y otros equipos varios utilizados esencialmente en la cocina y el entretenimiento del hogar, como una nevera, un televisor, un equipo de sonido y una licuadora. Las características y especificaciones energéticas de la iluminación y equipos anteriormente mencionados, se muestran en la Tabla B.7.

Dispositivo	N° por apartamento	Potencia o consumo (W)	Consumo total (W)
Computador	1	150	150
Equipos varios	2	450	450
Lámpara ahorradora	7	90	630
Lámpara de aplique	1	90	90
Lámpara incandescente	1 (escalera)	54	54

Tabla B.7 Características de iluminación y equipos al interior de la vivienda

ANEXO C. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO Y SIMULACIONES DE LA EDIFICACIÓN CON GRAPHISOFT ARCHICAD 17

1. CREACIÓN DEL MODELO

Preliminares:

En *Graphisoft ArchiCAD* se crea un nuevo proyecto, la plantilla y el espacio de trabajo, para comenzar a construir el modelo. El programa permite guardar una plantilla que tenga las especificaciones deseadas por el usuario tal como se muestra en la Figura C.1

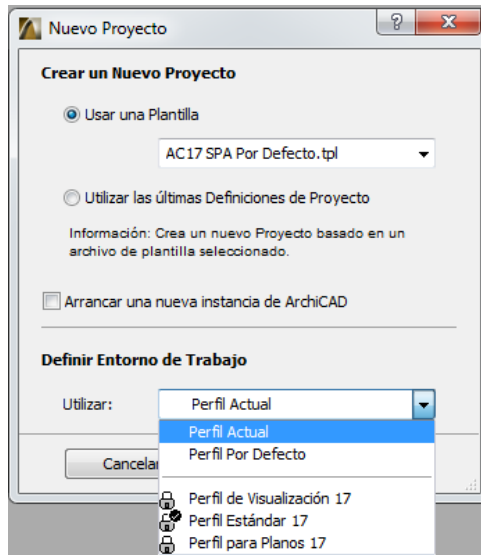


Figura C.1. Selección del perfil de trabajo de ArchiCAD

A la hora de realizar el modelo se debe definir el número de pisos que tendrá y la altura de cada uno, para eso se va a la ventana de Navegación- Mapa de proyecto y se hace clic en la opción de pisos “Definiciones de pisos”. Lo que se quiere es agregar el número de pisos, el nombre y la altura de cada uno así como se ve en la Figura C.2

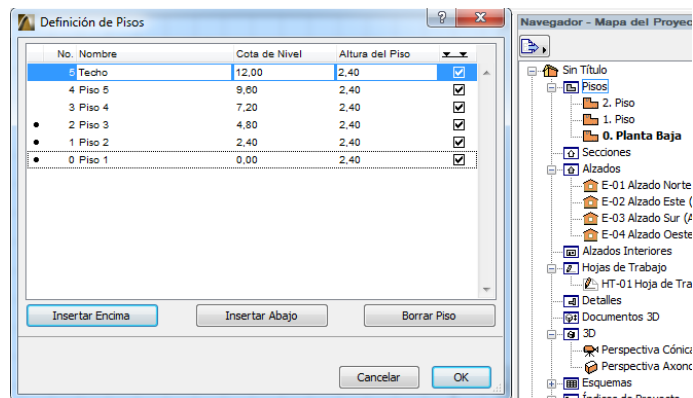


Figura C.2. Definición de Pisos

El número de pisos es 5, el piso “techo” se pone porque ahí se pondrá el techo, la altura de el mismo no importa porque el dato de 2,4 [m] no significa que el piso vaya a tener esa altura sino que esa es la altura máxima que puede tener, en este caso la altura del piso “techo” dependerá del grosor de la capa de cemento que irá en el techo.

Con los pisos definidos el siguiente paso para realizar el modelo es importar los planos de construcción los cuáles están en formato dwg, formato de AutoCAD, *Graphisoft ArchiCAD* permite crear la edificación desde cero, pero en este caso se usaron planos importados de autoCAD para hacer el modelo.

Se debe tener en cuenta que *ArchiCAD 17* no lee planos de versiones tan avanzadas de AutoCAD (2011,2012, 2013, 2014), por lo que deben guardarse en una versión más antigua, como la versión 2010.

Importación de los planos en AutoCAD:

Con el plano guardado en una versión más antigua se pasa a importarlo a *Graphisoft ArchiCAD*. Para hacer esto se usarán las herramientas “hojas de trabajo” y “Trazado y referencia” que vienen en el menú de opciones en el espacio de trabajo.

La hoja de trabajo es una plantilla independiente en la que las opciones para el modelo 3D no están habilitadas, pero que tiene otras opciones como la de importar archivos que serán de utilidad para la construcción del modelo sin estorbar en la plantilla principal, en este caso en esa hoja de trabajo se importará el archivo.

Al tener la hoja de trabajo se usa la herramienta “Dibujo”. Esta herramienta permite colocar una imagen en todos los formatos existentes (png, jpeg, bmp, jpg, jpe, gif, etc) , en formato pdf, dxf y tiene la opción de archivos tipo “dwg”. Se selecciona el plano a usar en la hoja de trabajo de la manera como se aprecia en la Figura C.3.

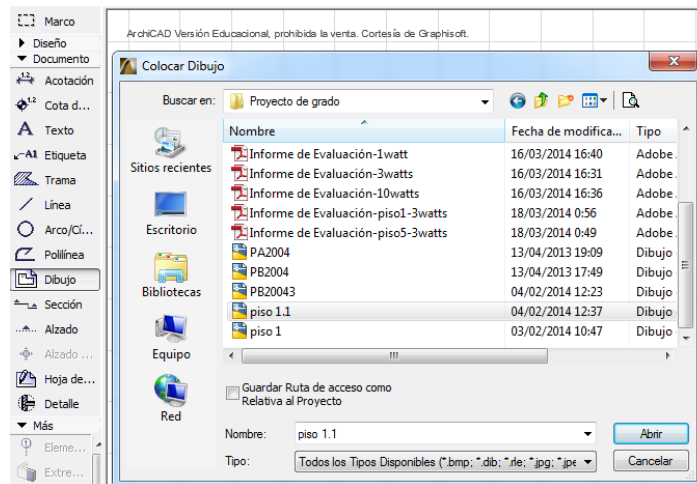


Figura C.3. Importación del plano de AutoCAD.

Con el plano seleccionado ArchiCAD necesita que se especifiquen las unidades a usar, la unidad seleccionada fueron los metros. De esta manera el plano será colocado en la hoja de trabajo como se muestra en la Figura C.4

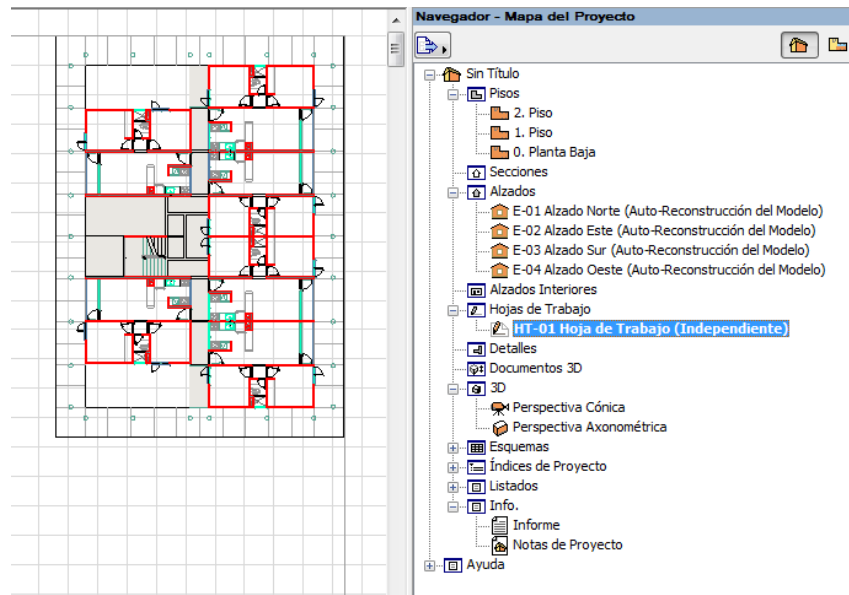


Figura C.4. Hoja de trabajo en ArchiCAD

Con el plano importado a ArchiCAD se pasa a situar el plano en la zona de trabajo principal de ArchiCAD, ya que en esta es que se va a construir el modelo 3D. Para hacer esto se hará uso de la herramienta “Trazado y referenciar”

Con esta herramienta se hace un trazado del plano ubicado en la hoja de trabajo y se copia en la plantilla de trabajo en la que se construirá el modelo como es evidenciado en la Figura C.5.

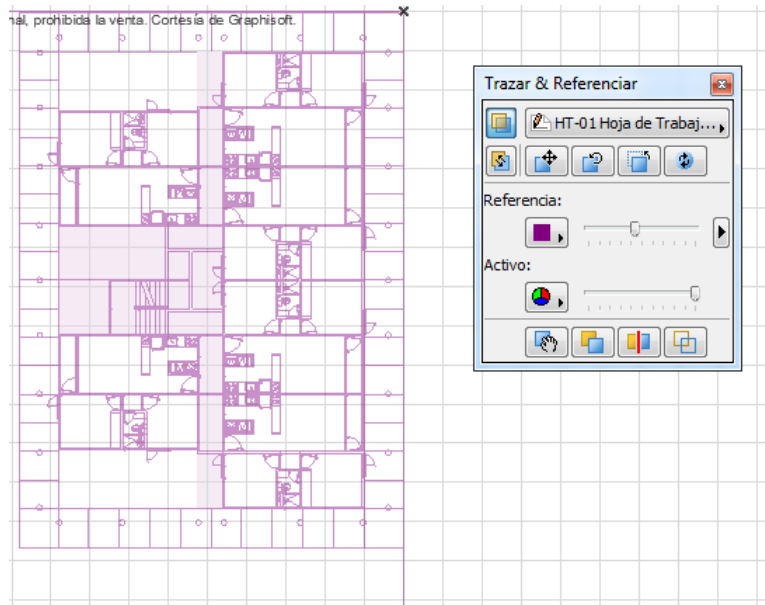


Figura C.5. Herramienta Trazar y Referenciar.

Así ya se tienen los planos base sobre los que se construirá el modelo 3D.

Construcción del modelo 3D

Con el plano base ya se puede proceder a construir el modelo. Lo primero que se hace son los muros, para esto se usa la herramienta muro tal y como se observa en la Figura C.6.

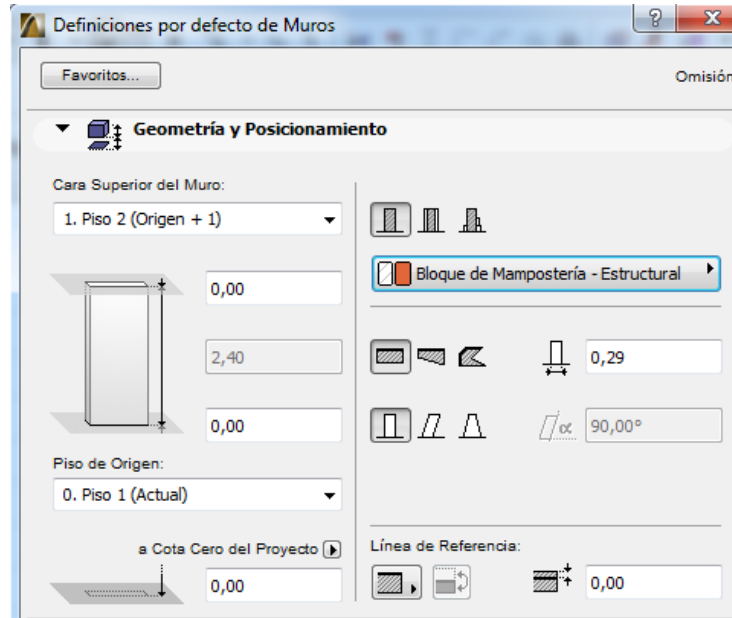


Figura C.6. Herramienta muro.

En la ventana de la herramienta muro se selecciona el tipo de muro (puede ser con un solo material o con dos o tres), la altura, el espesor y el material o materiales a usar así como se muestra en la Figura C.7.



Figura C.7. Tipos de materiales en ArchiCAD

El software cuenta con varios tipos de materiales, en este caso para la fachada se escogió el material “Ladrillo –Estructural” y para los demás muros se escogió el material “Hor-

migón-Estructural”. Los muros de la fachada tienen un muro de ladrillo y hormigón, como esta opción no está entre las de muro, simplemente se usó ladrillo en la fachada, ya que no hay una manera eficiente de modelar este muro.

De esta manera, poco a poco se van armando los cimientos del edificio, luego se procede a añadir las puertas y las ventanas.

La ventana de “puertas” tiene varias opciones, lo que primero se debe hacer es ingresar los datos de las dimensiones de la puerta, luego se procede a escoger el tipo de puerta y el estilo de la misma tal como se ve en la Figura C.8.

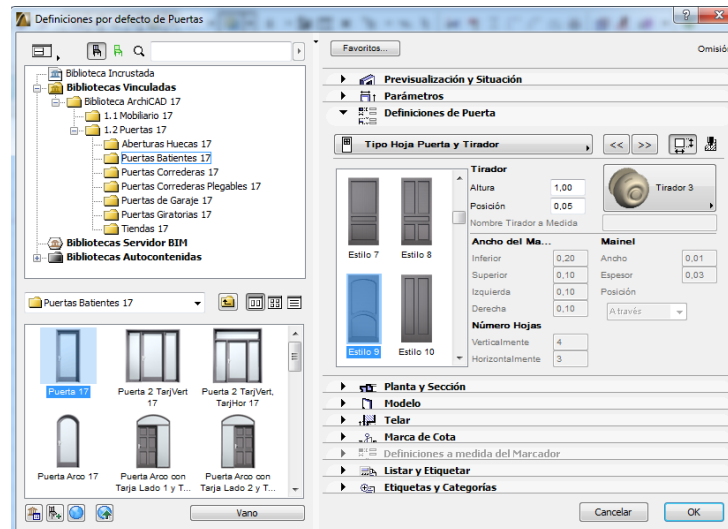


Figura C.8. Opciones de puertas.

Con el tipo de puerta elegido se añaden las puertas al plano, ahora se pasará a añadir las ventanas. En la Figura C.9 se ven las diferentes opciones de ventanas.

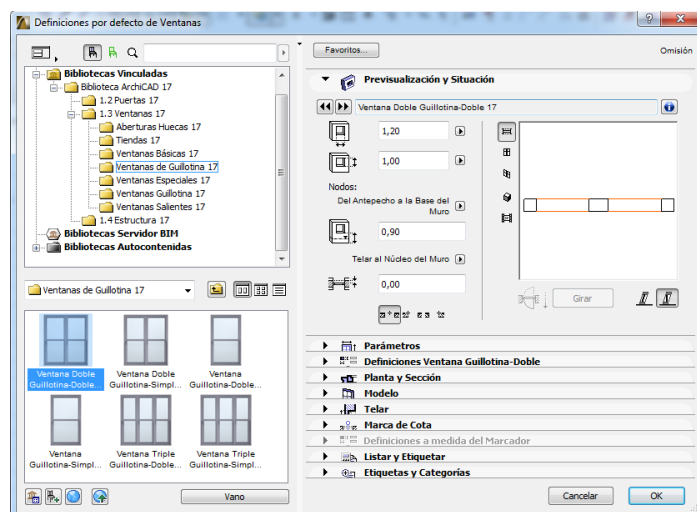


Figura C.9. Opciones de ventanas

Se escoge el tipo de ventana deseado y se ingresan los datos de las ventanas.

Con los muros, puertas y ventanas ya se pasa a agregar los pisos.

Para los pisos se usa la herramienta “Forjado”, esta ventana tiene varias opciones para los pisos, incluida la opción de agregar un piso de un material con un recubrimiento de otro. En la Figura C.10 se aprecian las opciones de la ventana “Forjado”

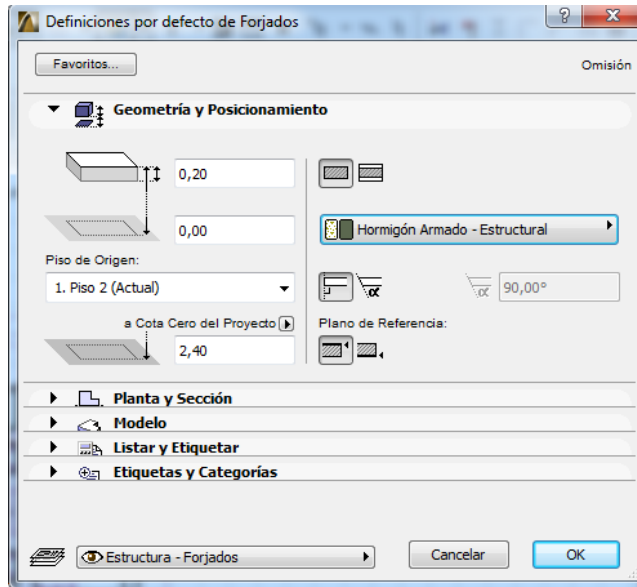


Figura C.10. Opciones para pisos

Se deben ingresar los datos del grosor del piso, el material y el piso donde se dibujará (ya que tiene la opción de dibujar desde un piso más abajo)

Los materiales a usar son los mismos que con la herramienta muro, para este modelo el material escogido fue el de “Hormigón-Estructural”

Ahora lo único que falta para terminar el primer piso del modelo es agregar la escalera que conecta al primer piso con el segundo, para esto se usará la herramienta escalera como se aprecia en la Figura C.11

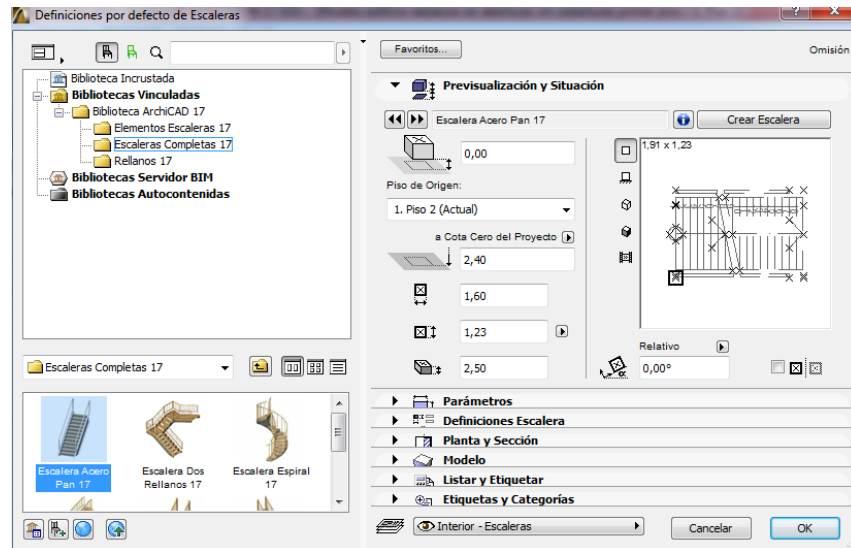


Figura C.11. Herramienta escalera

Con el primer piso terminado, se procede a hacer lo mismo con los otros pisos hasta completar el modelo de la edificación. En la Figura C.12 se observa la vista de planta del primer piso del edificio con los muros, ventanas, puertas y pisos.

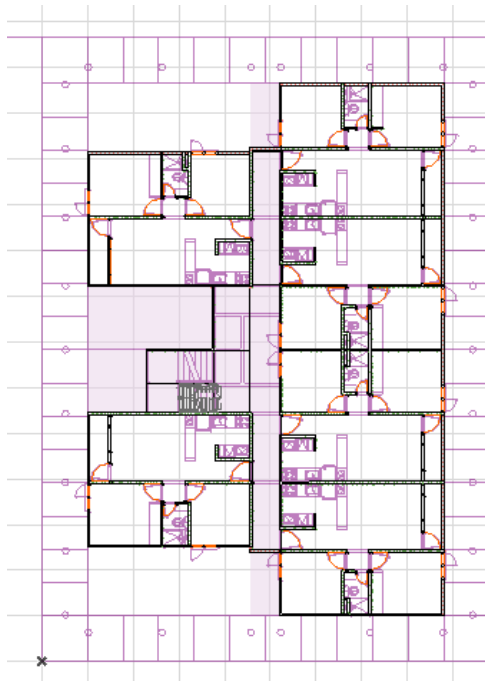


Figura C.12. Vista de planta del primer piso de la edificación

El modelo completo de la edificación es el observado en la Figura C.13.

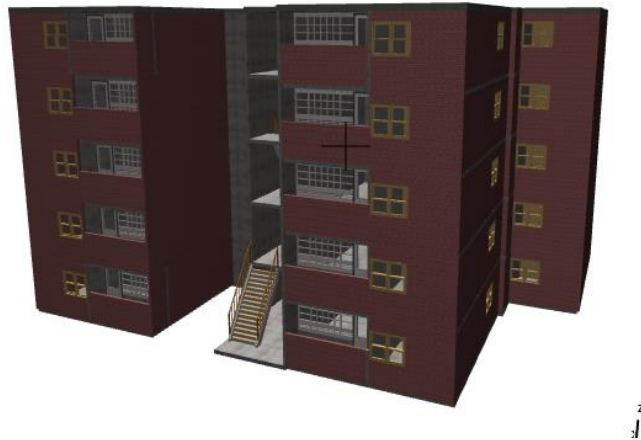


Figura C.13. Modelo en 3D de la edificación Altos de Betania

Con el modelo terminado se realizan las diferentes simulaciones energéticas.

2. EVALUACIÓN DEL MODELO DE ENERGÍA

Preliminares

ArchiCAD 17 tiene varias opciones en la pestaña diseño, entre estas está la evaluación de energía con la herramienta *Energy Model*. Tal como se muestra en la Figura C.14 son varias las características a tener en cuenta a la hora de hacer simulaciones energéticas en un edificio; para la correcta operación del software es necesario realizar los siguientes pasos.

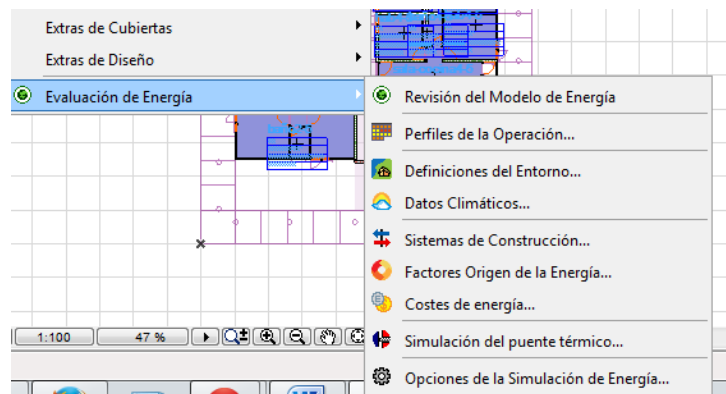


Figura C.14. Características del módulo energético de ArchiCAD17

Definición de las zonas del modelo.

Para usar el modelo energético de ArchiCAD 17 es necesario clasificar cada habitación en zonas. Las zonas deben ser de habitaciones o partes de la casa con volumen cerrado, por lo que la parte de los balcones no se tiene en cuenta a la hora de separar cada parte de los apartamentos por zonas. La Figura C.15 permite visualizar la ventana de zonificación de mejor manera.

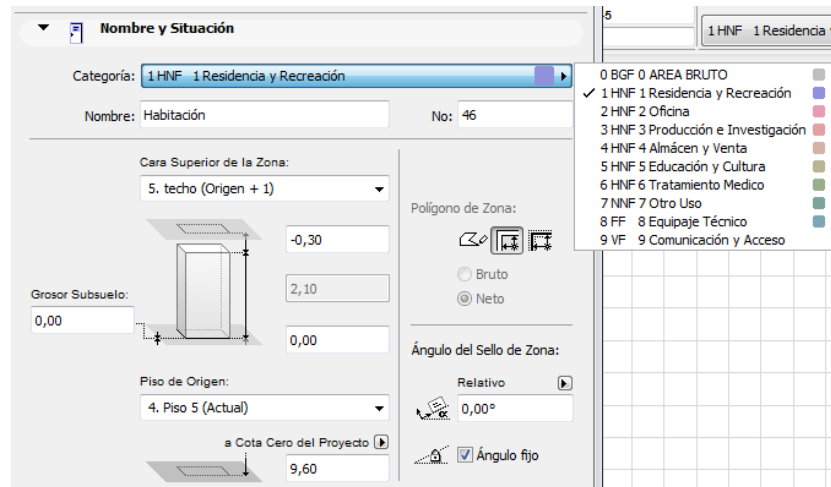


Figura C.15. Ventana de zonificación

Hay opciones a la hora de crear una zona, puede ser creada de manera manual (polígono de zona) donde cada usuario crea la zona como quiere que quede y de la otra manera el programa la hace automáticamente, ubicando cada zona como un volumen cerrado donde tienen en cuenta como se construyeron los muros interiores en los pasos anteriores.

Para todas las zonas se hizo la creación de las mismas de manera manual.

A cada zona se le puede poner un nombre, un número y una clasificación, que va de acuerdo a su uso, en este caso la clasificación de la zona es de “Residencia y Recreación”

Al crear la zona el programa pone en un recuadro el nombre dado de la misma, el número, el color indica el tipo (como se ve en la figura) y hace el cálculo del área en metros cuadrados de la misma.

Definidas las zonas se pasa a una de las partes más importantes: la creación de los bloques térmicos y la asignación de cada zona a los mismos.

Creación de los bloques térmicos:

Un bloque térmico representa una parte del modelo en que las características térmicas (calefacción, refrigeración, ventilación, etc) van a ser las mismas. Esto se observa de manera más clara en la Figura C.16.

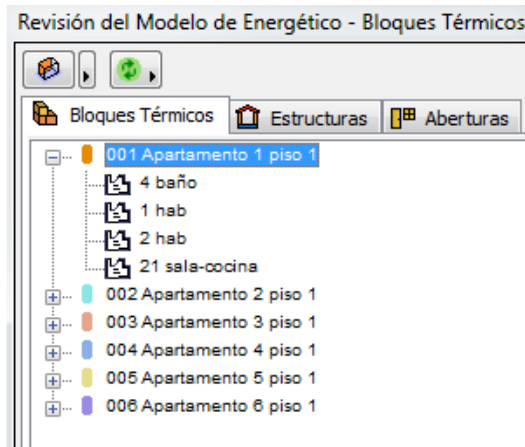


Figura C.16. Bloques Térmicos

Teniendo en cuenta esto se hizo un bloque térmico por apartamento y se agregaron cada una de las zonas correspondientes.

A cada bloque térmico corresponde un sistema de construcción, por lo que se debe elegir el tipo de sistema de construcción de acuerdo a lo que se quiere modelar en el edificio.

Un sistema de construcción está enfocado a las diferentes opciones de climatización (Calefacción, ventilación y aire acondicionado). Tiene varias opciones de climatización, tales como las numeradas en la Figura C.17.

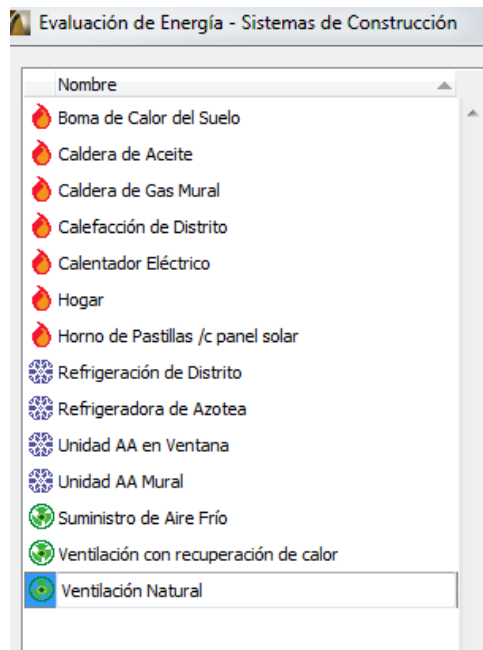


Figura C.17. Sistemas de climatización

Cada sistema tiene sus opciones respectivas que van de acuerdo al tipo de climatización del edificio y a lo que se requiera para tal, como este edificio no cuenta con ningún tipo de

calefacción o refrigeración, a cada bloque térmico se le asigna la opción de “Ventilación natural” es decir la ventilación que dan las ventanas del apartamento. Esto se detalla mejor en la Figura C.18.

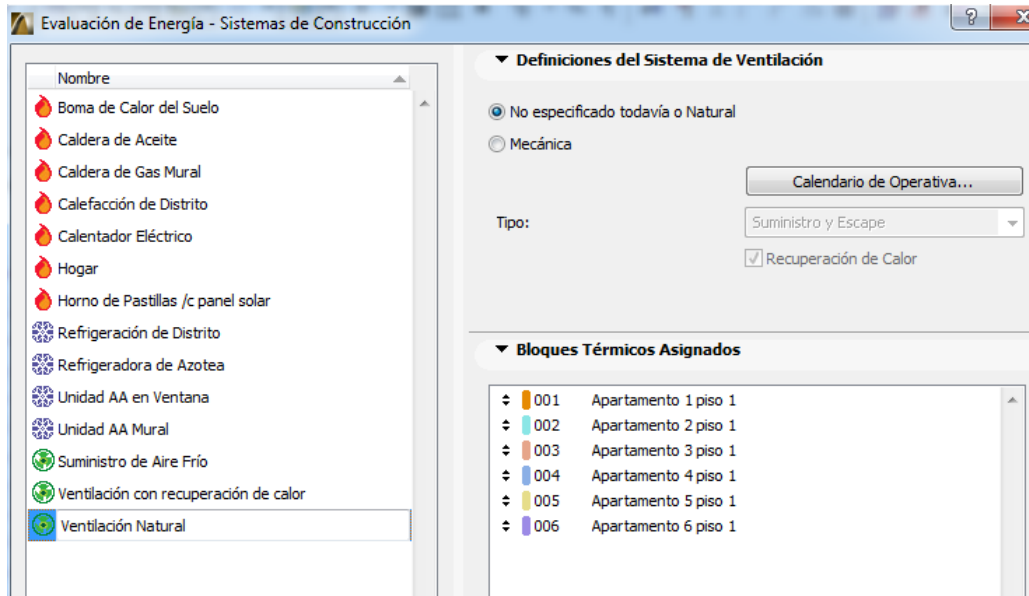


Figura C.18. Sistemas de construcción

Perfiles de operación

La Figura C.19 muestra la ventana de perfiles de operación de cada bloque térmico. Los perfiles de operación son los que designan el tipo de operación del edificio, la cantidad de habitantes/ocupación (metros cuadrados per cápita y cada hora) y la densidad de iluminación y consumo eléctrico (watts/metro cuadrado), es decir la operación del edificio durante todo el año.

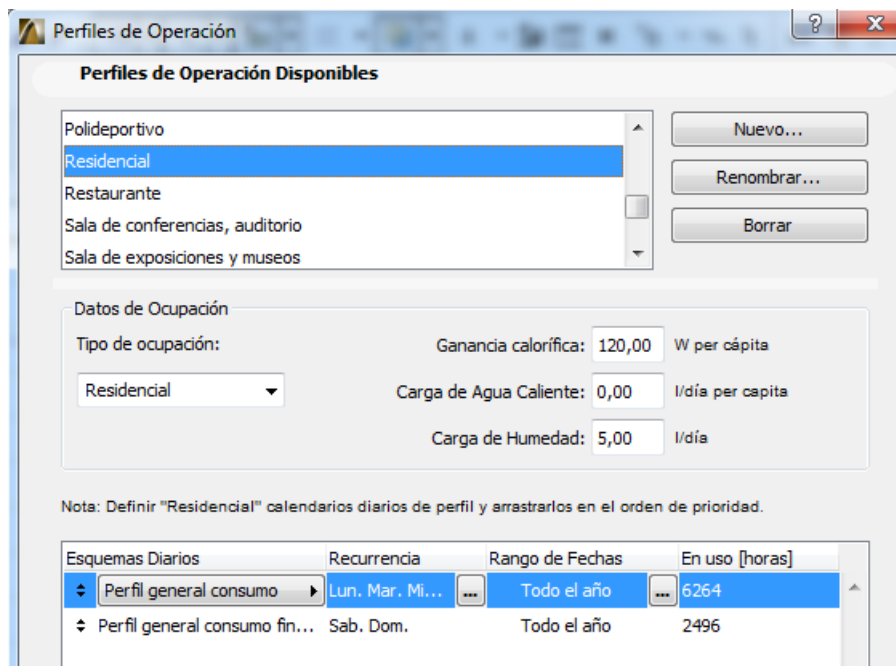


Figura C.19. Perfiles de operación de los bloques térmicos

Para este caso se hicieron dos perfiles de operación, uno para los días entre semana (lunes, martes, miércoles, jueves y viernes) y otro para el fin de semana. Para la densidad de habitantes se tiene en cuenta el hecho de que una familia promedio de estrato dos está formada por cuatro habitantes (papá, mamá y dos hijos), teniendo esto en cuenta la única diferencia entre el “Perfil general consumo” y “Perfil general de fin de semana” es que en el perfil de fin de semana se tiene en cuenta que los habitantes estarán todo el día, mientras que en el perfil de ocupación se tiene en cuenta que el padre sale a trabajar y los niños estudian, por lo que en ciertas horas (desde las 8 am hasta las 12 pm y de 2 a 4 pm) la única persona ocupando el apartamento sería la mamá.

La densidad de iluminación es de $3 \text{ W}/\text{m}^2$ en los rangos de tiempo de 6 pm a 12 am, el resto del día se asume que la iluminación es natural, así que la densidad de iluminación artificial sería de cero. Para el consumo de equipos se tiene en cuenta lo siguiente.

La hora pico es a las 8 pm (según la curva de demanda de la ESSA)

Se asume que una familia de cuatro personas de estrato dos a las 8 pm usa equipos como un televisor, computador, cargador de celular, tal vez una consola o un portátil, cuyo consumo aproximado es de 350 watts, esta potencia fue la que se tomó como base para hacer los cálculos respectivos y hacer la curva de demanda de cada apartamento, basándose en los datos por unidad de la curva de demanda para estrato 2 de la ESSA como se muestra en la Tabla C.1 y en la Figura C.20.

Hora	Demanda (p.u)	Demanda (watts)	Densidad (watts/m ²)
1	0,29	101,5	2,416
2	0,31	108,5	2,583
3	0,26	91	2,166
4	0,27	94,5	2,25
5	0,31	108,5	2,583
6	0,33	115,5	2,75
7	0,38	133	3,166
8	0,37	129,5	3,083
9	0,41	143,5	3,416
10	0,47	164,5	3,916
11	0,53	185,5	4,416
12	0,55	192,5	4,583
13	0,54	189	4,5
14	0,5	175	4,166
15	0,47	164,5	3,916
16	0,42	147	3,5
17	0,52	182	4,333
18	0,61	213,5	5,083
19	0,92	322	7,666
20	1	350	8,333
21	0,9	315	7,5
22	0,75	262,5	6,25
23	0,63	220,5	5,25
24	0,45	157,5	3,75

Tabla C.1. Perfiles de demanda del Apartamento

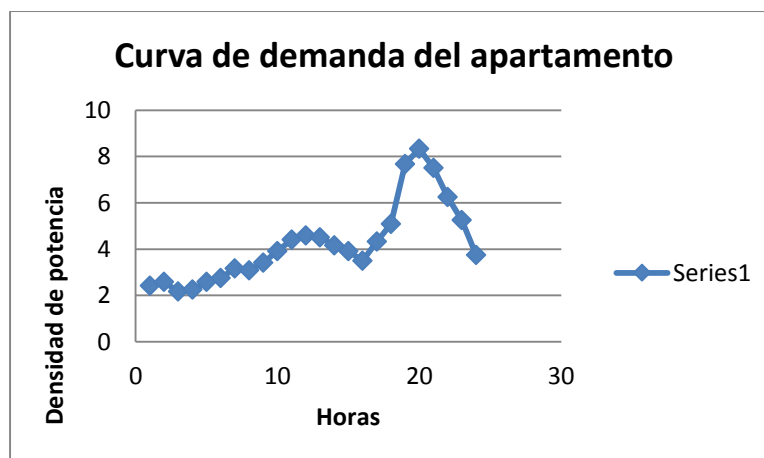


Figura C.20. Curva de demanda del apartamento

De esta manera se construye la curva del perfil general de operación como se observa en la Figura C.21.

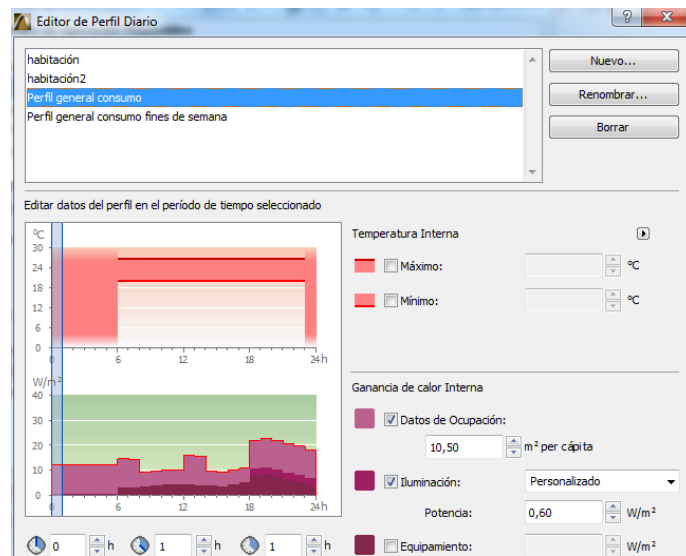


Figura C.21. Perfiles generales de operación

Con los perfiles de operación contruidos se pasa a ingresar los datos faltantes al software, como son los datos meteorológicos, la ubicación, el tipo de suelo en el que está construido el edificio, los alrededores, si hay sombreado y la protección del viento como se ve en la Figura C.22.

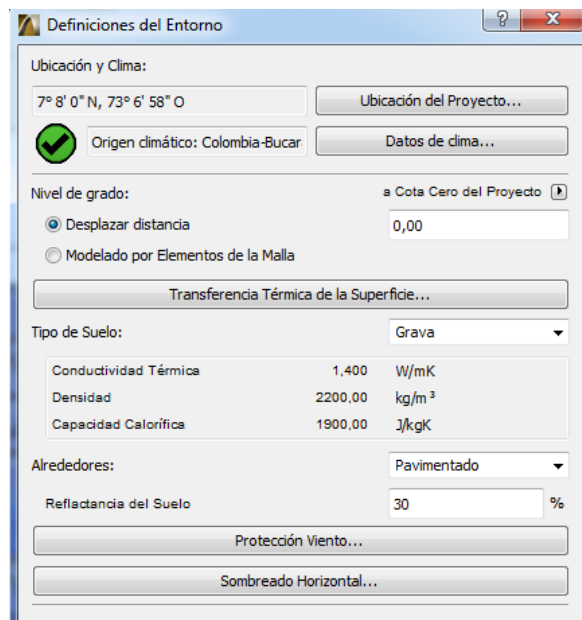


Figura C.22. Definiciones del entorno

Como no hay información acerca del tipo de suelo se escoge un suelo de grava (cuyas especificaciones térmicas, densidad y capacidad calorífica son dadas por el software) y unos alrededores pavimentados.

El sombreado horizontal no se pone por el momento aunque en algunas simulaciones es usado, esta opción permite modelar como serían los cambios energéticos en el edificio si se usan árboles para sombreado. Esta ventana es mostrada en la Figura C.23.

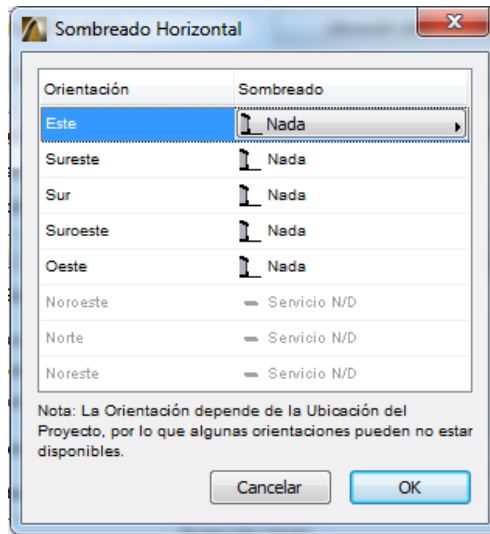


Figura C.23. Ventana de sombreado horizontal

Para los datos meteorológicos es necesario importar el archivo de datos meteorológicos "Colombia-BucaramangaWEA.epw", epw es la extensión de este tipo de archivos. Esto se detalla mejor en la Figura C.24.

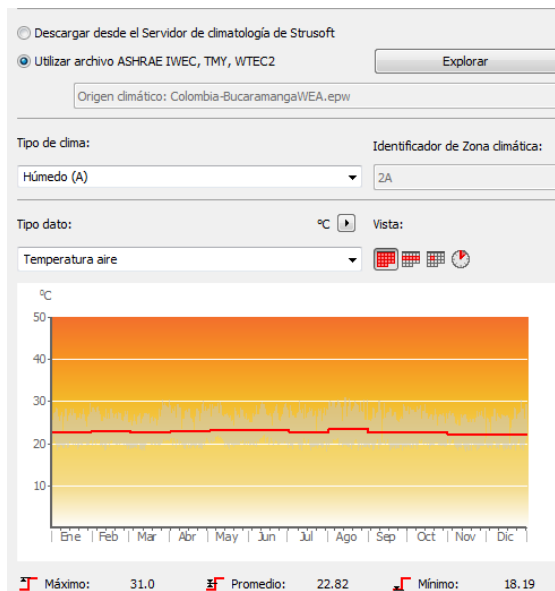


Figura C.24. Archivo de datos meteorológicos.

En la ubicación del proyecto tal como se evidencia en la Figura C.25 ArchiCAD tiene una lista de varias ciudades de las cuáles ya tiene estos datos, como Bucaramanga no está entre estas ciudades fue necesario buscar las coordenadas exactas de la ubicación de la ciudad y así lograr unas simulaciones precisas y confiables.

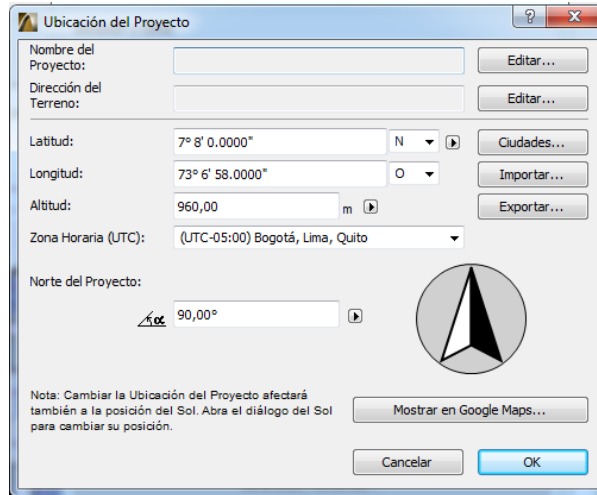


Figura C.25. Ubicación del proyecto.

La evaluación del modelo de energía calcula también costos de la energía y permite saber las emisiones de uno de los gases de efecto invernadero (CO₂, dióxido de carbono) al ambiente, dependiendo de la energía usada para cada operación (calefacción, ventilación, refrigeración, consumo de equipos eléctricos, iluminación, etc.). Como no se tiene un valor exacto, en esta opción se usaron los porcentajes de 30% energía proveniente de fuentes térmicas (quema de combustible) y el 70% de la energía proveniente de fuentes hidráulicas (uso de la fuerza del agua, ver Figura C.25), como es lo común en Colombia cuando no hay sequía.

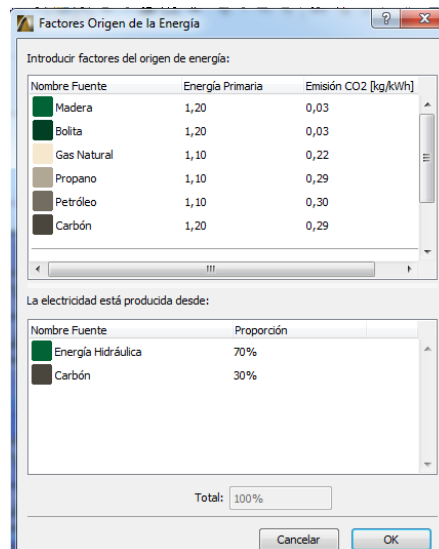


Figura C.25. Factores de Origen de la Energía.

El software tiene la opción de calcular los costos de la energía dependiendo de su tipo, como esto no es relevante esta opción no se utilizó, pero se pueden calcular los costos dependiendo del valor de 1 kw/h de cada tipo de energía así como se muestra en la Figura C.26.

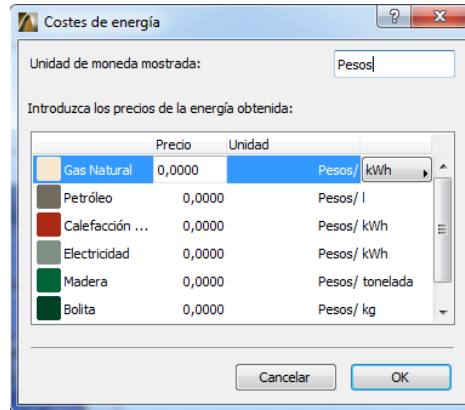


Figura C.26. Ventana de costos de energía.

Con las opciones que da el software vistas y con los datos necesarios para el cálculo y la revisión del modelo energético se proceden a hacer las simulaciones.

3. CONTENIDO DE LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA

Al finalizar la evaluación energética de la edificación, *Archicad 17* arroja el siguiente reporte que contiene tres páginas con la siguiente información:

El reporte de evaluación energética que se muestra en la Figura C.27 es la simulación realizada al quinto piso de la edificación Altos de Betania, teniendo en cuenta las especificaciones constructivas y los materiales establecidos en el diseño. (Hormigón armado con fachada de ladrillo.)

PRIMERA PARTE DEL REPORTE:

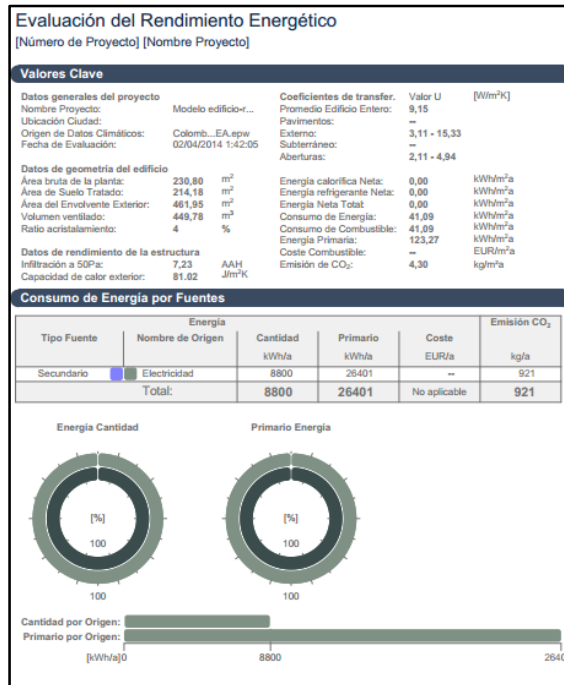


Figura C.27. Primera parte del reporte de resultados

Datos generales.

Muestran información básica, según lo especificado por el usuario

Datos de Geometría del edificio.

La superficie tratada y el volumen de ventilación se han tomado de la ficha de Estructuras.

- Área suelo tratado: Es el área de la edificación.
- Volumen ventilado: Es la cantidad de aire que servirá para ventilar el espacio.
- Radio de acristalamiento: Es el porcentaje de vidrio respecto al edificio, ello indica el grado de debilidad en cuanto a exposición de vidriería.

Datos de Rendimiento.

Menciona la cantidad de fuga de aire y la calefacción como se observa en la Figura C.28.

- Fugas de aire: Mide la cantidad de aire frío que ingresa por las pequeñas aberturas de una construcción, este aire enfría el ambiente y perjudica la calefacción requerida para los meses fríos.
- La capacidad de calor externo: Mide la capacidad de la estructura para almacenar l calor y evitar el cambio de temperatura producido por el aire exterior.

Datos generales del proyecto		
Nombre Proyecto:	Modelo edificio-r...	
Ubicación Ciudad:		
Origen de Datos Climáticos:	Colomb...EA.epw	
Fecha de Evaluación:	02/04/2014 1:42:05	
Datos de geometría del edificio		
Área bruta de la planta:	230,80	m ²
Área de Suelo Tratado:	214,18	m ²
Área del Envoltente Exterior:	461,95	m ²
Volumen ventilado:	449,78	m ³
Ratio acristalamiento:	4	%
Datos de rendimiento de la estructura		
Infiltración a 50Pa:	7,23	AAH
Capacidad de calor exterior:	81.02	J/m ² K

Figura C.28. Datos de rendimiento

Coeficientes de transferencia de calor.

Como se ve en la Figura C.29 indica los valores mínimos y máximos de los coeficientes de transferencia de calor, es decir, la protección de calor que proporciona el edificio.

Demandas específicas anuales.

Son los requerimientos que necesita el edificio para un año, todos estos datos se encuentran por metro cuadrado para hacer fácil su comparación con otros edificios de acuerdo al área que poseen.

Coeficientes de transfer.	Valor U	[W/m ² K]
Promedio Edificio Entero:	9,15	
Pavimentos:	--	
Externo:	3,11 - 15,33	
Subterráneo:	--	
Aberturas:	2,11 - 4,94	
Energía calorífica Neta:	0,00	kWh/m ² a
Energía refrigerante Neta:	0,00	kWh/m ² a
Energía Neta Total:	0,00	kWh/m ² a
Consumo de Energía:	41,09	kWh/m ² a
Consumo de Combustible:	41,09	kWh/m ² a
Energía Primaria:	123,27	kWh/m ² a
Coste Combustible:	--	EUR/m ² a
Emisión de CO ₂ :	4,30	kg/m ² a

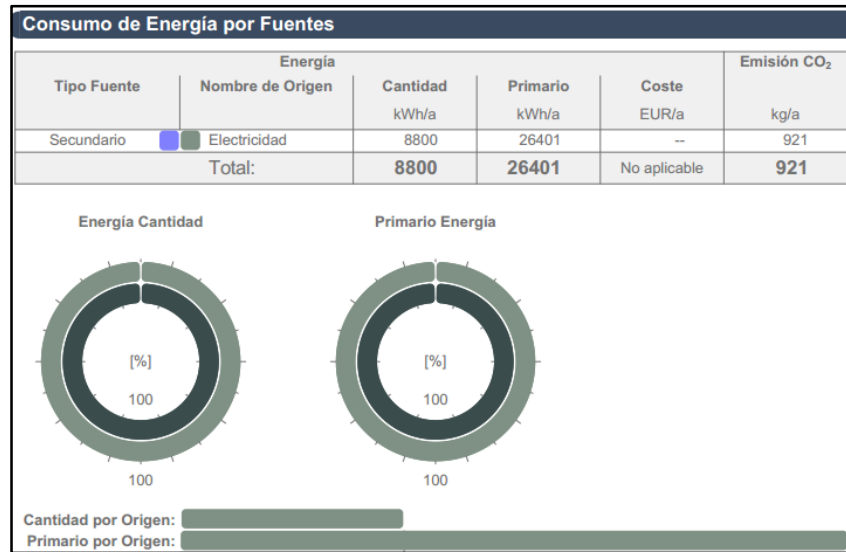
Figura C.29. Coeficientes de transferencia de calor

- Energía Calefacción neta: grado de calefacción que requiere el edificio.-Energía refrigerante neta: grado de refrigeración requerida.
- Consumo de energía: consumo anual del edificio.
- Energía primaria: Una fuente de energía primaria es toda forma de energía disponible en la naturaleza antes de ser convertida o transformada.

- Coste de la operación: es el costo general que se gastará por año, debido al consumo de energía.
- Emisión de Co2: Es la cantidad de carbono emitido al ambiente para conseguir la energía requerida en el edificio.

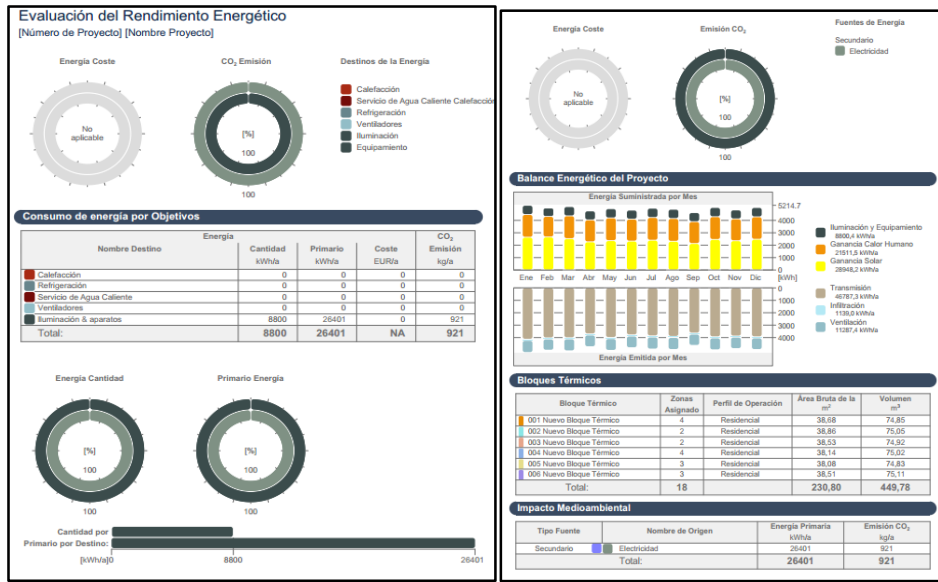
Consumo de energía por fuente.

De acuerdo a lo mostrado en la Figura C.30 Contiene las fuentes de energía que tiene el proyecto, clasificadas según el tipo de fuente, la cantidad esta expresada en KW por hora anualmente, el coste será configurado durante el procedimiento y la emisión de CO2 en Kg durante un año.



SEGUNDA PARTE DEL REPORTE:

Como se observa en la Figuras C.31 y C.32 contienen el consumo por objetivos, balance de energía mensual, bloques térmicos e impacto medio ambiental.



Figuras C.31. C.32. Segunda parte del reporte de resultados

Consumo de energía por objetivo.

Como lo mostrado en la Figura C.33 en una tabla datos más específicos, multiplicación del precio, y el coste anual del edificio según las características del tipo de energía que se utiliza.

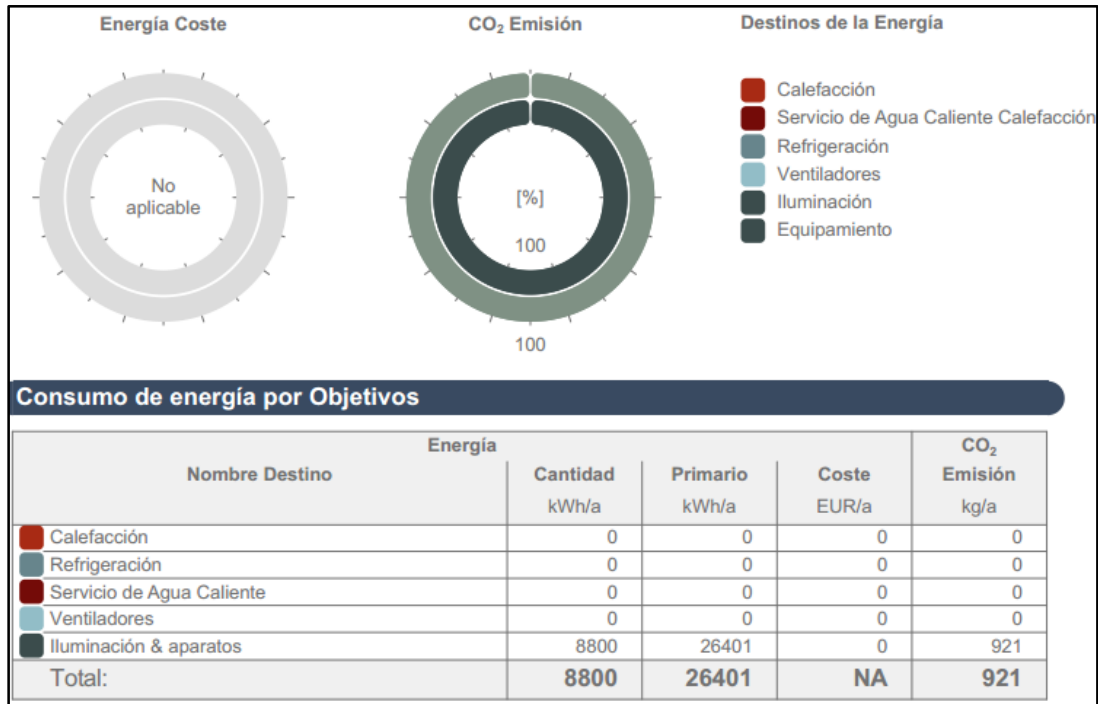


Figura C.33. Consumo de Energía por objetivo

Balance de energía mensual.

Muestra una gráfica general del comportamiento del edificio por meses como se ve en la Figura C.34.

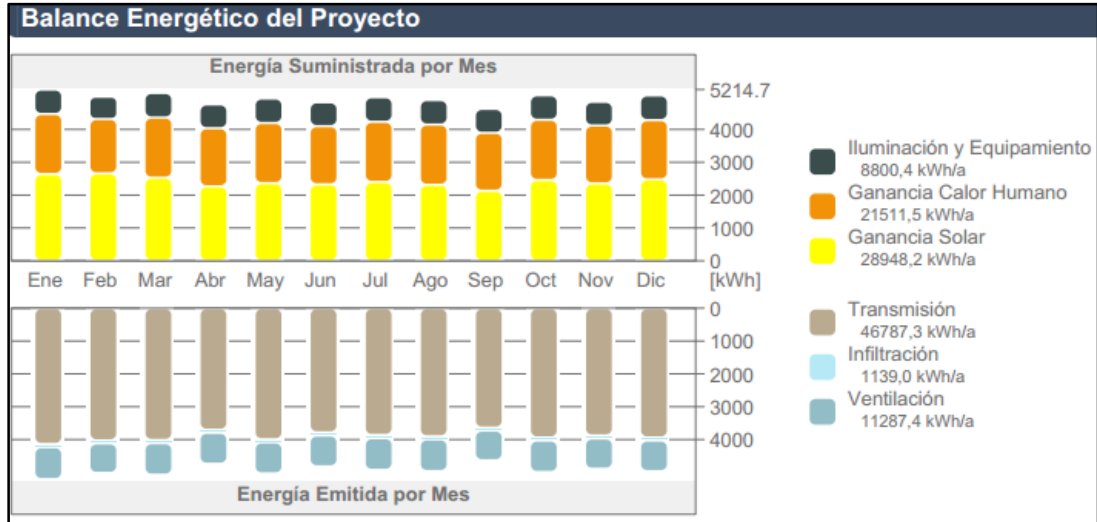


Figura C.34. Balance de energía Mensual

- **Ganancia calórica:** Es el calor que gana el edificio a través de sus ocupantes
- **Ganancia solar:** Es cuanto penetración de sol directa tiene el edificio, penetrando a través de la estructura

ANÁLISIS DE ABERTURAS (PUERTAS Y VENTANAS)

Este análisis no se muestra en el reporte anterior que arroja la evaluación energética, si no que a través de cada abertura que compone la edificación, el programa puede hacer una simulación acerca de cuanto potencia es absorbida por la abertura (puertas y ventanas) del apartamento en forma de radiación solar, de la misma manera pueden verse los datos de cuanto porcentaje del área del cristal de las aberturas está siendo expuesto al sol de manera directa. Lo que da una idea de cuánto calor está siendo expuesto el edificio. Estos datos son anuales, y se puede conocer en qué mes, día y hora las aberturas absorbieron más o menos radiación solar.

Simulación de la ventana este del apartamento 4 del quinto piso

1. En la Figura C.35 se muestra el porcentaje de acristalamiento (área del cristal de la ventana) expuesto al sol de forma directa.

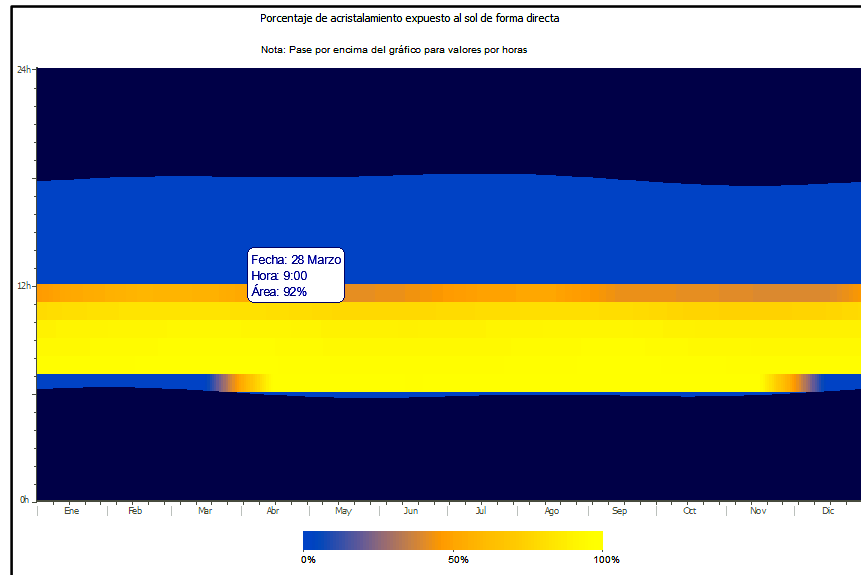


Figura C.35. Porcentaje de acristalamiento

La Figura C.36 muestra la radiación solar directa sobre superficies acristaladas.

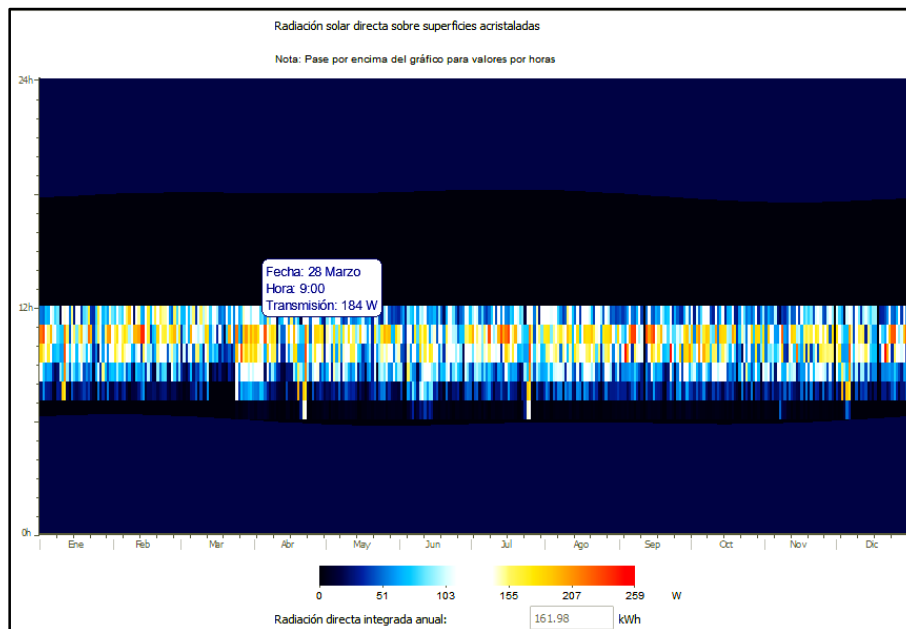


Figura C.36. Radiación solar directa sobre superficies acristaladas

ANEXO D. HERRAMIENTAS PARA LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICACIONES.

Los avances en los sistemas de información y software ofrecen oportunidades para fortalecer la construcción de edificios verdes, otorgando la posibilidad de realizar estudios con gran variedad de análisis y permitiendo así tener una visión global del comportamiento de una edificación, inclusive desde las primeras etapas de su diseño [29].

Las herramientas computacionales de simulación energética de edificaciones permiten realizar análisis térmicos y lumínicos, a fin de evaluar la influencia de características climáticas específicas y diversas alternativas de construcción en las condiciones de operación y, en consecuencia, el comportamiento energético de una edificación.

Tal análisis se realiza con base en el BIM (*Building Information Modeling*) de la edificación y las condiciones de su entorno. Esta información se usa para resolver sistemas de ecuaciones que describen el comportamiento de variables de tipo ambiental y energética en los espacios interiores de la edificación, de acuerdo con las capacidades del software. Los resultados ayudan en la toma de decisiones, respecto al diseño de la edificación, para reducir consumos energéticos [30].

Los programas para la simulación del comportamiento energético de edificaciones permiten analizar varios de los siguientes aspectos: penetración de la luz solar, ventilación, sistemas de energías renovable, ganancias y pérdidas térmicas, temperaturas internas, sistemas y equipos. En general, estos programas generan reportes y permiten la exportación de datos para el análisis en detalle con otras herramientas.

Para el desarrollo de este proyecto se trabajó principalmente con el software Archicad 17 y para el cumplimiento de uno de los objetivos se realizó comparaciones con los software eQUEST, Designbuilder y Autodesk Ecotect Analysis.

ARCHICAD

Con el sistema BIM de *GRAPHISOFT* ArchiCAD los arquitectos pueden explorar sus ideas de diseño con total confianza, sabiendo que cada detalle está siendo capturado y todos los documentos están sincronizados

Con ArchiCAD, se crea un Modelo de Información del Edificio en 3D (BIM) y toda la documentación e imágenes necesarias son creadas automáticamente, es un software de diseño arquitectónico asistido por computadora que permite a los usuarios crear "edificios virtuales" con elementos constructivos virtuales como paredes, techos, puertas, ventanas y muebles [27].

Energy Model Archicad

El motor integrado de Evaluación Energética de ArchiCAD soporta múltiples bloques térmicos. La función de evaluación energética utiliza los motores de cálculo VIP de *StruSoft*, que permite a los arquitectos realizar la evaluación del rendimiento energético del edificio con una tecnología que cumple las normativas, con el soporte de múltiples bloques térmicos. Como resultado, los diseñadores pueden hacer cálculos de energía de forma dinámica y precisa desde el mismo principio, durante y hasta el final del proyecto. Los datos de entrada para el cálculo y los resultados de la evaluación pueden compartirse en varios formatos, como el formato PDF, XLS e IFC [28].

DESIGNBUILDER

Es un software especializado en el análisis térmico, lumínico y energético de edificios. Sus avanzadas prestaciones permiten evaluar parámetros de desempeño relacionados con los niveles de confort, los consumos de energía y las emisiones de CO₂, contribuyendo de manera significativa a la práctica de la arquitectura sustentable.

Concebido para facilitar los complejos procesos de cálculo y simulación, a partir de una estructura modular, DesignBuilder ofrece diversas herramientas de análisis integradas entre sí. Esto significa mayor productividad y eficiencia durante los procesos de modelado y simulación de edificios [31].

DesignBuilder representa una de las herramientas de simulación energética de edificios más avanzadas del mercado, al tiempo que ha sido desarrollada para simplificar enormemente el proceso de modelado y análisis de resultados, permitiendo optimizar en tiempo y presupuesto la evaluación energética de los proyectos [31].

Cuenta con las siguientes características:

- Hace simulaciones del modelo utilizando ficheros climáticos medidos cada hora, de esta manera reconoce el comportamiento térmico del edificio bajo condiciones de funcionamiento realistas.
- Comprueba diferentes alternativas de diseño y el efecto de cada modificación en consumos energéticos, niveles de confort o emisiones de CO₂.
- La ventilación natural permite recrear cuando las ventanas se abren en función de una consigna de temperatura de ventilación, e incluso modulando la apertura en función de la temperatura exterior.

- Los sistemas de acristalamiento incluyen el tratamiento en detalle de los marcos, partes, luces, etc. Además es posible incluir vidrio electrocrómico o incluso aislamiento transparente.
- Realiza un modelo de la sombra que producen las lamas, salientes laterales y voladizos así como persianas interiores o entre vidrios.
- Recrea cámaras acristaladas como fachadas de doble piel.
- Modela los sistemas de control lumínico utilizando uno o dos sensores por zona y calcula el ahorro en iluminación artificial.
- Introduce elementos arquitectónicos como columnas, toldos y dispositivos de sombra complejos para considerar sus efectos de sombra y reflexión.
- Visualiza un amplio abanico de resultados, pueden ser cada hora, diarios, semanales, mensuales o anuales, estos son los siguientes resultados:
 - Consumo energético y su distribución en función del combustible y uso final.
 - Temperatura del aire, temperatura radiante y operativa o humedad en cada zona del edificio.
 - Niveles de confort, incluyendo duración de los periodos de sobrecalentamiento o por debajo de las temperaturas de confort y la evaluación de diversos índices reconocidos de confort.
 - Los datos climáticos del lugar.
 - La transmisión de calor a través de la envolvente, incluyendo muros, cubiertas, infiltraciones, ventilación, etc.
 - Las cargas de calefacción y refrigeración.
 - Emisiones de CO₂
 - Los resultados energéticos se muestran directamente en DesignBuilder, sin tener que importar los datos o utilizar otras aplicaciones; y todos los cálculos necesarios para lanzar la simulación se ejecutan de forma automática.

AUTODESK ECOTECT ANALYSIS

Autodesk Ecotect Analysis constituye una herramienta completa para el análisis de diseño sostenible desde el concepto al detalle, que proporciona una potente simulación medioambiental visual y minuciosa del rendimiento del edificio.

Este software ofrece un amplio rango de opciones para la simulación energética de los edificios, lo que puede ayudar a aumentar el rendimiento de edificios ya existentes o mejorar el diseño de edificios que quieren construirse a futuro [30].

Entre sus herramientas está el análisis de energía, agua, emisiones de gas carbónico entre otras que facilitan la visualización del rendimiento del edificio, ayudando al medio ambiente [30].

Campos típicos de aplicación para los cuales está diseñada la herramienta:

- Análisis energético de todo el edificio
- Rendimiento térmico.
- Consumo y evaluación de los costos del agua.
- Radiación solar.
- Iluminación solar.
- Sombras y reflejos.

Es una herramienta que ofrece una amplia gama de simulaciones y análisis de la funcionalidad energética de las edificaciones, en donde se puede mejorar el rendimiento de los edificios existentes y los nuevos diseños de construcción. Permite realizar la simulación y análisis de los siguientes aspectos y características de una edificación [28]:

Análisis de la capacidad energética de la edificación: Calcula el consumo total de energía y emisiones de carbono del modelo de construcción sobre una base anual, mensual, diaria y horaria, utilizando una base de datos global de información meteorológica.

Desempeño térmico: Calcula cargas de calefacción y refrigeración de los modelos y analiza los efectos de la ocupación, ganancias internas, infiltración y material.

El uso del agua y evaluación de costo: Estimación del agua usada dentro y fuera de la edificación.

Radiación solar: Visualizar la incidencia en ventanas superficies en cualquier periodo de tiempo.

Sombras y reflejos: Muestra la posición y recorrido del sol en el modelo en cualquier fecha, hora y lugar.

eQUEST

eQUEST es una herramienta sofisticada (lo que no la hace complicada) para hacer simulaciones energéticas de edificios, con los cuáles se pueden hacer análisis que proveen resultados a nivel profesional [30].

Este software es libre permite hacer un análisis detallado de las tecnologías de diseño actuales usando las técnicas de simulación energética de edificios más sofisticadas del momento sin necesidad de ser un experto en el tema de modelado de edificios. Esto se

logra combinando un asistente de creación de edificios y un módulo de resultados gráfico que usa un programa de simulación energética DOE-2 mejorado.

El asistente de creación de edificios de eQUEST hace que crear el modelo del edificio sea sencillo, ya que brinda un apoyo durante todo el proceso. Esto implica seguir una serie de pasos que ayudarán a describir las características del diseño que harán un impacto en el uso de la energía, como: [30]

- El diseño arquitectónico.
- El equipo de climatización.
- El tipo de edificio y su tamaño.
- El diseño del piso.
- Los materiales usados en la construcción
- El uso del edificio y quiénes lo ocupan.
- La iluminación del edificio.

Asistente de creación de edificios:

Este asistente requiere información importante acerca del edificio, en primera estancia estaría la información más general del diseño del edificio y cada vez pide información más detallada.

Cada vez que se agrega información acerca del edificio, el asistente da a elegir diferentes opciones de los componentes y del sistema. También ofrece consejos en la forma de valores predeterminados para cada opción (estos valores están basados en la información obtenida anteriormente en el proceso de descripción). Adicionalmente, eQUEST omite pasos de manera automática, que no aplican al diseño.

Aunque el proceso de descripción del edificio puede ser muy detallado, no es necesario completar cada uno de los pasos en el asistente. Cuando se esté satisfecho con el nivel de detalle alcanzado, es posible dejar el proceso de descripción hasta ese punto. Los valores por defecto inteligentes mencionados anteriormente serán usados si hay información faltante requerida para el modelo.

Después de completar la descripción, eQUEST presenta una simulación detallada del edificio, así como un estimado de la energía que consumirá. Aunque estos resultados son generados rápidamente, son muy exactos dado que este software utiliza todas las capacidades del DOE-2 (la última versión del software EnergyPlus, el cual es usado por el DOE de Estados Unidos) [30].

DOE-2 realiza una simulación de la edificación por un periodo de un año. Calcula el calentamiento o enfriamiento por cada hora del año, basándose en factores tales como:

- ✓ Paredes
- ✓ Ventanas
- ✓ Vidrio
- ✓ Personas en el edificio
- ✓ Cargas conectadas
- ✓ Ventilación

El software también simula el rendimiento de

- ✓ Ventiladores
- ✓ Bombas
- ✓ Condensadores (enfriamiento)
- ✓ Calderas
- ✓ Otros elementos que consuman energía

Durante la simulación eQUEST también hace una proyección de la energía que usará el edificio para varias cosas, tales como:

- ✓ Iluminación
- ✓ Cargas conectadas (computadores, fotocopiadoras, etc.)
- ✓ Aire acondicionado.
- ✓ Ventilación
- ✓ Bombeo.

También ofrece varios formatos gráficos para mostrar los resultados de la simulación. Por ejemplo, se pueden mostrar los gráficos de la energía consumida en el edificio, de manera mensual o anual, también se puede comparar el desempeño del edificio con el de un diseño alternativo del mismo.

Adicionalmente, el software permite hacer múltiples simulaciones y ver los resultados de cada simulación de manera simultánea. Ofrece:

- Costos energéticos.
- Uso de la luz solar y un sistema de control de la iluminación de la edificación.
- Implementación automática de medidas comunes de eficiencia energética.

La versión actual de eQUEST provee una capacidad de análisis más completa. Si el usuario tiene conocimientos avanzados el software lo ayudará a implementar un diseño más detallado para el análisis de edificios más complejos. También cuenta con una vista en 3D del edificio, también como un diagrama del sistema de climatización.

La búsqueda y selección de información sobre estas herramientas se realizó a través de diferentes fuentes, encontrando artículos que muestran estudios con estos softwares de simulación energética en distintos países del mundo [30].

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS HERRAMIENTAS

CONSUMO ENERGÉTICO

DESIGNBUILDER

1. El Consumo energético por zonas pueden ser cada hora, diario, semanal, mensual o anual. Muestra que parte del consumo pertenece a iluminación y equipos.
2. Consumo energético y su distribución en función del combustible y uso final, el gasto en combustible (electricidad, gas, biomasa, etc.) así como las emisiones de CO₂ asociadas.
3. Comprueba diferentes alternativas de diseño y el efecto de cada modificación en consumos energéticos.
4. Consumo de las cargas de calefacción y refrigeración.

EQUEST

1. El consumo total anual de la edificación, cuyo valor se calcula a partir del consumo de los equipos varios y la iluminación
2. No muestra resultados de CO₂
3. Calculo del consumo, dependiendo de los parámetros de diseño.
4. Calcula las cargas de calefacción y refrigeración

A continuación en las Figuras D.1 Y D.2 se muestran las gráficas y datos que arroja el reporte de las simulaciones con la herramienta EQUEST.

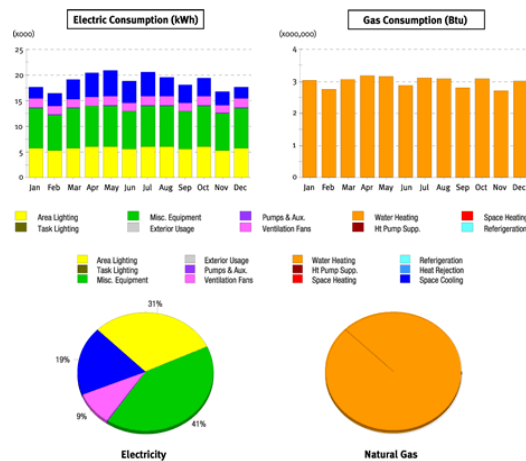


Figura D.1. Gráficas de consumo.

Electric Consumption (kWh)													
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	325.9	293.7	324.3	314.7	322.7	308.4	317.5	318.9	311.2	325.2	314.3	324.8	3,801.7
Vent. Fans	125.6	104.4	86.2	56.2	16.0	4.7	0.1	1.6	13.1	43.6	77.1	118.1	646.6
Pumps & Aux.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	262.2	236.4	261.4	253.1	262.2	252.8	261.7	261.9	252.7	262.2	253.2	261.3	3,081.3
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	186.1	167.0	183.8	179.2	186.1	177.4	185.6	185.0	177.9	186.1	178.7	184.3	2,177.4
Total	899.8	801.4	855.7	803.2	787.0	743.3	764.9	767.4	754.9	817.2	823.3	888.6	9,706.9

Gas Consumption (Btu x000,000)													
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	31.21	26.13	22.09	14.81	4.45	1.39	0.05	0.48	3.69	11.64	19.87	29.55	165.36
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vent. Fans	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pumps & Aux.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	31.21	26.13	22.09	14.81	4.45	1.39	0.05	0.48	3.69	11.64	19.87	29.55	165.36

Figura D.2. Datos de consumo.

ECOTEC ANALYSIS

Sobre una base anual, mensual, diario y por hora. Se calculan los siguientes resultados:

1. El consumo de energía total. No presenta los consumos relacionados a la iluminación y equipos internos.
2. Las emisiones de carbono CO₂ de la edificación
3. Calculo del consumo, al cambiar el diseño.
4. Calcula las cargas de calefacción y refrigeración

ARCHICAD 17

1. El consumo anual del edificio (iluminación y equipos, consumo de energía por fuente, energía por calefacción y refrigeración), representado en la Figura D.3.

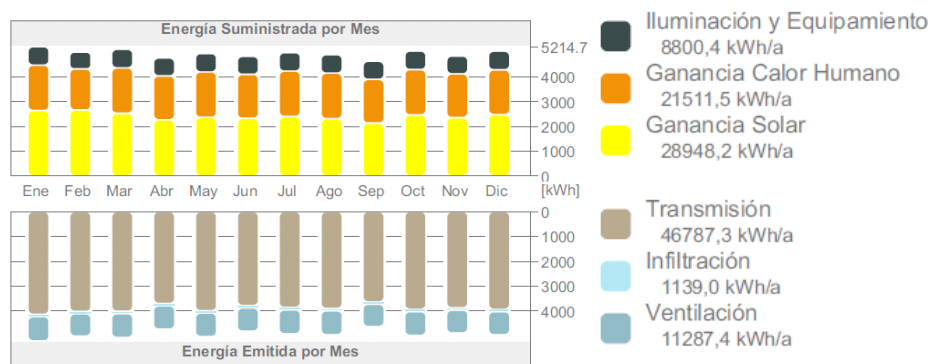


Figura D.3 Balance mensual de energía

2. Cálculos de emisiones de CO2 (depende de la fuente y el consumo de energía)
3. Resultados de consumo al realizar modificación del diseño.
4. Consumo pertenecientes a calefacción y refrigeración.






Nombre Destino		Energía			CO ₂
		Cantidad kWh/a	Primario kWh/a	Coste EUR/a	Emisión kg/a
	Calefacción	0	0	0	0
	Refrigeración	0	0	0	0
	Servicio de Agua Caliente	0	0	0	0
	Ventiladores	0	0	0	0
	Iluminación & aparatos	8800	26401	0	921
Total:		8800	26401	NA	921

Figura D.4. Tabla de consumos anuales

Tipo Fuente	Nombre de Origen	Energía Primaria kWh/a	Emisión CO ₂ kg/a
Secundario  	Electricidad	26401	921
Total:		26401	921

Figura D.5. Datos de la fuente de energía.

CONFORT TERMICO

DESIGNBUILDER

Hace simulaciones del modelo utilizando ficheros climáticos medidos cada hora, de esta manera reconoce el comportamiento térmico del edificio bajo condiciones de funcionamiento realistas.

1. Niveles de confort, incluyendo duración de los periodos de sobrecalentamiento o por debajo de las temperaturas de confort y la evaluación de diversos índices reconocidos de confort (ver Figura D.6).

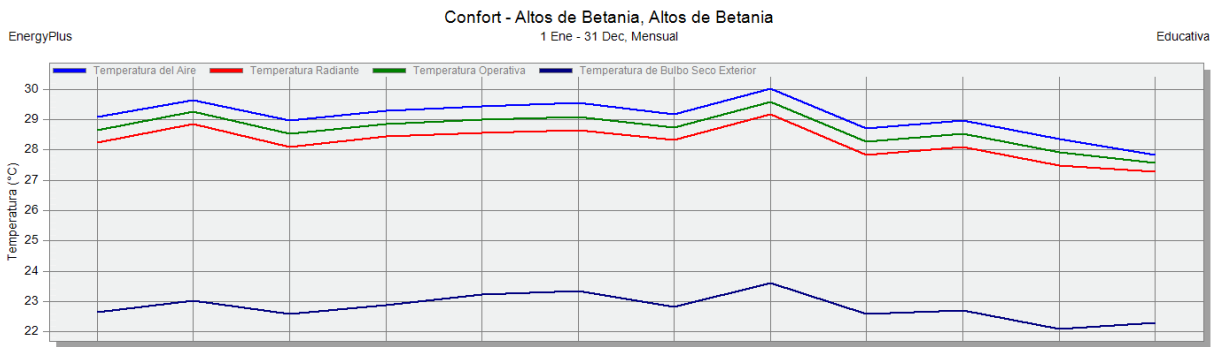


Figura D.6. Temperaturas de confort de la edificación calculadas en DesignBuilder.

2. Horas totales de confort en el año, temperaturas de confort,
3. Ganancias térmicas, temperatura del aire, temperatura radiante y operativa o humedad en cada zona del edificio

ECOTEC ANALYSIS

1. Permite calcular la cantidad de horas al año en las que no se presenta confort térmico en la edificación, para ello se calcula la temperatura operativa.

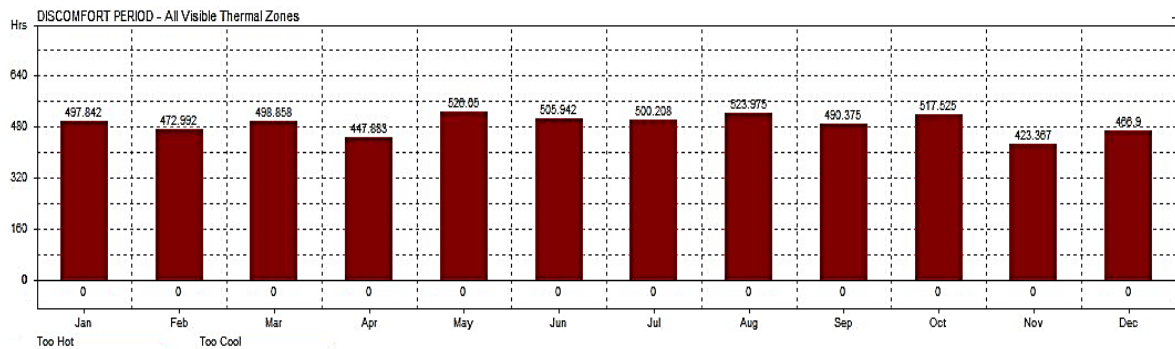


Figura D.7. Horas de Disconfort térmico

2. Analiza los efectos de la ocupación, las ganancias internas, infiltración, y el equipo.
3. En la Figura D.8 Se presentan los resultados que se obtuvieron de las ganancias de energía de algunos factores que conforman la envolvente de la edificación, para el día más caluroso del año.

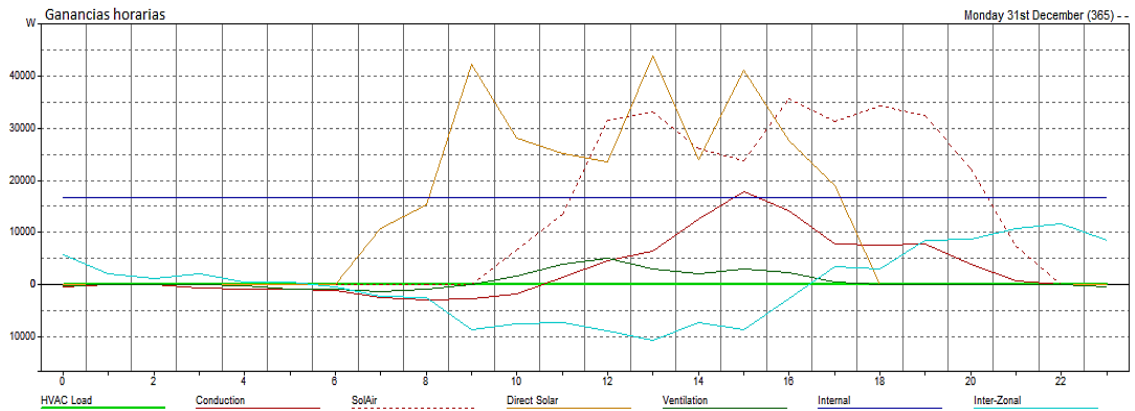


Figura D.8. Ganancias de energía.

EQUEST

Solo es posible mirar los niveles de iluminancia de las zonas descritas en el edificio, ya que la herramienta no realiza el cálculo de factores que lleven a un análisis confort térmico.

ILUMINACIÓN NATURAL Y CONFORT VISUAL

DESIGNBUILDER

1. Niveles de iluminación por zonas.
2. Iluminación Natural: Aprovecha al máximo dicha energía solar para evitar el uso de iluminación artificial durante el día.
3. Modela los sistemas de control lumínico utilizando uno o dos sensores por zona y calcula el ahorro en iluminación artificial.

A continuación en la Tabla D.1 se presenta los niveles de iluminancia máxima en luxes para cada zona de los apartamentos por piso de la vivienda multifamiliar Altos de Betania.

Apartamentos		Fechas representativas		
		10 abril	21 junio	21 diciembre
Piso 1	Alcoba auxiliar	739	1 088	541
	Sala comedor cocina ropas	262	299	495
	Alcoba principal	945	732	1 161
Piso 2	Alcoba auxiliar	787	1 132	539
	Sala comedor cocina ropas	291	341	534
	Alcoba principal	990	778	1197

Piso 3	Alcoba auxiliar	778	1 064	559
	Sala comedor cocina ropas	277	321	523
	Alcoba principal	975	756	1202
Piso 4	Alcoba auxiliar	804	1 123	581
	Sala comedor cocina ropas	291	321	515
	Alcoba principal	951	791	1 232
Piso 5	Alcoba auxiliar	804	1 100	588
	Sala comedor cocina ropas	292	346	492
	Alcoba principal	966	780	1 216

Tabla D.1. Niveles de iluminancia calculados en DesignBuilder

EQUEST

1. Cálculos de nivel de iluminancia emitida por la iluminación natural. En la Figura D.9 se muestran los niveles de iluminancia en las 24 horas del día del apartamento.

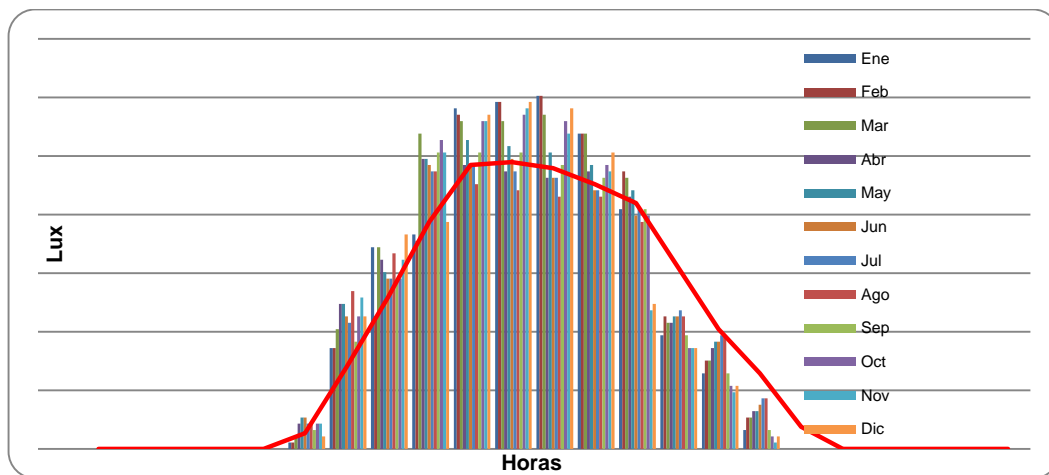


Figura D.9. Niveles de iluminancia por 24 horas.

2. Uso de la luz solar.
3. Sistema de control de la iluminación de la edificación, en la Figura D.10 permite ver el porcentaje de reducción de energía destinada a iluminación a partir del aprovechamiento de la iluminación natural.

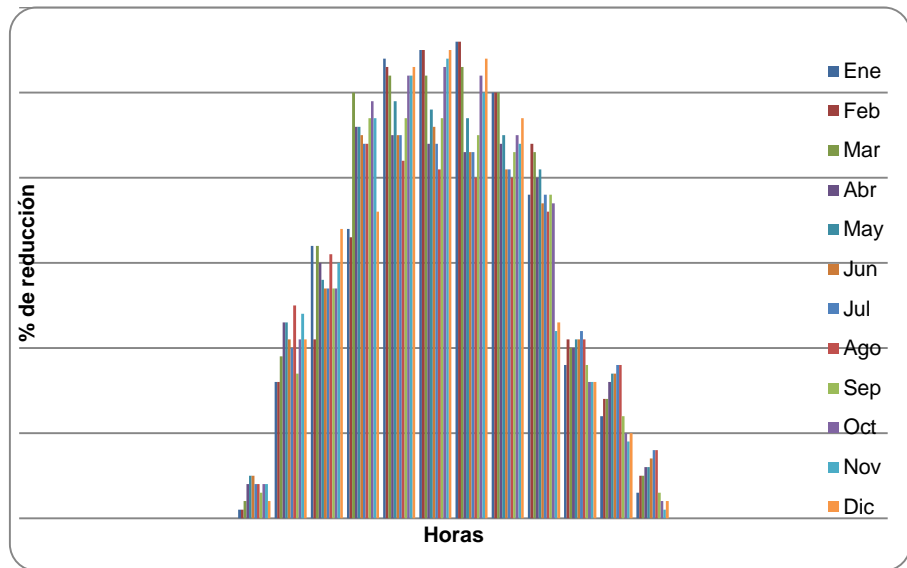


Figura D.10. Porcentaje de reducción.

ARCHICAD 17

Archicad presenta limitaciones en cuanto a confort térmico y visual, puesto que no es posible visualizar datos de iluminación natural ni gráficos de temperatura para deducir el confort térmico a interior de la edificación.

CLIMATIZACIÓN

DESIGNBUILDER

1. **La ventilación natural:** permite recrear cuando las ventanas se abren en función de la temperatura de ventilación, e incluso modulando la apertura en función de la temperatura exterior.
2. **La transmisión de calor** a través de la envolvente, incluyendo muros, cubiertas, infiltraciones, ventilación, etc.
3. **Sombras y reflejos:** Introduce elementos arquitectónicos como columnas, toldos y dispositivos de sombra complejos para considerar sus efectos de sombra y reflexión.

Realiza un modelo de la sombra que producen las lamas, salientes laterales y voladizos así como persianas interiores o entre vidrios.

los sistemas de acristalamiento incluyen el tratamiento en detalle de los marcos, parteluces.

ECOTEC ANALYSIS

1. Las ganancias debidas a **ventilación natural**, por debajo de los valores obtenidos por radiación directa y conducción, lo cual permite inferir que esto afecta el confort térmico que se experimenta en la edificación.
2. Visualiza la **radiación solar** incidente sobre las ventanas y superficies, en un mismo período.
3. Muestra la posición y la trayectoria del sol en relación con el modelo en cualquier fecha, hora y lugar

ARCHICAD 17

1. Permite modelar la refrigeración del edificio, la calefacción y la ventilación, cada una con varios modos. Ventilación mecánica, refrigeración de distrito, calefacción por medio de paneles solares. Valores de ventilación, transmisión, infiltración, etc.
 2. Calcula cuanta es la **penetración de sol directa** que tiene el edificio, penetrando a través de la estructura (muros, paredes). El programa puede hacer una simulación acerca de cuanta potencia es absorbida por la abertura (puertas y ventanas) del apartamento en forma de radiación solar
 3. Con la opción **sombras fachadas**, modela la vegetación existente alrededor del edificio, elementos de sombreado que tengas para el análisis de sombra. También se le pueden poner coberturas a las ventanas como diferentes clases de cortinas, toldos, etc.
1. En la siguiente Figura D.11 se muestra el porcentaje de acristalamiento (área del cristal de la ventana) expuesto al sol de forma directa y en la Figura D.12 la radiación solar directa sobre superficies acristaladas.

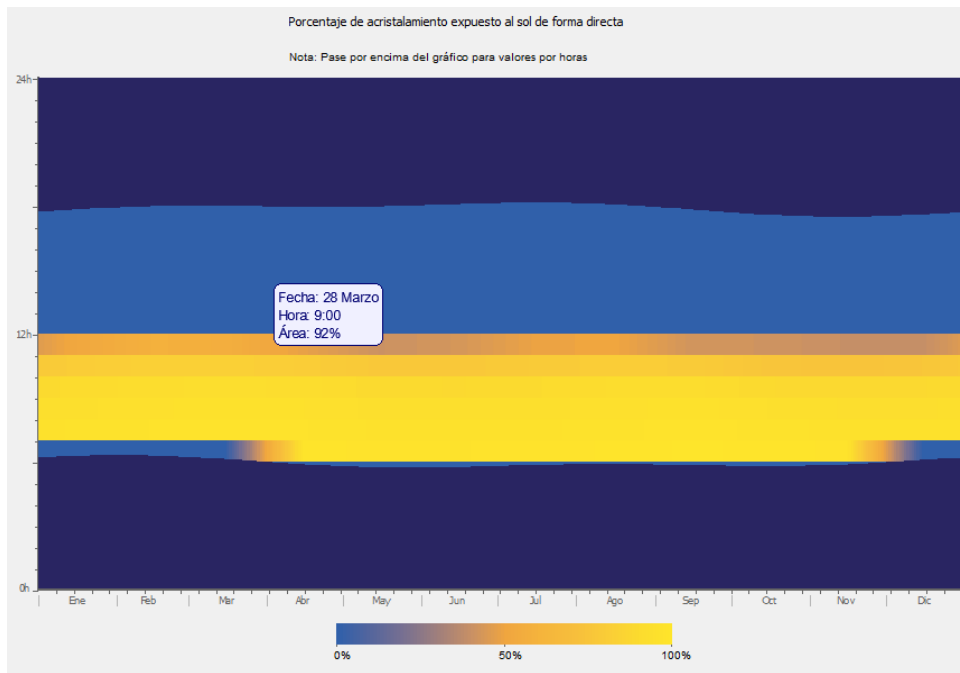


Figura D.11. Porcentaje de acristalamiento expuesto al sol.

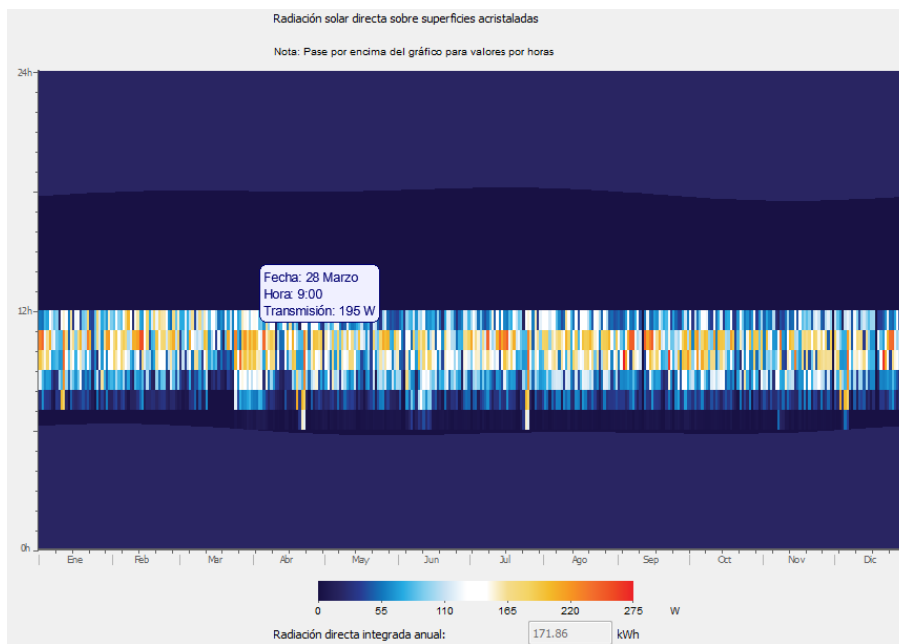


Figura D.12. Radiación directa sobre superficies.

En la Tabla D.2 se indican los resultados o parametros que cada herramienta permite evaluar por medio de las simulaciones energeticas y los reportes obtenidos.

	HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN			
	DESIGNBUILDER	EQUEST	ECOTEC ANALYSIS	ARCHICAD 17
Consumo Energético total	<p>El Consumo energético total anual.- Desglose de consumos (iluminación y equipos)</p> <p>-Consumo energético mensual por zonas</p> <p>-Emisiones de CO2</p>	<p>El consumo total anual de la edificación, cuyo valor se calculó a partir del consumo de los equipos varios y la iluminación.</p>	<p>El consumo de energía total y las emisiones de carbono de la edificación sobre una base anual, mensual, diario y por hora. No presenta los consumos relacionados a la iluminación y equipos internos.</p>	<p>El consumo anual del edificio(iluminación y equipos consumo de energía por fuente</p> <p>Energía por calefacción y refrigeración.</p> <p>Balance de energía mensual.</p> <p>Emisiones de CO2</p>
Confort térmico	<p>Niveles de confort, incluyendo duración de los periodos de sobrecalentamiento o por debajo de las temperaturas de confort y la evaluación de diversos índices reconocidos de confort.</p> <p>-Horas totales de confort en el año.</p> <p>-Temperaturas de confort.</p> <p>Ganancias térmicas.</p>	<p>Solo es posible mirar los niveles de iluminancia de las zonas descritas en el edificio, ya que la herramienta no realiza el cálculo de factores que nos lleven a un análisis confort térmico</p>	<p>Permite calcular la cantidad de horas al año en las que no se presenta confort térmico en la edificación, para ello se calcula la temperatura operativa.</p> <p>Calcula las cargas de calefacción y refrigeración de los modelos y analiza los efectos de la ocupación, las ganancias internas, infiltración, y el equipo.</p>	
Confort visual	<p>Niveles de iluminación.</p>	<p>Se considera el cálculo del nivel de iluminancia emitida por la iluminación natural.</p> <p>se muestran los niveles de iluminancia en las 24 horas del día del apartamento</p>		

Ganancia solar	Aprovecha al máximo dicha energía solar para evitar el uso de iluminación artificial durante el día.		Se presentan los resultados que se obtuvieron de las ganancias de energía de algunos factores que conforman la envolvente de la edificación, para el día más caluroso del año.	Calcula cuanta es la penetración de sol directa que tiene el edificio, penetrando a través de la estructura (muros, paredes).
Climatización	La ventilación natural permite recrear cuando las ventanas se abren en función de la temperatura de ventilación, e incluso modulando la apertura en función de la temperatura exterior		Las ganancias debidas a ventilación natural, por debajo de los valores obtenidos por radiación directa y conducción, lo cual permite inferir que esto afecta el confort térmico que se experimenta en la edificación.	Tiene varias opciones para modelar climatización: se puede elegir entre modelar la refrigeración del edificio, la calefacción y la ventilación, cada una con varios modos. Ventilación mecánica, refrigeración de distrito, calefacción por medio de paneles solares. Estos resultados aparecen en el reporte final, junto con los valores de ventilación, transmisión, infiltración, etc.
Iluminación natural	Modela los sistemas de control lumínico utilizando uno o dos sensores por zona y calcula el ahorro en iluminación artificial.	La herramienta permite ver el porcentaje de reducción de energía destinada a iluminación a partir del aprovechamiento de la iluminación natural.		
Radiación solar	Realiza un modelo de la sombra que producen las lamas, salientes laterales y voladizos así como persianas interiores o entre vidrios Los sistemas de acristalamiento incluyen el tratamiento en detalle de los marcos, parteluces.	Uso de la luz solar y un sistema de control de la iluminación de la edificación.	Visualiza la radiación solar incidente sobre las ventanas y superficies, en un mismo período.	El programa puede hacer una simulación acerca de cuanta potencia es absorbida por la abertura (puertas y ventanas) del apartamento en forma de radiación solar

<p>Sombras y reflejos</p>	<p>Introduce elementos arquitectónicos como columnas, toldos y dispositivos de sombra complejos para considerar sus efectos de sombra y reflexión</p>		<p>Muestra la posición y la trayectoria del sol en relación con el modelo en cualquier fecha, hora y lugar</p>	<p>Con la opción sombras fachadas, modela la vegetación existente alrededor del edificio, elementos de sombreado que tengas para el análisis de sombra. También se le pueden poner coberturas a las ventanas como diferentes clases de cortinas, toldos, etc.</p>
----------------------------------	---	--	--	---

Tabla D.2. Comparación entre las herramientas de simulación

ANEXO E. REPORTE DE RESULTADOS EN EQUEST

Este software provee cuatro tipos de reporte de resultados.

1. Reportes gráficos: diagramas de datos, de barras, de torta, resultados mensuales y anuales que también pueden ser comparados con otros resultados en la interfaz detallada.

2. Reporte de datos de entrada y salida: son resúmenes en tablas de datos claves de entrada y salida que pueden ayudar al entendimiento del mismo. Se encuentran en la parte de HVAC (climatización) en la pestaña “Summary”. Cuenta con simulaciones detalladas anuales y mensuales en 132 columnas de texto y simulaciones de cada hora es un reporte opcional.

3. Reporte de resultados gráficos: muestra los resultados de cada simulación o pueden ser puestos de manera tal que se puedan comparar los reportes de resultados. También están las simulaciones paramétricas que están diseñadas para proveer resultados tabulares incluyendo resultados incrementales, la comparación de varias simulaciones hechas de manera paramétrica; es decir, una serie de simulaciones donde una o varias características del proyecto se cambian, añaden o se quitan con la intención de revelar que tanto impacto tienen las diferentes características del proyecto.

Los resultados en eQUEST proveen datos mensuales y anuales de todo el edificio y a nivel de la energía consumida para uso final (refrigeración, calefacción, iluminación, etc)

4. Reporte de datos de entrada y salida: Son diseñados para proveer datos clave de las entradas y salidas que son accesibles en la pestaña “Summary” en la parte de “Project View” en la interfaz detallada de eQUEST. Actualmente, este tipo de reporte solo está disponible en la parte de aire del módulo de HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning) del software.

Entradas clave y resultados de simulaciones de zonas donde hay equipos de tratamiento de aire.

-Simulaciones detalladas: Son los reportes estándar, son solo de texto, están limitados a reportes mensuales y anuales, incluyen:

-Reportes de verificación: Tienden a mostrarse en forma de comparación por componentes (paredes exteriores, ventanas, etc) e incluyen los resultados de los equipos de HVAC (climatización) .

-Reportes normales: Son resultados que dan reportes anuales y mensuales y que tienen un gran detalle, están divididos en cuatro tipos: Cargas (ganancia/perdida de calor instantánea y cargas espaciales), sistemas (tasas en las que se incrementa o disminuye el calor del sitio, uso secundario y distribución de los equipos) y económico (utilidades y costo del ciclo de vida del edificio)

-Simulaciones cada hora: Es un reporte opcional y su formato es el de un archivo de texto (una página por día) en un formato fácil de leer. Los resultados para el consumo eléctrico y de gas también se pueden ver en los resultados gráficos de eQUEST.

Este tipo de reporte está pensado para proveer el máximo detalle para los resultados de las simulaciones y es especialmente importante para confirmar el comportamiento de las medidas para la eficiencia energética (como estrategias de control, entre otros)

Con el ejemplo de Altos de Betania del proyecto de grado “Herramientas computacionales para análisis energético de Viviendas de Interés Social” se simuló el edificio y estos fueron los datos obtenidos, debe recordarse que la precisión de las simulaciones energéticas no es perfecta por lo que se considera un margen de error del $\pm 15\%$.

En la Figura E.1 el 83% de la energía corresponde al consumo de equipos y el 17% al de iluminación. Este reporte también puede llegar a mostrar valores (en BTU) de la energía consumida por los combustibles para calefacción, pero como el edificio no cuenta con sistemas de refrigeración, calefacción o ventilación mecánica sólo natural, no se muestran más valores de consumo, tampoco hay valores de consumo de gas o calentamiento de agua porque el edificio no cuenta con estos sistemas. Nótese que en este caso, a diferencia de Archicad, eQUEST separa los cálculos de consumo de iluminación con los de los equipos.

Este tipo de gráfica puede servir para tener una idea de los radios de carga para cada uso y para cada combustible a usar, así se puede visualizar mejor si se quieren ver alternativas para el ahorro de energía.

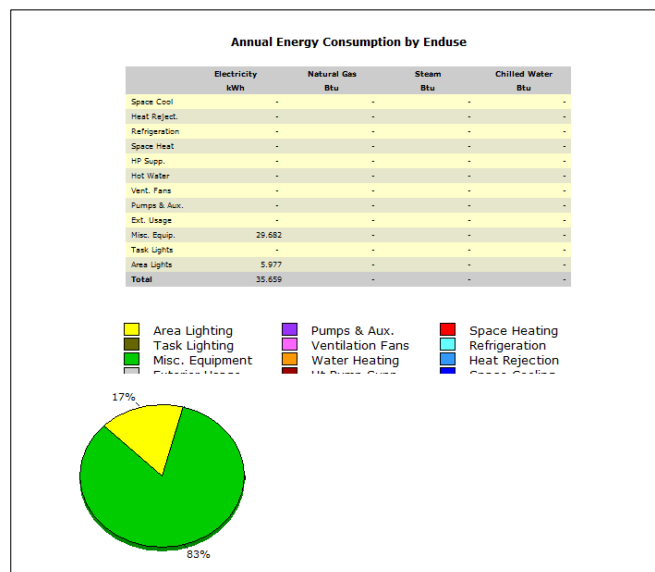


Figura E.1. Consumo de energía anual de acuerdo al uso final en forma de diagrama de torta

El reporte ilustrado en la Figura E.2 es parecido al anterior, en si tiene casi la misma información excepto que es más condensada y en un diagrama de barras. Se muestra de manera más clara todos los demás sistemas que puede simular eQUEST (calefacción, ventilación, refrigeración, eyección de calor, calentamiento de agua, etc.) y es claro que para este edificio solo se tuvo en cuenta el consumo de los equipos e iluminación porque este no cuenta con algún sistema o equipo externo.

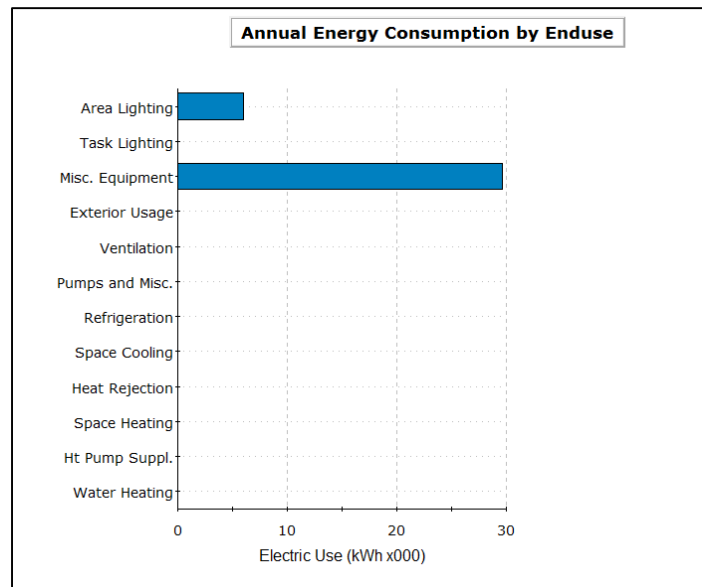


Figura E.2. Consumo anual de energía de acuerdo al uso final en forma de diagrama de barras

En la Figura E.3 se observan los resultados de las simulaciones por meses, consumos en iluminación y equipos dependiendo del mes. Como estos son datos que se ingresaban en el software es normal que la variación no sea mucha, más que todo en los equipos. Los datos de iluminación varían también poco por la misma razón. Algunos equipos pudieron ser usados menos que en otros meses si se tiene en cuenta la ocupación de las personas en el edificio, los días festivos, los días de vacaciones donde el edificio pudo haber estado desocupado, etc.

El comportamiento de los ocupantes siempre será un factor determinante en el consumo, lo que prueba las pequeñas variaciones en el consumo de energía dependiendo del mes. También se debe tener en cuenta que eQUEST tiene la opción de poner sensores y otros sistemas de control para hacer uso de la luz solar, por lo que los cambios en iluminación podrían deberse también a esto. Este reporte permite ver el consumo energético dependiendo el uso final de esa energía, como no hay calentamiento de agua o calefacción de las zonas, refrigeración, bombas u otros sistemas, solo se muestran los consumos de ilu-

minación y equipos, pero este reporte puede ser útil para ver en qué se consume más y encontrar maneras de cómo disminuir el consumo de energías.

No se muestra en estas simulaciones, pero como el reporte anterior cuenta con una gráfica de barras dependiendo del combustible usado para los sistemas de calefacción, también en BTU, de esta manera es posible ver el consumo de estos combustibles y pensar en maneras para reducir su uso.

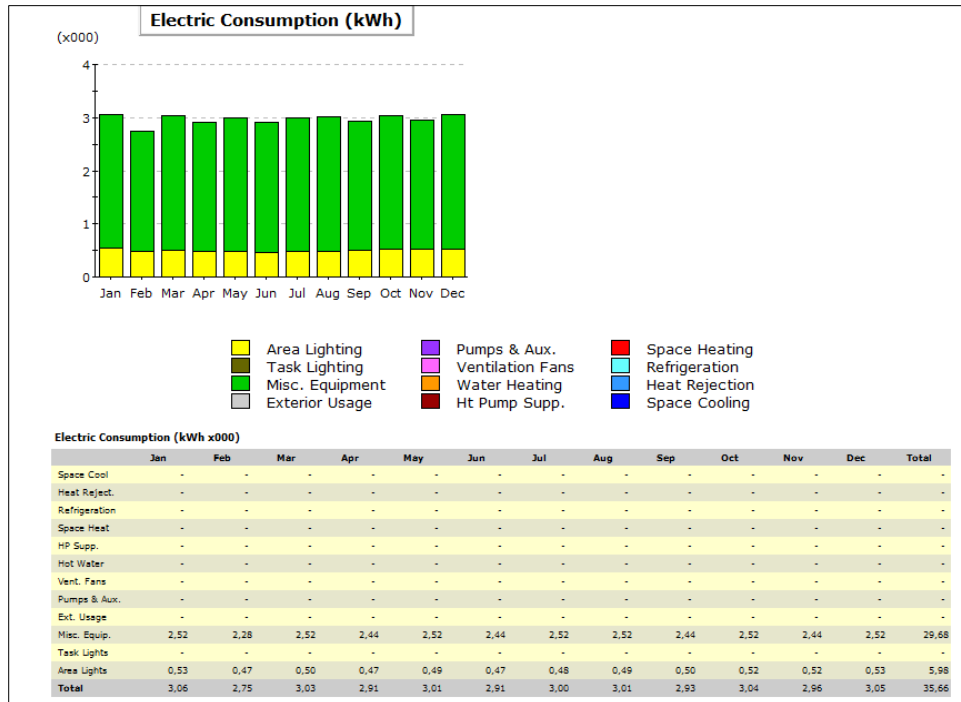


Figura E.3. Consumo mensual de energía eléctrica de acuerdo a su uso final.

En la Figura E.4 no se diferencia a qué pertenece el valor de consumo, simplemente determina el valor total. Se puede observar que en febrero es el mes de menor consumo lo cual seguramente debe ser por la ocupación del apartamento, ya que es el único factor determinante en este tipo de simulación (si se tiene en cuenta que el programa no tuvo que calcular datos de consumo por sistemas HVAC (*heating, ventilation, and air conditioning*), o uso de gas u otra cosa similar y si se tiene en cuenta que estos datos de consumo deben ser ingresados al programa) por lo que el número de ocupantes por hora (por lo tanto disminuyendo el consumo) podría variar el resultado, de la misma manera, como el reporte anterior, el aprovechamiento de la luz solar puede

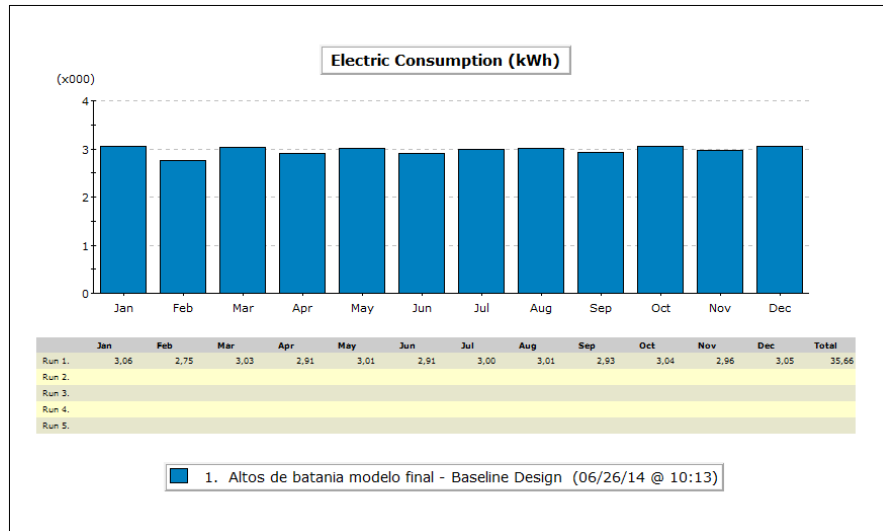


Figura E.4. Consumo mensual de energía eléctrica.

El reporte apreciado en la Figura E.5 hace la equivalencia entre el consumo energético y el costo de esa energía, para cada mes del año. Estos datos son muy afectados por la temporada del año, las condiciones climáticas y las tasas de utilidad de cada lugar donde se hace la simulación.

Se debe tener en cuenta que estos valores pueden tener incertidumbres, especialmente para estos cálculos financieros. Aunque están basados en datos precisos de varias compañías, el modelado y las simulaciones energéticas pueden no ser tan exactas comparadas con el edificio actual porque hay muchas variables y muchos factores a considerar. El modelo construido en el programa siempre será diferente al edificio real y no importa que tan exacto sea el modelo, el software no puede compensar las inconsistencias debidas a las condiciones del sitio, construcciones y uso del edificio.

Este reporte se usa para analizar y saber qué tipos de combustible se están usando en ciertos periodos del año. En este ejemplo (que no tiene nada que ver con Altos de Betania) se puede ver como la electricidad (en gris) es mucho más usada que el gas (en azul), especialmente en los meses cuando hace mucho calor. Ahora, en periodos donde las temperaturas son bajas, el consumo de gas aumenta debido a que se requiere el uso de calefacción.

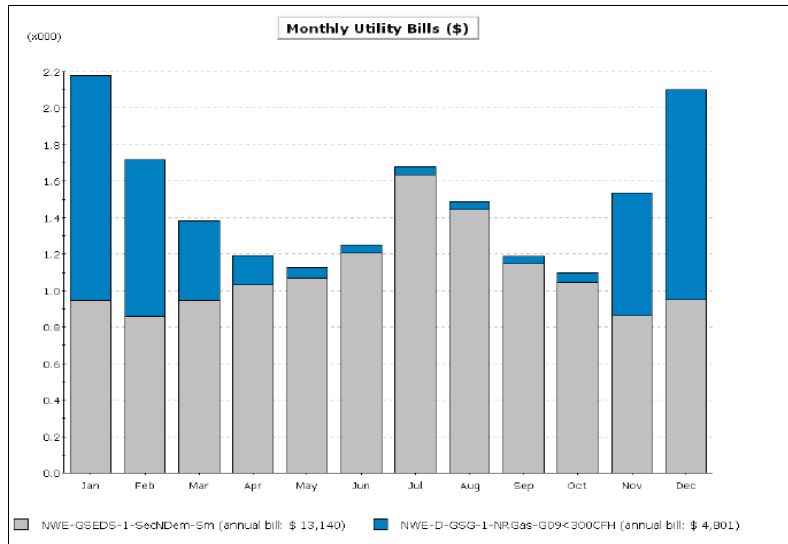
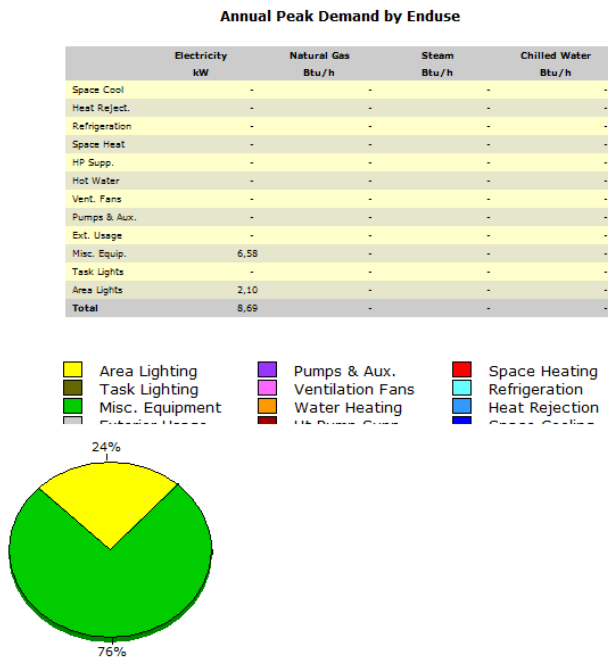


Figura E.5. Diagrama de barras de la utilidad mensual del edificio.

Como se muestra en la figura E.6 este diagrama es semejante al diagrama de torta anterior pero en este caso no hay datos de energía sino de potencia eléctrica. De la misma manera que el anterior, todos los datos se dan de acuerdo al uso final de la energía en el edificio, como los datos anteriores es claro que los equipos consumen mayor potencia que la iluminación. Igualmente también (si es el caso) muestra el consumo en potencia de combustible como gas natural para las tareas de calefacción.



Demanda anual de potencia eléctrica de acuerdo a su uso final.

Figura E.6.

El reporte expuesto en la Figura E.7 es similar al reporte de consumo de energía mensual, más que todo en la manera en que presenta la información y lo que intenta transmitir. De manera similar que el otro reporte, este trae la información acerca del consumo de potencia dependiendo de su uso final. Igualmente tiene la posibilidad de mostrar los datos de combustibles para calefacción.

La diferencia entre este y el anterior reporte son las unidades, el anterior era energía, este describe potencias. Es útil para identificar las cargas inestables en el modelo. En el caso del reporte de energía habían diferencias pero eran minúsculas, en este caso, hay mucha más diferencia entre el consumo de cada mes, que se puede dar por el comportamiento de los ocupantes y/o por el uso de la luz solar.

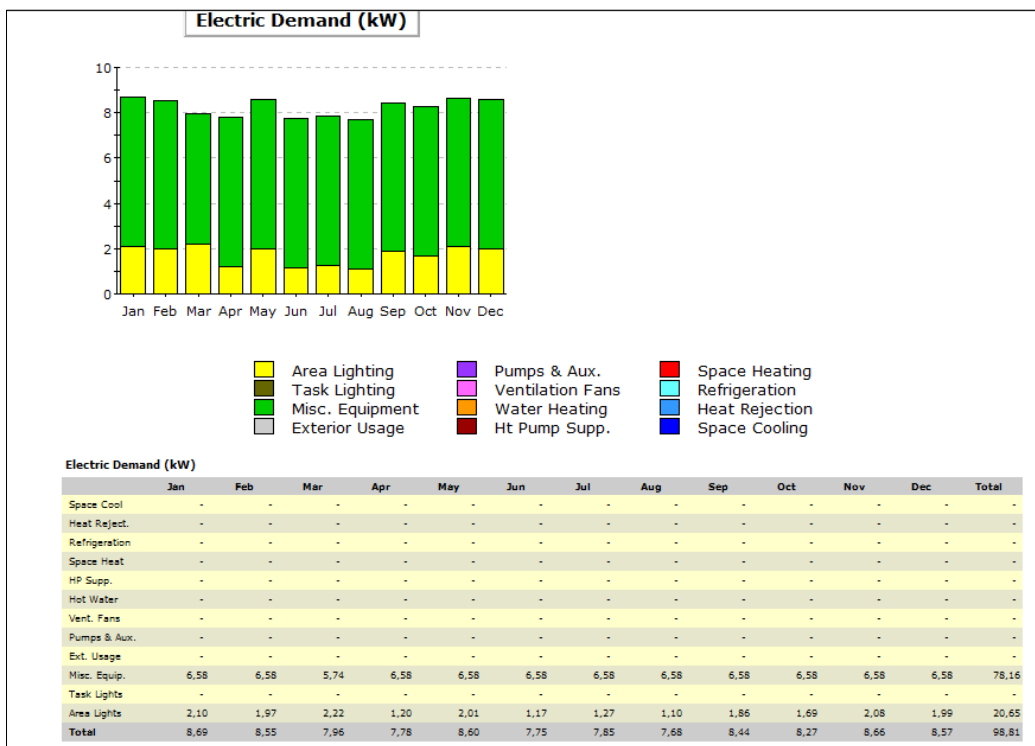


Figura E.7. Demanda mensual de potencia eléctrica de acuerdo a su uso final.

Los gráficos de la Figura E.8 permiten apreciar los picos de las demandas eléctricas durante el día en el periodo de un mes. Ayudan a identificar a qué hora pueden ocurrir los picos de demanda de manera mucho más específica que los datos mensuales o anuales. Por ejemplo, hay meses donde el consumo de iluminación artificial es menor ya que se puede estar aprovechando la luz solar y pueden haber menos personas en el edificio, igualmente esta puede ser la razón en la diferencia de consumo por mes de los equipos.

Esta gráfica puede hacerse también teniendo en cuenta más sistemas, pero como este edificio no cuenta con ninguna clase de sistema para refrigeración, calefacción o ventilación, no hay más datos de consumo para mostrar.

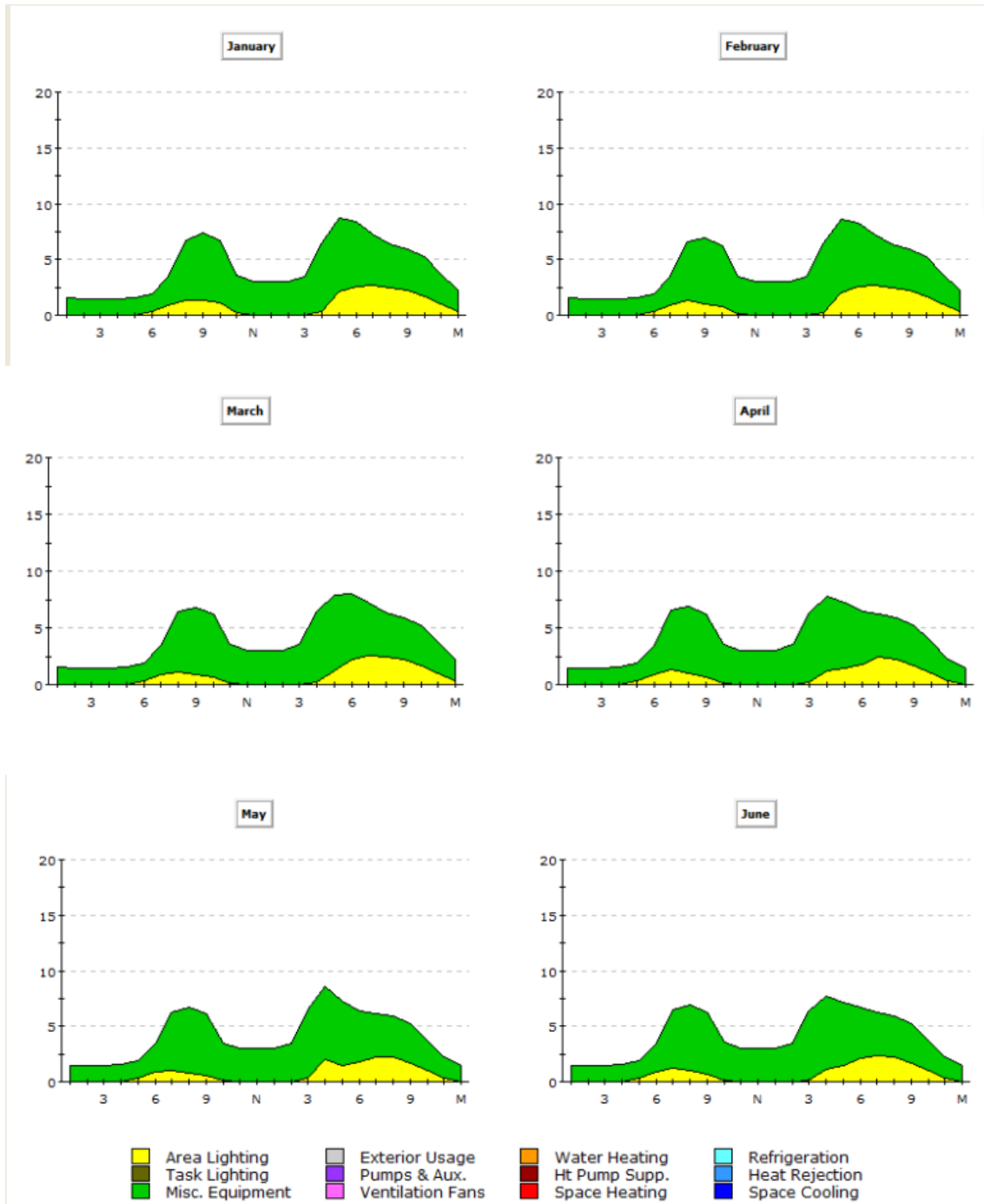


Figura E.8. Perfiles de carga diaria de los meses de Enero a Junio.