

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*. Creación del modelo virtual

**OSCAR ALEJANDRO PULIDO SUÁREZ
MARVIN YÓNIDI MENESES SILVA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2012**

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*. Creación del modelo virtual

**OSCAR ALEJANDRO PULIDO SUÁREZ
MARVIN YÓNIDI MENESES SILVA**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Eléctrico**

**Director
GERMÁN ALFONSO OSMA PINTO
Magister en Ingeniería Eléctrica**

**Codirector
GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA
Doctor ingeniero industrial**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2012**

Dedicatoria

A mi madre María, mi padre Julio, mi hermano Daniel; por todo el amor y apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de todas las etapas de mi vida.

A mi familia por apoyarme durante el proceso de alcanzar esta meta.

A todos mis amigos y demás familiares por su compañía y buenos consejos en los momentos difíciles.

Oscar Pulido Suárez

Primeramente dedico este proyecto de grado a Dios por fortalecer mi espíritu en todas las etapas de mi vida.

A mi madre Trinidad, mi padre Héctor, mi hermana Yenis, mi hermano Yoediver, mi tío Abel y mi novia Andrea; por su apoyo incondicional y sus consejos en mi desarrollo como profesional, y por llenar mi vida de alegría en las adversidades.

Marvin Meneses Silva

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander, por formarnos como profesionales, y en particular a la E3T por brindarnos las herramientas necesarias para el buen desarrollo de este trabajo de investigación.

Igualmente agradecemos a nuestro Co-director, PhD Gabriel Ordóñez Plata, por sus consejos y acompañamiento en este proyecto.

Hacemos un especial agradecimiento a nuestro director, MSc Germán Osma Pinto, por su constante apoyo, colaboración y buen ejemplo, en la realización de este trabajo de grado.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	22
1.1 Descripción general del trabajo.....	25
1.2 Declaración del problema y justificación para su solución	26
1.3 Objetivos del trabajo	27
1.4 Alcance del trabajo.....	28
1.5 Reseña del trabajo desarrollado	28
2. Consideraciones generales.....	31
2.1 Calidad ambiental y confort.....	31
2.2 Arquitectura bioclimática	32
2.3 Confort visual – iluminación	33
2.4 Confort térmico – calor.....	34
2.5 Microclima.....	34
2.6 Certificación LEED	35
2.6.1 Proceso de certificación <i>LEED</i>	36
2.6.2 Beneficios.....	37
2.7 DesignBuilder.....	38
2.7.1 Modelo <i>BIM</i>	39
2.7.2 Exportación modelo 3D	39
2.7.3 Administración de datos	40
2.7.4 Plantillas de suministro de datos.....	41
2.7.5 Módulo EnergyPlus	41
3. Propuesta metodológica para la evaluación de estrategias de confort en edificaciones	44
3.1 Recursos necesarios para desarrollar la metodología:	45
Rediseño47	

3.2	Fase 1: Creación del modelo virtual de la edificación	47
3.2.1	Etapa 1: Descripción general de la edificación	47
3.2.2	Etapa 2: Descripción de las consideraciones energéticas.....	48
3.2.3	Etapa 3: Creación de la base de datos de variables climáticas	48
3.2.4	Etapa 4: Modelado virtual de la edificación	49
3.2.5	Etapa 5: Pre-evaluación del cumplimiento de los requisitos mínimos LEED.....	49
3.3	Fase 2: Calibración del modelo virtual	49
3.3.1	Etapa 6: Definición de áreas críticas	50
3.3.2	Etapa 7: Medición de variables	50
3.3.3	Etapa 8: Ajuste del modelo virtual	51
3.4	Fase 3: Simulación y resultados	51
3.4.1	Etapa 9: Definición de simulaciones energéticas	52
3.4.2	Etapa 10: Simulaciones sobre comportamiento lumínico	52
3.4.3	Etapa 11: Simulaciones sobre comportamiento térmico	53
3.4.4	Etapa 12: Análisis y resultados	54
3.4.5	Etapa 13: Creación del <i>baseline</i>	55
3.4.6	Etapa 14: Evaluación del cumplimiento de criterios LEED	55
4.	Descripción locativa y energética del Edificio de Ingeniería Eléctrica	58
4.1	Edificio de Ingeniería Eléctrica	58
4.2	Consideraciones energéticas del Edificio de Ingeniería Eléctrica	61
5.	Creación del archivo climático <i>EPW</i>.....	65
5.1	Localidad.....	66
5.2	Condiciones de diseño	68
5.3	Periodos de temperaturas extremas	68
5.4	Temperatura del suelo	70
5.5	Días festivos	72

5.6	Periodos de datos	73
5.7	Datos climáticos	74
6.	Modelado geométrico del Edificio de Ingeniería Eléctrica.....	84
6.1	Inserción de un plano <i>CAD</i>	84
6.2	Creación de la estructura por medio de bloques.....	87
6.3	Creación bloques	88
6.4	Edición de bloques.....	94
6.5	Particiones	94
6.6	Detalles de aberturas	97
6.7	Terraza - verde	99
7.	Plantillas del modelo del Edificio de Ingeniería Eléctrica	103
7.1	Actividad humana.....	103
7.1.1	Ocupación	103
7.1.2	Metabolismo	106
7.1.3	Vestimenta	107
7.1.4	Días festivos	108
7.1.5	Agua caliente sanitaria (ACS).....	109
7.1.6	Control ambiental.....	109
7.1.7	Computadores.....	110
7.2	Aberturas	111
7.2.1	Ventanas	111
7.2.2	Sombreado	113
7.3	Iluminación.....	116
7.3.1	Tipos de luminarias	120
7.3.2	Fracción Radiante.....	121
7.3.3	Fracción visible	121
7.3.4	Control escalonado.....	122
7.4	Cerramientos	123
7.4.1	Muros exteriores	123

7.4.2	Cubiertas.....	125
7.4.3	Particiones Interiores	128
7.4.4	Suelos.....	130
7.4.5	Sub-superficies	135
7.4.6	Bloque de componente.....	137
7.4.7	Convección superficial.....	141
8.	Evaluación de pre-requisitos mínimos <i>LEED</i>.....	143
9.	Conclusiones y recomendaciones	149
	Bibliografía	154
	ANEXOS	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Créditos <i>LEED</i> que pueden ser evaluados mediante <i>DesignBuilder</i>	56
Tabla 4.1. Área antigua y nueva del Edificio de Ingeniería Eléctrica	60
Tabla 4.2. Capacidad instalada de iluminación.	61
Tabla 4.4. Capacidad instalada de unidades refrigerantes.....	63
Tabla 5.1. Códigos <i>WMO</i> de Colombia.....	67
Tabla 5.2. Datos de localidad para la estación climatológica de la E3T.....	67
Tabla 5.4. Temperaturas promedio mensuales del suelo de la edificación de eléctrica a 1[m] de profundidad.	71
Tabla 5.5. Días festivos de Colombia	72
Tabla 5.6. Datos para las casillas de la línea 8 del formato <i>EPW</i>	73
Tabla 5.7. Comparación de los datos medidos por la estación meteorológica con los datos del formato <i>.EPW</i>	74
Tabla 6.1. Relación aprovechamiento luz natural – diámetro cono.....	100
Tabla 7.1. Ocupación del sótano y primer piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.....	104
Tabla 7.2. Datos de ocupación de 2do. Y 3er piso.	104
Tabla 7.3. Datos de ocupación de los pisos 4. y 5.	105
Tabla 7.6. Calendario anual de actividad del Edificio de Ingeniería Eléctrica.	106
Tabla 7.7. Valores <i>CLO</i> de las principales vestimentas.	108
Tabla 7.8. Días festivos para el año 2012 en Colombia.....	108
Tabla 7.9. Consumo de energía, debido a computadores en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.....	110
Tabla 7.10. Detalles de los marcos y divisores.....	112
Tabla 7.11. Descripción técnica de los Aerobrises.	115
Tabla 7.12. Tipos de lámparas utilizadas en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.....	116

Tabla 7.14. Cantidad y tipo de luminarias en el primer piso.	117
Tabla 7.15. Cantidad y tipo de luminarias en el segundo piso.	117
Tabla 7.16. Cantidad y tipo de luminarias en el tercer piso.	118
Tabla 7.17. Cantidad y tipo de luminarias instaladas en el cuarto piso.	118
Tabla 7.18. Cantidad y tipo de luminarias instaladas en el quinto piso.	119
Tabla 7.19. Potencia instalada de iluminación por metro cuadrado en el edificio.	119
Tabla 7.20. Valor de la fracción radiante, visible y factor convectivo para diferentes configuraciones de luminarias.	121
Tabla 7.22. Base de datos de materiales de <i>DesignBuilder</i>	125
Tabla 7.23. Capa para el techo del Edificio de Ingeniería Eléctrica.	126
Tabla 7.25. Características de la cubierta verde utilizada en la terraza del Edificio de Ingeniería Eléctrica.	127
Tabla 7.26. Materiales de la base de datos de DesignBuilder para el techo.	127
Tabla 7.27. Capas con las especificaciones del muro interno.	128
Tabla 7.28. Datos de materiales de <i>DesignBuilder</i> para las divisiones internas Tipo 1.	130
Tabla 7.29. Datos de materiales de <i>DesignBuilder</i> para las divisiones internas Tipo 2.	130
Tabla 7.30. Datos de materiales de <i>DesignBuilder</i> para las divisiones internas Tipo 3.	130
Tabla 7.31. Capas del suelo sobre terreno.	131
Tabla 7.32. Datos de materiales de <i>DesignBuilder</i> para el suelo sobre terreno.	132
Tabla 7.33. Capas del suelo sobre terreno.	133
Tabla 7.34. Valores característicos de los materiales utilizados en la placa de concreto, sacados de la base de datos de <i>DesignBuilder</i>	134
Tabla 7.35. Plantilla de material creada para el Muro <i>SUPERBOARD</i>	134
Tabla 7.36. Datos de materiales de DesignBuilder para el suelo interior.	134
Tabla 7.37. Característica de las puertas según la lista de <i>DesignBuilder</i>	135

Tabla 7.39. Material para la puerta principal según la base de datos de <i>DesignBuilder</i>	136
Tabla 7.40. Tipo de puertas en el interior de la edificación.	137
Tabla 7.41. Puerta interior en la plantilla de <i>Acabados Interiores</i> Tipo 1..	137
Tabla 7.42. Materiales para las puertas interiores Tipo 2 y 3.	137
Tabla 7.43. Materiales que constituyen los <i>Bloques Componentes</i>	138
Tabla 7.44. Materiales de los Bloques Componentes.	139
Tabla 7.45. Materiales de la base de datos de <i>DesignBuilder</i> para el Muro <i>SUPERBOARD</i>	140
Tabla 7.46. Características térmicas de los materiales utilizados en el Muro <i>SUPERBOARD</i>	140
Tabla 8.1. Actividad del Edificio de Ingeniería Eléctrica.....	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Relación sentido – Variable atribuida.	25
Figura 2.1. Esquema de la calidad ambiental.	32
Figura 2.2. Interrelación entre factores que alteran el microclima de un lugar.	35
Figura 2.3. Niveles de certificación <i>LEED</i>	36
Figura 2.4. Procedimiento para optar por una certificación <i>LEED</i>	37
Figura 2.5. Jerarquización del modelado en <i>Designbuilder</i>	40
Figura 2.6. Diferencias entre los datos suministrados y datos heredados. ..	41
Figura 3.1. Metodología para la evaluación de estrategias de confort por medio de software.	45
Figura 3.2. Mapas de iluminación natural	53
Figura 3.3. Resultados <i>CFD</i> extraídos de <i>DesignBuilder</i>	54
Figura 4.1. Desfase del Edificio de Ingeniería Eléctrica con respecto al Norte	59
Figura 5.1. Temperaturas promedio mensuales extraídas de la unidad meteorológica <i>VANTAGE PRO 2</i> Ubicada en la E3T.	69
Figura 5.2. Pronósticos para el año 2012 basados en comportamientos históricos	70
Figura 5.3. Comportamiento de temperaturas de la capa de suelo a 1 [m] de profundidad.	71
Figura 5.4. Ubicación del botón <i>Menú</i>	76
Figura 5.5. Menú del programa <i>GenEPW V2.5</i>	77
Figura 5.6. Ventana comentario, software <i>GenEPW V2.5</i>	78
Figura 5.7. Dirección del viento generado por el software <i>GenEPW</i>	79
Figura 5.8. Ventana para exportar el archivo, software <i>GenEPW</i>	79
Figura 6.1. Importar un archivo <i>DFX</i>	85
Figura 6.2. Selección de capas a importar en <i>DesignBuilder</i>	86

Figura 6.3. Plano <i>CAD</i> importado en <i>DesignBuilder</i>	86
Figura 6.4. Parámetros para una nueva edificación en <i>DesignBuilder</i>	87
Figura 6.5. Componentes de un bloque de edificio – <i>DesignBuilder</i>	88
Figura 6.6. Colores de los diferentes tipos de bloques en <i>DesignBuilder</i>	89
Figura 6.7. Opciones de dibujo – Creación de un bloque.	90
Figura 6.8. Sótano del edificio de Ingeniería Eléctrica – <i>DesignBuilder</i>	90
Figura 6.9. Importación del plano de la entrada del edificio de Ingeniería Eléctrica – <i>DesignBuilder</i>	91
Figura 6.10. Bloque de edificio de la entrada del edificio.....	91
Figura 6.11. Elaboración del primer piso a partir del sótano del Edificio de Ingeniería Eléctrica – <i>DesignBuilder</i>	92
Figura 6.12. Creación segundo piso del edificio de Ingeniería Eléctrica – <i>DesignBuilder</i>	92
Figura 6.13. Creación tercer y cuarto piso a partir de la herramienta <i>clonar objeto seleccionado</i>	93
Figura 6.14. Estructura del Edificio de Ingeniería Eléctrica, medidas de la estructura	94
Figura 6.15. Nombres de bloques Edificio de Ing. Eléctrica – <i>DesignBuilder</i>	94
Figura 6.16. Plano <i>CAD</i> para la creación de las particiones.	95
Figura 6.17. Vista <i>planta</i> recomendada para la elaboración de particiones.	96
Figura 6.18. Distribución de particiones del primer piso.....	96
Figura 6.19. Edición de nombres de las diferentes zonas del primer piso... ..	97
Figura 6.20. Jerarquización de la información en la ventana de navegación.	97
Figura 6.21. Creación de aberturas previamente a la elaboración de particiones.....	98
Figura 6.22. Terraza del Edificio de Ingeniería Eléctrica.....	99
Figura 6.23. Tubo solar cilíndrico, Tubo solar cónico.	101
Figura 6.24. Terraza con simulador de tubos solares.....	101
Figura 7.1. Componentes de las ventanas.	112

Figura 7.2. Tipos de divisores.....	113
Figura 7.3. Diferentes longitudes de los aerobrises y de las lamas respecto a la ventana.....	114
Figura 7.4. Tipos de aerobrises, vista superior.....	114
Figura 7.5. Luminaria suspendida, Luminaria empotrada.....	120
Figura 7.6. Luminaria sobre superficie, Luminaria con ducto de ventilación	120
Figura 7.7. Techo luminoso con persianas.....	121
Figura 7.8. Control escalonado para la iluminación.....	122
Figura 7.9. Muros externos del Edificio de Ingeniería Eléctrica.....	124
Figura 7.10. Composición del muro externo.....	125
Figura 7.11. Capas del techo del Edificio de Ingeniería Eléctrica.....	126
Figura 7.12. Particiones interiores del Edificio de Ingeniería Eléctrica.....	128
Figura 7.13. Composición del muro interno.....	129
Figura 7.14. Tipos de suelo en contacto con el terreno.....	131
Figura 7.15. Tipos de suelo para las placas superiores a las que están sobre terreno	132
Figura 7.16. Placas de concreto armado con un espesor de 0,4 [m] cada una.	133
Figura 7.17. Puertas externas en naranja de la fachada norte del Edificio de Ingeniería Eléctrica.....	135
Figura 7.18. Ubicación de las puertas interiores del 2do piso de la Edificación de Ingeniería Eléctrica.....	136
Figura 7.19. Materiales en colores de los bloques componentes de la edificación.....	138
Figura 9.1. Tamaño parcela asociada al Edificio de Ingeniería Eléctrica...	145
Figura 8.2. Relación edificio de ingeniería eléctrica con la parcela asociada.	147

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Importación de modelos gbXML	162
Anexo B. Créditos LEED susceptibles de evaluarse mediante DesignBuilder	167
Anexo C. Confort Térmico.....	170
Anexo D. Confort Visual	194
Anexo E. Descripción para la elaboración del formato EPW	211
Anexo F. Aberturas: Edificio de Ingeniería Eléctrica	244
Anexo G. Detalles arquitectónicos del Edificio de Ingeniería Eléctrica	256
Anexo H. Materiales: Edificio de Ingeniería Eléctrica.....	264
Anexo I. Cerramientos	272
Anexo J. Paredes compuestas.....	297
Anexo K. Datos técnicos de los equipos de refrigeración	301

RESUMEN

TITULO: 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. Creación del modelo virtual*

AUTORES: OSCAR ALEJANDRO PULIDO SUAREZ **
MARVIN YÓNIDI MENESES SILVA **

PALABRAS CLAVE: confort térmico y visual, metodología, *LEED*, *EnergyPlus Weather*, *DesignBuilder*.

En las obras arquitectónicas es vital garantizar un nivel de calidad de “ambiente interior” para sus habitantes, que pueda ser evaluado a partir del confort visual y térmico. Una edificación diseñada para generar niveles óptimos de confort, no necesariamente debe consumir más energía; por el contrario, debería ofrecer un ahorro energético que aumente la calidad de vida y disminuya las incidencias de una edificación tradicional sobre el medio ambiente, como “la isla de calor” y la producción de gases de efecto invernadero.

Con base en lo anterior, en este trabajo de grado se propone una metodología que atiende la necesidad social de reducir la contaminación ambiental. Con su aplicación se busca evaluar las estrategias implementadas en una edificación desde el punto de vista del confort térmico y visual, para de esta forma crear edificios que se adapten mejor a las condiciones climáticas del entorno y lograr reducir la cantidad de energía eléctrica destinada para la ventilación e iluminación en ellos. Todo esto sin desmejorar la calidad del ambiente interior.

Como primer paso en el proceso de validación de la metodología, se realiza una aplicación de la fase uno (1) en el Edificio de Ingeniería Eléctrica. Para esto se elaboró el modelo virtual de la edificación junto con el archivo climático de Bucaramanga en el formato *EPW*.

*Trabajo de grado

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

ABSTRACT

TITLE: ASSESSMENT STRATEGIES AND THERMAL COMFORT VISUAL SET FOR ELECTRICAL ENGINEERING BUILDING SYSTEM AS GUIDELINES LEED CERTIFICATION FROM THE TOOL DesignBuilder. Creating virtual model.

AUTHORS: OSCAR ALEJANDRO PULIDO SUAREZ
MARVIN YÓNIDI MENESES SILVA

KEY WORDS: thermal and visual comfort, methodology, *LEED*, *Weather EnergyPlus*, *DesignBuilder*.

In architectural works is vital to ensure a quality level of "internal environment" for its inhabitants, which can be evaluated from the visual and thermal comfort. A building designed to generate optimal levels of comfort, not necessarily consume more energy, instead, should provide energy savings to increase the quality of life and reduce the impact of a traditional building on the environment, as the "island of heat "and the production of greenhouse gases.

Based on the above, this work of grade proposes a methodology degree that serves the social need for reducing environmental pollution. Its application is to evaluate the strategies implemented in a building from the point of view of thermal and visual comfort, thereby to create buildings that are better adapted to the climatic conditions of the environment and achieve reduce the amount of electrical power intended for ventilation and lighting in them. All this without diminishing the quality of the indoor environment.

As a first step in the process of validation of the methodology, It is performed an application of phase one (1) in the Electrical Engineering Building. For this we developed the virtual model of the building along with the climate file of Bucaramanga in *EPW* format.

* Degree Work.

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

1. Introducción

Las edificaciones mejoran efectos como el aprovechamiento de las áreas disponibles para construcción; sin embargo, producen en las ciudades un aumento de la densidad de personas por metro cuadrado (personas/m²); y con ello, el incremento del consumo de la energía eléctrica; lo cual acelera la contaminación del medio ambiente [1].

Las obras arquitectónicas masivas, como las edificaciones, inciden sobre la calidad de vida de la sociedad; por ello, es una necesidad que su impacto ambiental se reduzcan desde los procesos constructivos hasta su operación, mantenimiento y posterior demolición.

Una edificación diseñada para generar adecuados niveles de confort térmico y visual no necesariamente debe consumir más energía; por el contrario, debería ofrecer una reducción del consumo energético que propenda por la calidad de vida y disminuya el impacto medioambiental negativo, como “la isla de calor” y la producción de gases de efecto invernadero [2].

La arquitectura bioclimática, o también conocida como arquitectura verde, arquitectura sostenible o eco-eficiente, pretende que, a través del correcto aprovechamiento de las condiciones micro-climáticas locales, la selección de los materiales, la reducción de emisiones de CO₂, el reciclaje de los residuos, el uso eficiente del recurso hídrico y de la vegetación; así como, la eficiencia energética de los edificios, las construcciones reduzcan impacto al medio ambiente y mejoren la calidad de vida de sus habitantes [4], [5].

El crecimiento de la demanda y las tarifas de los servicios públicos, y el agotamiento de los recursos naturales han motivado la implementación de medidas que contribuyan a diseñar y construir sitios sostenibles, en donde existen criterios importantes como la selección de los materiales, la calidad medioambiental interior, la eficiencia energética y la reducción del consumo de agua [8].

Según el USGBC (*United States Green Building Council*), una edificación sustentable reduce en promedio, el 30% del consumo de energía, el 35% las emisiones de carbono y del 30% al 50% del consumo de agua, además de generar ahorros del 50% al 90% en los costos por manejo de desechos. Asimismo, las edificaciones verdes contribuyen al fomento de comunidades sólidas y producen importantes beneficios para la salud humana y la productividad [9].

No sólo los países europeos han optado por establecer normatividades en busca de propiciar proyectos ambientalmente responsables y ahorrar dinero en los costos operativos y de construcción; Colombia, tiene en curso la aprobación del llamado Sello Ambiental Colombiano para Edificaciones Sostenibles (SEC-ES) y está basado en la Resolución 1555 de 2005 del *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial* [6], que se enfoca en establecer los lineamientos para el diseño y construcción de edificaciones sostenibles y en velar por la preservación, conservación y protección de los recursos renovables y no renovables [7].

Esta necesidad se traslada al hecho de facilitar los cálculos pertinentes para establecer cuáles estrategias se deben tener en cuenta durante el diseño, la selección de materiales adecuados al tipo de edificación, y la optimización del consumo de energía, entre otros; de ahí surgen los argumentos necesarios para optar por el uso de una herramienta computacional que realice los cálculos y permita elaborar análisis de los resultados [3].

EnergyPlus, un potente programa de cálculo elaborado por el centro de investigación del *DOE (Department of Energy)* [18]. En la página oficial del *DOE* exponen aproximadamente 409 programas que utilizan *EnergyPlus* como motor de cálculo; sin embargo, tienen un enfoque más restringido [19], se realizó un previo análisis general de las prestaciones de estos programas en donde *DesignBuilder* se desarrolló especialmente para acoplarse y utilizar gran parte del potencial de *EnergyPlus*, contrario a los otros programas que solo manejan una fracción de los resultados calculados. Este software simula eficazmente edificaciones en etapas conceptuales hasta modelos ya construidos [20], este análisis previo se realizó como parte del trabajo de investigación titulado *Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el Edificio de Eléctrica II de la universidad industrial de Santander*.

Con el fin de conocer el cambio en el consumo energético del Edificio de Ingeniería Eléctrica, y su aporte energético al campus de la Universidad Industrial de Santander, se hace necesario evaluar las estrategias de confort establecidas en el diseño de dicho edificio a través del software *DesignBuilder*, y así analizar las estrategias de iluminación y climatización definidas [10].

Este trabajo de grado es la primera fase de un estudio sobre las estrategias consideradas en el diseño del Edificio de Ingeniería Eléctrica, relacionadas con su desempeño térmico y visual, en fases posteriores se analizará el nivel de confort al que estarán expuestos los ocupantes. Adicionalmente, tiene como objetivo establecer una metodología para evaluar las estrategias de una edificación por medio del software *DesignBuilder* y los lineamientos del estándar *LEED*. Estas estrategias son derivadas de conocimientos acerca del confort visual y térmico que tocan temas como: isla de calor, condiciones climáticas y microclimáticas y techos verdes [11].

Se conoce como confort a las condiciones externas que dan la sensación al hombre de percibir con los cinco sentidos un bienestar, tal como se muestra en la Figura 1.1 y ellos están embebidos en variables tales como:

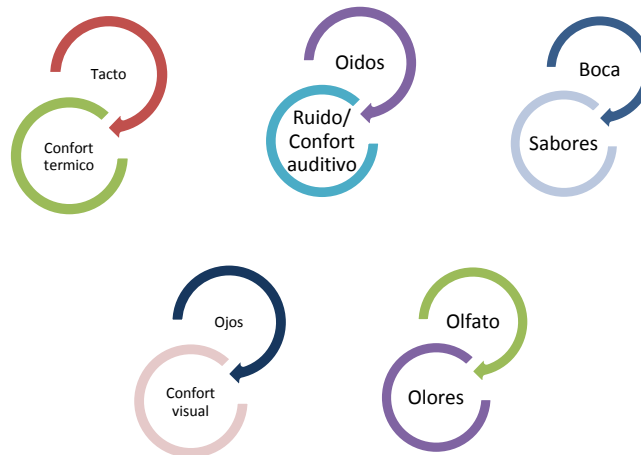


Figura 1.1. Relación sentido – Variable atribuida. Adaptada de [12].

Una parte del contenido base para este trabajo es el confort térmico y visual, estos parámetros son claves en el diseño de las construcciones y ellos brindan un conocimiento que soporta la selección de materiales, los colores, el ambiente lumínico confortable, y finalmente el diseño físico (aberturas que aprovechan la luz natural y la ventilación) [12].

1.1 Descripción general del trabajo

En este trabajo se estructura la investigación que permite desarrollar la fase uno de un proyecto que tiene por objeto analizar estrategias de confort visual y térmico implementadas en el Edificio de Ingeniería Eléctrica, a partir del software *Designbuilder* empleando como base los lineamientos del estándar *LEED*, con el fin de evaluar su contribución al ahorro y el nivel de sostenibilidad energético. Para ello, es preciso recopilar la información sobre las condiciones microclimáticas y los datos referentes al modelamiento del edificio para alimentar el software. Asimismo, se establece una metodología para el análisis energético basada en las características particulares del software *Designbuilder*.

El libro constará de dos capítulos introductorios a la temática del trabajo de grado y la explicación de la metodología (capítulo tres) junto con la aplicación de la

Fase I de la misma (capítulos cuatro al ocho), posteriormente se añadirán las conclusiones y recomendaciones (capítulo nueve). Finalmente se realizarán los anexos que complementarán y profundizarán en el desarrollo de este proyecto (Anexos A al K).

1.2 Declaración del problema y justificación para su solución

El deterioro del medio ambiente y particularmente los cambios en el clima, obliga a la sociedad y a todos los sectores productivos y económicos que lo provocan a una reorientación profunda de las pautas de producción y consumo [13].

Se tiene estimado que en los Estados Unidos los edificios consumen más del 70% del total de la energía eléctrica generada y más del 30% del total de la energía consumida en el país. Adicionalmente son la principal fuente de generación de CO₂, por encima del transporte y la industria. Solamente en Estados Unidos, los edificios generan un 39% del total de emisiones de CO₂, consumen el 40% de las materias primas en el mundo y el 13% de agua potable, sin contar las miles de toneladas diarias de desechos. Estos datos muestran un sector profundamente impactante sobre el medio económico, ecológico y social, en definitiva un sector insostenible [14].

Los proyectos arquitectónicos actuales aún emplean métodos de construcción con niveles de eficiencia aún inaceptables, por tal motivo, es necesario identificar y masificar el uso de tecnologías de mayor eficiencia, de esta manera el sector de la construcción debe avanzar hacia un modelo que no despilfarre energía, recursos naturales y utilice materiales ecológicos, en definitiva un modelo de construcción más sostenible [15].

Con base en lo anterior, se considera necesario conocer el impacto de las estrategias que influyeron en el diseño arquitectónico y eléctrico del Edificio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander. Estas estrategias

elaboradas por el diseñador por el fueron pensadas en aumentar el nivel de sostenibilidad energética de la edificación, aun así se desconoce su nivel de pertinencia y la réplica en otras edificaciones.

Este proyecto busca fomentar la utilización de herramientas para análisis energético para buscar edificaciones más eficientes y comprometidas con el medio ambiente, a su vez que mantienen o en algunos casos mejoran las condiciones de confort tanto térmico como visual con respecto a edificaciones convencionales.

1.3 Objetivos del trabajo

La investigación permitió desarrollar una metodología para el análisis de confort en edificaciones a partir del uso de la herramienta de simulación *DesignBuilder*. Este proyecto se centró en la aplicación de la primera fase a partir de la cual se estableció un modelado virtual del Edificio de Ingeniería Eléctrica. Paralelo a ello, se creó archivo climático de la ciudad de Bucaramanga en formato *EPW* y se realizó el análisis potencial de cumplimiento del estándar *LEED* que pueden ser evaluados mediante el uso del software.

Como parte de esta investigación se requiere el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- Proponer una metodología para el análisis energético de edificaciones a partir del uso del software *DesignBuilder*.
- Crear el modelo virtual para análisis energético del Edificio de Ingeniería Eléctrica a partir del uso de la herramienta de simulación *DesignBuilder*.
- Crear una base de datos de las condiciones microclimáticas en sitio según el formato *EnergyPlus Weather (EPW)*.
- Describir las consideraciones energéticas características de la edificación que puedan ser evaluadas según el estándar *LEED* y simuladas a partir del software *DesignBuilder*.

1.4 Alcance del trabajo

Con este proyecto se pretende utilizar el software *DesignBuilder* como una herramienta para la evaluación de estrategias de confort en edificaciones. Se planteará una metodología para llevar a cabo una evaluación, con el fin de determinar la efectividad de las estrategias de iluminación y climatización definidas en el Edificio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander. Adicionalmente, se plantean las consideraciones energéticas de la edificación, para determinar el cumplimiento de los criterios *LEED*.

Esta investigación se enfoca en el desarrollo del modelo virtual del Edificio de Ingeniería Eléctrica a partir de la herramienta de modelado energético *DesignBuilder*, una vez hecho este modelo se calibrará ajustándolo al modelo real de la edificación, para facilitar su aprovechamiento en posteriores proyectos de grado que deseen llevar a cabo las fases dos y tres de la metodología propuesta, que busca llevar a cabo análisis de confort térmico y visual en el edificio mediante este software.

La herramienta computacional *DesignBuilder* simplifica el modelado de muchas de las variables que afectan el confort visual y térmico las cuales inciden en el comportamiento energético del edificio. Por lo tanto, reducen el tiempo y los costos para llevar a cabo la evaluación energética en estructuras [17].

1.5 Reseña del trabajo desarrollado

Este ítem se ha creado con la finalidad de mostrar el proceso para llevar a cabo análisis de confort térmico y visual en edificaciones, la Figura 1.2 resalta la estructura de la metodología junto con sus fases, cabe resaltar que este trabajo de investigación sólo involucra la creación de la metodología y la aplicación de la Fase 1 en el Edificio de Ingeniería Eléctrica. La metodología fue elaborada con base a la experiencia en el software *DesignBuilder*, por ello se basa en obtener la información de acuerdo al orden establecido en *DesignBuilder* para organizarla. Con la finalidad que su utilización resulte intuitiva y de fácil aplicación.

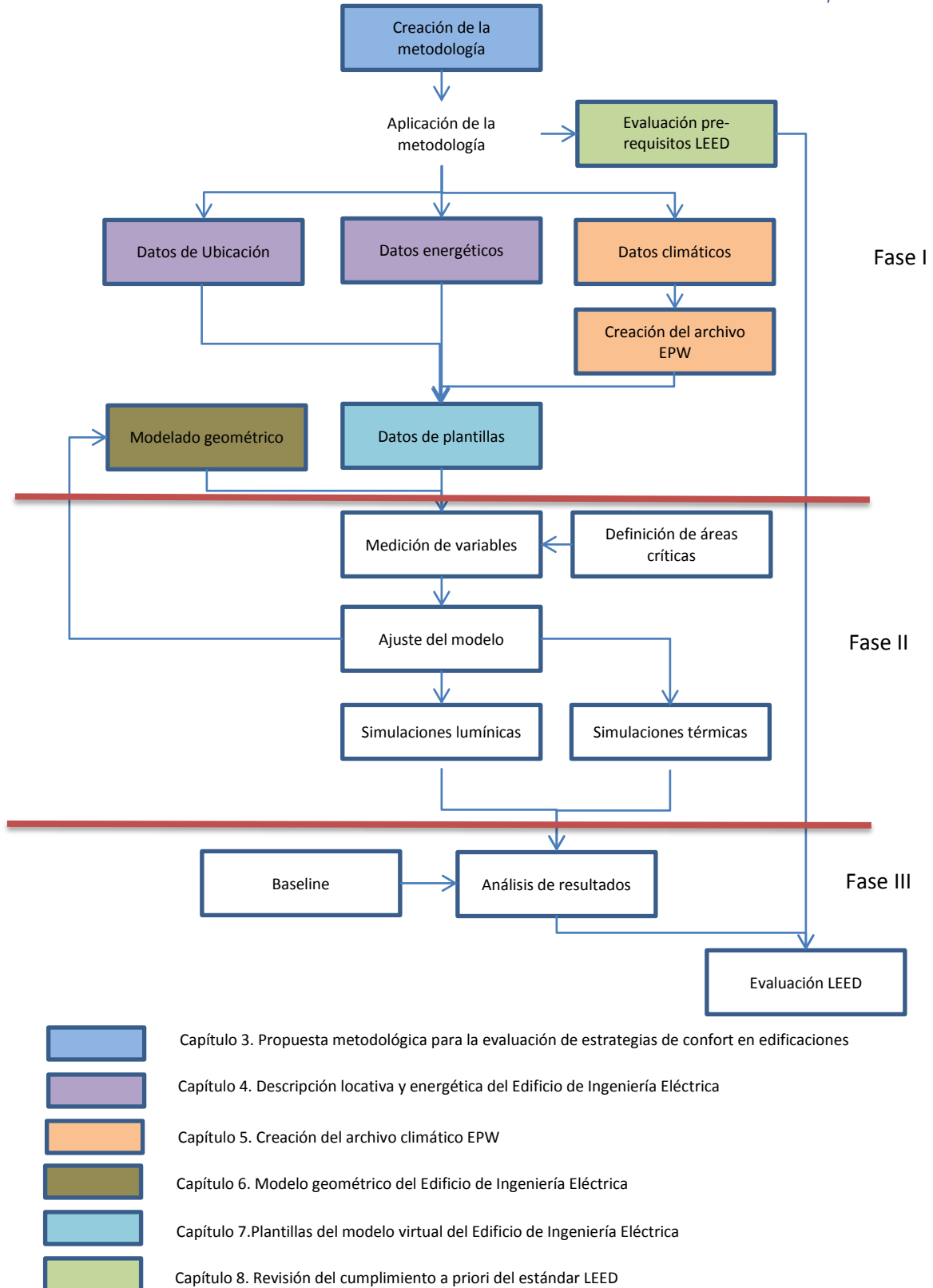


Figura 1.2. Descripción del contenido del trabajo de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS: CAPÍTULO 1

- [1] EDIFICACION SOSTENIBLE, Albert Cuchí, UPC. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://portalsostenibilidad.upc.edu> >
- [2] EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONFORT EN LOS CLIMAS CÁLIDOS, descargado en formato PDF. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.isover.es/contentdownloadversionfile/Multi-Comfort-House-ISOVER.pdf> >
- [3] HACIENDO MÁS CÓMODA LA “UNCOMFORTABLE TRUTH”. . Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.centralenergia.cl/2010/08/20/haciendo-mas-comoda-la-%E2%80%9Cuncomfortable-truth%E2%80%9D/>>
- [4] ¿QUÉ ES LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA? Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Construccion_Verde/Arquitectura_Bioclimatica.asp >
- [5] MONROY, Manuel Martín. Manuales de diseño ICARO de Calidad Ambiental en la Edificación. Descargado en formato PDF. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://editorial.cda.ulpgc.es/ftp/icaro> >
- [6] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 1555 de 2005. Descargado en formato PDF. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: http://www.minambiente.gov.co/documentos/res_1555_201005.pdf >
- [7] SELLO AMBIENTAL COLOMBIANO PARA EDIFICACIONES SOSTENIBLES (SAC-ES) Disponible en internet. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.cccs.org.co/construccion-sostenible/certificacion-de-edificaciones>>
- [8] EDIFICACION SUSTENTABLE EN AMERICA DEL NORTE. 2008. Descargado en formato PDF. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: http://www.cec.org/Storage/61/5388_GB_Report_SP.pdf>
- [9] LOS CIMIENTOS DE LOS EDIFICIOS VERDES. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.ajuua.com>>
- [10] SISTEMAS PASIVOS. Descargado en formato PDF. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: http://c3g6.weebly.com/uploads/2/8/9/6/2896342/sistemas_pasivos.pdf >
- [11] ILUMINACIÓN NATURAL – DESIGNBUILDER. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.designbuilder.es/productos/caracteristicas-de-designbuilder/iluminacion-natural> >
- [12] RELACIÓN SER HUMANO / AMBIENTE /ARQUITECTURA. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: www.bromyros.com.uy/documentos/ate_02_confort.pdf >
- [13] GUIA DE LA CONSTRUCCION SOSTENIBLE. . Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://es.scribd.com/doc/28555172/Guia-de-Construccion-Sostenible>>
- [14] AUTOMATIZACIÓN DE EDIFICIOS: ¿PRESENCIAMOS UN BOOM?. Artículo de Prensa del Periódico El Espectador. Agosto 06 de 2010. Disponible desde la web: <URL: <http://www.acrlatinoamerica.com/201001201729/articulos/automatizacion-de-edificios/un-edificio-verde-es-un-edificio-inteligente-i/ver-el-articulo-completo.html> >
- [15] GUIA DE CONSTRUCCION SOSTENIBLE. Documento descargado en formato PDF. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.ecohabitar.org/PDF/CCConsSost.pdf> >
- [16] RAMOS CASTELLANOS, Pedro. Uso eficiente y sostenible de los recursos naturales. Ediciones Universidad de Salamanca.
- [17] DESIGNBUILDER DESCRIPCIÓN Y CAPACIDADES. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.designbuilder.es/pdf/DesignBuilder.pdf>>
- [18] EnergyPlus Energy Simularion Software. . Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus> >
- [19] Building Energy Software Tools Directory. Lista de programas que utilizan *EnergyPlus* como motor de cálculo. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm>
- [20] DesignBuilder Software. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.greenplan.co.za/images/DesignBuilder%20A4%20Flyer.pdf> >

2. Consideraciones generales

Este capítulo presenta algunas consideraciones para ilustrar el desarrollo de los temas del trabajo de grado a partir de la descripción del impacto y de la importancia que tienen las edificaciones verdes. Se describe la herramienta computacional *DesignBuilder* que procesa aspectos de los diseños en los aspectos energéticos y los constructivos de la estructura; y por último, se exponen generalidades sobre el sistema de certificación *LEED*.

2.1 Calidad ambiental y confort

La calidad ambiental de las edificaciones está directamente relacionada con la gestión y la disminución de los residuos, a fin de ofrecer confort y calidad de vida a la comunidad [1].

Algunos métodos para determinar la calidad ambiental de un lugar o edificación se basan en la monitorización de variables que puedan intervenir en ésta como lo son: el consumo de agua, la superficie vegetal, el aire, el área foliar, la temperatura y el nivel de iluminación [2]; estos factores tienen una interrelación; por lo tanto, una intervención en ellos hace que haya una afectación en otros, esto sucede cuando el hombre entra en escena como se observa en la Figura 2.1, la calidad ambiental pretende establecer entre la naturaleza y el hombre una convivencia o relación mutualista en donde los dos se benefician.



Figura 2.1. Esquema de la calidad ambiental. Adaptada de [12].

La naturaleza sin la intervención del hombre tiene una armonía, la calidad ambiental es la que intenta unir y calificar el nivel de armonía que se mantiene en la naturaleza sin que el hombre sienta disconfort [3].

En los últimos años, se han visto diseños energéticos en edificaciones cuyas repercusiones del impacto ambiental son menos lesivas. Debido a adelantos en los conocimientos científicos en pro de la conservación y cuidado del medio ambiente. Hoy en día surge la necesidad de formar una cultura de calidad de vida en términos ambientales, para dar longevidad a los recursos naturales, empezando desde el diseño integral hasta ubicarse en quienes lo ocuparán.

2.2 Arquitectura bioclimática

La arquitectura bioclimática se puede considerar como aquella rama de la arquitectura que busca crear diseños, para lograr un nivel de confort adecuado en una edificación minimizando el gasto energético. Esto es posible con base en el aprovechamiento de condiciones climáticas favorables y pro de las menos favorables que ahí en su entorno [4].

Aunque en algunos casos sea necesario reforzar ciertas condiciones climáticas en el interior para lograr el nivel de confort deseado, en este caso se debería recurrir a sistemas de alta eficiencia energética los cuales pueden ser abastecidos por fuentes de energías renovables [4].

La buena utilización de los elementos reguladores del clima, junto con el conocimiento y la correcta utilización de energías renovables, buscan dar respuestas al problema del confort; a la vez que se convierte en una arquitectura sana para el planeta. Esto hace la contraparte de la mayoría de los edificios construidos actualmente, que suplen la falta de un buen diseño y de adecuados estudios con el consumo desmesurado de energía eléctrica en equipos HVAC e iluminación [5].

Una parte importante durante la fase de diseño con enfoque de arquitectura bioclimática consiste en contemplar todos los elementos como un conjunto: instalaciones, estructuras, cerramientos, aberturas, etc., para de esta forma conseguir un ahorro energético significativo, debido a que las estrategias utilizadas en alguna zona de la edificación podrían tener repercusiones en otra zona aledaña [4].

2.3 Confort visual – iluminación

La iluminación de una edificación se puede considerar como uno de los factores más importantes en el momento de pensar o realizar un diseño; sin embargo, a la hora de tener en cuenta la iluminación natural se debe asumir como el principal factor ambiental que condiciona el diseño arquitectónico. Su importancia radica en la necesidad de crear espacios con buenos niveles de confort visual. Este confort está dado por la percepción del ojo humano a la intensidad de la luz reflejada sobre una superficie y su uniformidad, teniendo en cuenta siempre la necesidad de tener una comodidad óptica acorde al uso deseado de un espacio. No debe ser igual el nivel de iluminación de una zona de lectura, a una zona de descanso [6].

En un edificio la iluminación de los espacios interiores necesita un estudio minucioso que permita garantizar la seguridad de su uso; mientras, se establece un nivel de comodidad visual adecuado para sus ocupantes.

Un correcto diseño luminoso servirá para resaltar la arquitectura interior del propio edificio, creando espacios acordes a los gustos o necesidades de los habitantes, y teniendo en cuenta aspectos como la economía y la durabilidad.

2.4 Confort térmico – calor

Para conseguir unas condiciones de comodidad térmica se deben considerar numerosos procesos de intercambio calorífico que están firmemente relacionados con los ocupantes de cada zona dentro del edificio y del microclima en el exterior en cada momento. De esta forma las condiciones de comodidad térmica en cada zona interna dependerán de un adecuado control ambiental pasivo, que pretende regular ese balance energético mediante el diseño formal, y un correcto aprovechamiento tecnológico [7].

2.5 Microclima

El diseño ambiental está enfocado en lograr las condiciones ambientales deseadas buscando un aislamiento de los factores externos no deseados y resaltando o aprovechando de la mejor manera posible las condiciones climáticas externas deseadas.

Los factores ambientales internos o microclima de la edificación son los objetivos o metas del diseño, como se explicó anteriormente. Pero estos factores se deben enfocar en condiciones de comodidad deseables, los cuales están estrechamente relacionados con el ambiente exterior y con una relación propia entre factores que se resumen en la Figura 2.2.

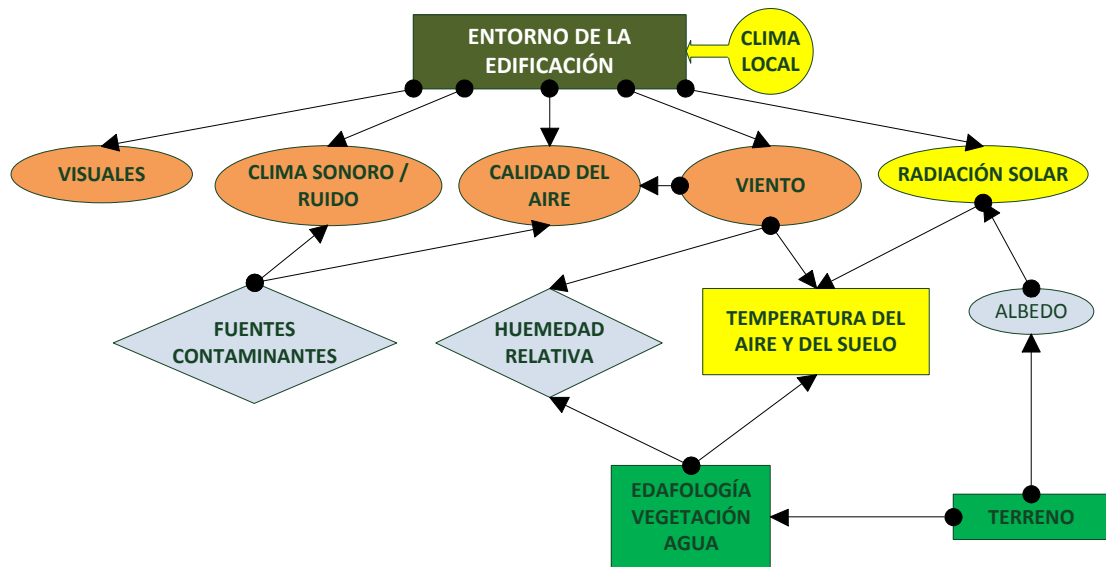


Figura 2.2. Interrelación entre factores que alteran el microclima de un lugar. Adaptado de [5].

Los datos climáticos son obtenidos de acuerdo a mediciones del tiempo atmosférico realizadas en estaciones meteorológicas por prolongados periodos de tiempo, que generen datos representativos del entorno climático [7].

2.6 Certificación LEED

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) es el estándar en construcción sostenible con mayor prestigio en todo el mundo. Se basa en un sistema de puntuación que mide el nivel de respeto medioambiental y de salud de los edificios, y que ha sido desarrollado por el US Green Building Council (*USGBC*) [8]. El certificado *LEED* se estructura en 5 categorías principales:

- Emplazamiento, que mide el impacto que tiene la selección de un emplazamiento concreto sobre el medio ambiente local.
- Gestión de agua, que incluye la integración de tecnologías y estrategias para reducir la cantidad de agua potable consumida en el edificio.

- Calidad ambiental interior, que tiene en cuenta el uso de luz natural, criterios de confort térmico, acústico, ventilación y otros aspectos que inciden sobre la salud ambiental de un espacio.
- Materiales, que promueve las prácticas de reducción de deshecho de la construcción, de reciclado doméstico así como el uso de materiales reciclados o rápidamente renovables para la construcción.
- Energía y atmosfera, que mide la eficiencia y comportamiento energético del edificio y que promueve la integración de energías renovables.

Dentro de cada una de estas 5 categorías hay créditos o puntos para el cumplimiento de objetivos específicos. El estándar *LEED* v3.0 es la última actualización (2011), incluye un máximo de 110 puntos; en función de los puntos conseguidos permite alcanzar 4 niveles de certificación como se muestra en la Figura 2.3: Certified, Silver, Gold o Platinum, siendo esta última la más destacada [8].



Figura 2.3. Niveles de certificación *LEED*.

2.6.1 Proceso de certificación *LEED*

Para la obtención de un certificado *LEED* independiente del tipo de infraestructura se deberá realizar los pasos requeridos y descritos para este proceso que se presentan en la Figura 2.4.

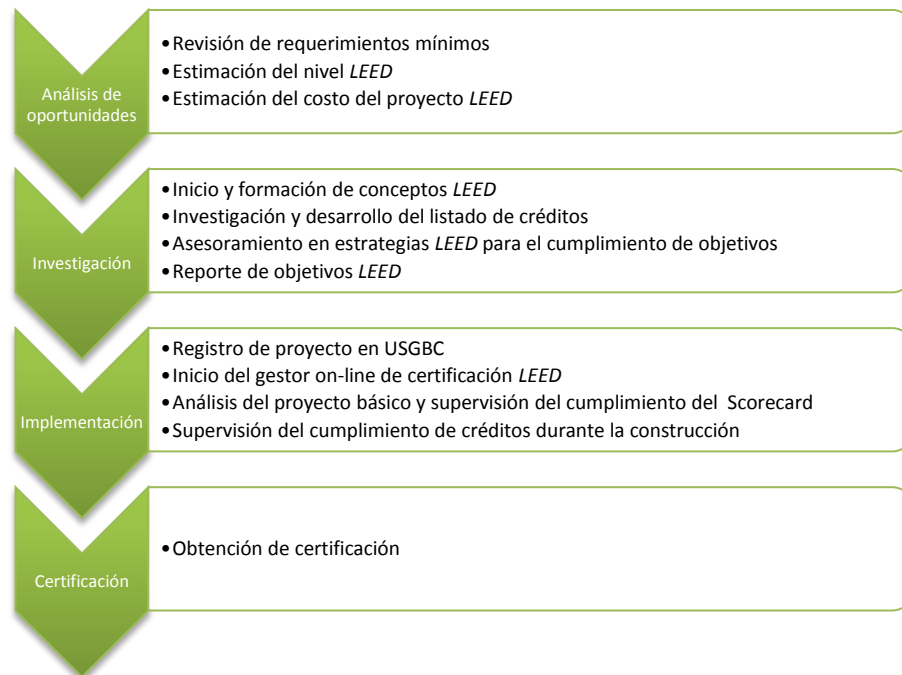


Figura 2.4. Procedimiento para optar por una certificación *LEED* [8].

2.6.2 Beneficios

La aplicación de un enfoque integrado, orientado a los sistemas para el diseño, el desarrollo y las operaciones de edificios sostenibles, pueden aprovechar las sinergias para de este modo obtener una mejora en el rendimiento global de una edificación, esto acompañado de beneficios ambientales y financieros. Los edificios con certificación *LEED* están diseñados para:

- Menores costos de operación
- Reducir los residuos enviados a los vertederos.
- Conservar la energía y el agua.
- Ser más saludables y más seguros para los ocupantes.
- Reducir las emisiones de gases nocivos de efecto invernadero.

Esto acompañado de una demostración de compromiso por parte del propietario con el cuidado del medioambiente y con la responsabilidad social.

2.7 DesignBuilder

Es un programa desarrollado con un entorno de modelización virtual de edificios que utiliza como motor de simulación y análisis *EnergyPlus*; este software fue creado por el DOE (*United States Department of Energy*) y es utilizado para simulaciones de calefacción en modelado de edificios, refrigeración, iluminación, ventilación y otros flujos de energía.

DesignBuilder es un programa que presenta una interfaz sencilla y bastante intuitiva para realizar análisis de una construcción arquitectónica evaluando factores de diseño energéticos como el consumo por climatización. Su importancia se deriva de la necesidad de medir las variables interrelacionadas que hacen que los comportamientos sean complejos de predecir. También permite llevar a cabo simulaciones dinámicas del desempeño térmico de los edificios, evaluar el impacto de la ventilación natural para conseguir adecuados niveles de confort, calcular la capacidad de los sistemas de calefacción y refrigeración, y el consumo energético y la emisión de CO₂ derivados de los sistemas de climatización empleados, así como del uso de luminarias, aparatos y equipos [9].

Algunos de los respectivos análisis que se pueden realizar con el software y varias de las características son mencionados a continuación:

- Es posible gracias a su motor de análisis *Energyplus* cuantificar el desempeño térmico y energético de los edificios sin necesidad de utilizar módulos externos y sin necesidad de acudir o recurrir a otros programas. Toda la información necesaria es analizada internamente por el software [10].
- La plantilla referente a *HVAC (Heating, Ventilation And Cooling)* ofrece una herramienta muy completa para realizar los respectivos estudios de los sistemas de calefacción y refrigeración comúnmente empleados.

- Es posible controlar la abertura de las ventanas a partir de programas de operación, y su ventilación natural puede ser modelada fácilmente mediante la construcción física y estaciones de donde va ubicado.
- Permite la utilización de voladizos, persianas y salientes laterales para realizar el modelado del sombreado en determinadas zonas de la estructura.
- La información resultante de los análisis puede ser observada en intervalos de años, meses, días, horas o fracciones de hora.
- El software permite la importación de planos en 2D compatible con programas como *AutoCAD*.

2.7.1 Modelo BIM

Designbuilder permite la interoperabilidad con modelos **BIM** (*Building Information Modeling*) mediante el formato **gbXML**. De esta manera es posible importar modelos arquitectónicos 3D diseñados en programas como *Revit*, *ArchiCAD* y *Microstation* (o cualquier otro tipo de software que ofrezca soporte a archivos con extensión **gbXML**) para su posterior análisis en *Designbuilder*. Es posible importar algunos elementos o superficies de sombreado, y elementos constructivos básicos como lo son muros, cubiertas, suelos, puertas, ventanas, etc. [11].

La extensión de archivos **gbXML** permite eliminar y repara los vacíos entre los volúmenes de las zonas interiores; así como, el uso de algunos algoritmos que reparen superficies CAD perdidas, malformadas o desalineadas. De esta forma se reduce la cantidad de detalles durante el proceso de transferencia [11].

2.7.2 Exportación modelo 3D

Además de la exportación en formato gráfico de resultados e imágenes y de la exportación de los resultados numéricos a Excel, con *Designbuilder* es posible

exportar modelos a través del formato de archivo *DXF 3D* para análisis de iluminación natural, visualización u otro tipo de análisis. Esta exportación además se puede hacer a través de software de modelado como *Google Sketchup* donde se pueden añadir texturas, objetos, personas o simplemente sombreados para una mejor visualización del modelo.

2.7.3 Administración de datos

En *Designbuilder* la información tiene un rango escalonado distribuido de la siguiente forma:

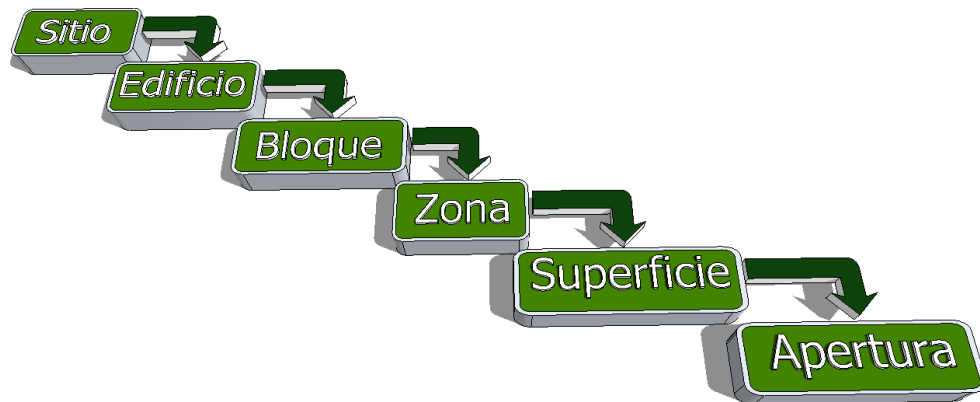


Figura 2.5. Jerarquización del modelado en *Designbuilder*.

La información suministrada al programa en cualquiera de sus niveles es heredada al nivel inferior contiguo. De esta manera los datos establecidos en el nivel edificio serán asumidos por el nivel bloque; sin embargo, es posible su posterior edición, de esta manera si se altera uno de los datos en el nivel bloque las zonas pertenecientes a este bloque asumirán esta nueva información; mientras, que las otras conservarán los datos iniciales del nivel edificio.

En la interfaz del software la información heredada del nivel superior se observa de color azul, mientras que la información alterada o suministrada por el usuario se muestra de color rojo, como se observa en la Figura 2.6.

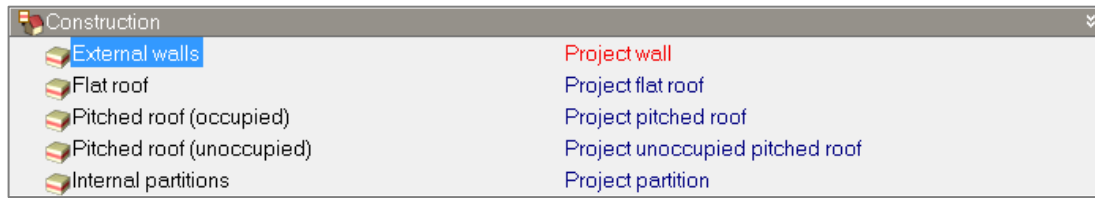


Figura 2.6. Diferencias entre los datos suministrados y datos heredados.

La importancia de esta organización jerárquica radica en la facilidad y rapidez de asignar datos a un modelo; sin embargo, es válido aclarar que al realizar cambios explícitos en un determinado nivel del modelo, estos cambios permanecerán a pesar de que sea modificada la información en los niveles superiores [17].

De esta manera, es recomendable siempre que sea posible establecer la información en el nivel superior, con la finalidad de facilitar la entrada de datos al software [17].

2.7.4 Plantillas de suministro de datos

Las plantillas de datos combinan la facilidad de suministración de datos con la utilidad de permitir acceder a datos preestablecidos de cerramientos, materiales, sistemas de climatización e iluminación, además facilita la creación de nuevas plantillas para ajustarse a datos más exactos o nuevos de la industria como es en el caso de materiales e iluminarias, favoreciendo su posterior utilización en otros proyectos, permitiendo realizar alteraciones globales, a nivel de edificio, bloque, zona o superficie; además de verse mejorado el nivel de detalle de la edificación modelada [17].

2.7.5 Módulo EnergyPlus

Los datos referentes a climatización (*HVAC*) se modelan mediante el concepto de Plantillas *HVAC* de *EnergyPlus*. Esta opción hace posible realizar el modelado de manera paramétrica un conjunto de sistemas *HVAC* predefinidos, evitando la

necesidad de definir complejos trazados de instalaciones. Se ajustan de manera automática en una definición completa del modelo de la instalación HVAC antes de lanzarse la simulación [17].

Es importante aclarar que no se requiere experiencia con *Energyplus*, pero los usuarios más avanzados tienen la flexibilidad de exportar a un fichero de datos en formato *IDF* de *Energyplus* y editarlo para modelar un amplio abanico de sistemas HVAC [17].

Es posible utilizar diferentes versiones de *Energyplus* en la simulación, desde la actual ejecutable hasta versiones anteriores o versiones preliminares liberadas por *DOE*. También es posible realizar las simulaciones de *Designbuilder* desde el programa *EP-Launch* de *EnergyPlus* [12].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS: CAPÍTULO 2

- [1] CALIDAD AMBIENTAL. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.cdmb.gov.co/web/index.php/calidad-ambiental-supmenu-282.htm>>
- [2] CALIDAD DE AMBIENTES INTERIORES. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: http://www.trabajoyprevencion.jcyl.es/web/jcyl/binarios/816/48/Edificios_saludables_1parte.pdf>
- [3] CALIDAD AMBIENTAL. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: http://www.eduambiental.org/index.php?option=com_content&task=view&id=224&Itemid=122>
- [4] ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA.BIOCONSTRUCCION. Disponible en internet <URL: <http://www.adoss.com/es/inicio/index.asp?iddoc=22>>
- [5] ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://abioclimatica.blogspot.com/>>
- [6] CONFORT VISUAL Y DISEÑO DE ILUMINACION. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.voltimum.es/news/727/cm/confort-visual-y-diseno-de-iluminacion---cual-es-el-objetivo-de-una-instalacion-de-alumbrado-.html>>
- [7] MONROY, Manuel Martín. Manuales de diseño ICARO de Calidad Ambiental en la Edificación. Descargado en formato PDF. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://editorial.cda.ulpgc.es/ftp/icaro/>>
- [8] CERTIFICACIÓN LEED. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: http://www.aei-col.com/cms/front_content.php?idcat=130 >
- [9] EL POTENCIAL DE DESIGNBUILDER. . Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.sol-arg.com/index.php/potencial-db>>
- [10] ENERGYPLUS. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.designbuilder.es/productos/caracteristicas-de-designbuilder/energyplus>>
- [11] IMPORTACION DE MODELOS CAD 3D (GBXML) . Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.designbuilder.es/productos/caracteristicas-de-designbuilder/importacion-3d-gbxml> >
- [12] MODULO ENERGYPLUS. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.sol-arg.com/index.php/modulo-energyplus> >
- [13] LEED Baseline Building Envelope and Systems. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://energy-models.com/training/leed/baseline-building-envelope-and-systems>>

3. Propuesta metodológica para la evaluación de estrategias de confort en edificaciones

En este capítulo se presenta una metodología para realizar análisis de confort térmico y visual en edificaciones a partir del uso software *DesignBuilder*. La necesidad de establecer una metodología radica en garantizar un correcto análisis y un significativo ahorro de tiempo de ejecución en la evaluación de confort visual y térmico en estructuras; sin embargo, el tiempo finalmente dependerá de la precisión o necesidad de realizar análisis más exactos.

La recopilación y organización de los datos que intervienen en el comportamiento energético de la edificación es una de las ventajas de esta metodología, que establecen y encausan de forma práctica la alimentación del software *DesignBuilder*.

La Figura 3.1 describe la metodología propuesta por fases que se deben desarrollar para obtener resultados a la hora de realizar una simulación en *DesignBuilder*.

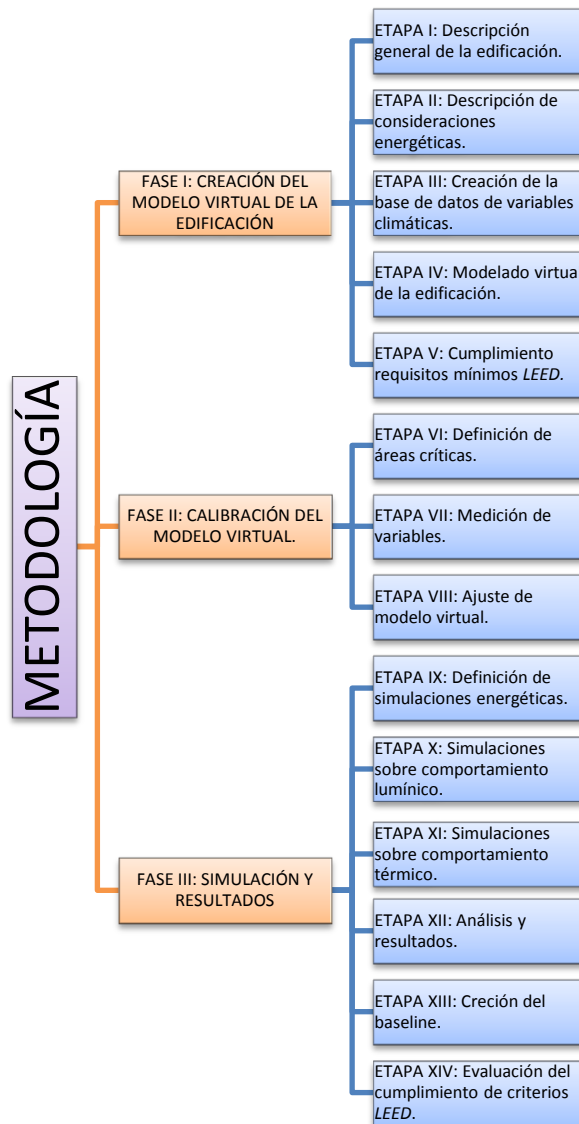


Figura 3.1. Metodología para la evaluación de estrategias de confort por medio de software.

3.1 Recursos necesarios para desarrollar la metodología:

- Planos constructivos y de detalle de la edificación a evaluar o en su defecto tener acceso a la misma para realizar la medición de los datos referentes a la geometría del edificio.
- Documentación del diseño de iluminación y calefacción con las respectivas especificaciones de los equipos a implementar.

- Software previamente registrado *DesignBuilder*, esta metodología se podrá implementar en cualquier versión de *DesignBuilder*; sin embargo, se ajusta a las versiones 2.x y sólo se podrá observar el modelo del Edificio de Ingeniería Eléctrica en dichas versiones, debido a problemas de incompatibilidad entre las versiones 2.x y posteriores.

Se decidió realizar la metodología como un diagrama de flujo para abarcar diseños arquitectónicos en fases previas a su construcción, este proceso iterativo sirve para mejorar los diseños de las edificaciones realimentando la metodología hasta alcanzar resultados satisfactorios.

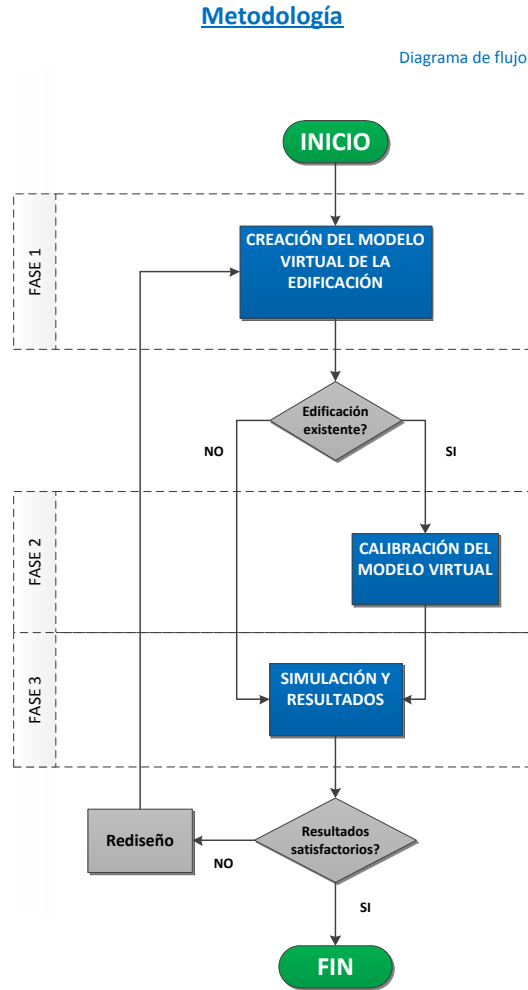


Figura 3.2 Diagrama de flujo de la metodología.

Rediseño

En este paso se realizan los respectivos ajustes en el diseño arquitectónico y energético para lograr los resultados satisfactorios, aquí se procede a identificar los posibles fallos que no se tuvieron en cuenta para mejorar la edificación.

Para el rediseño se recomienda empezar por identificar los espacios con las necesidades de mayor confort y mejorar las estrategias allí aplicadas, tanto en iluminación como en climatización. Para un proyecto ya construido se recomienda presupuestar la inversión versus el beneficio que brindarán los cambios.

3.2 Fase 1: Creación del modelo virtual de la edificación

En esta primera fase se realiza el modelo digital del edificio, adicionalmente se establece una base de datos microclimáticos de acuerdo al formato *EnergyPlus Weather* (*.epw). Finalmente, se determina el cumplimiento de los requisitos mínimos para optar por una certificación *LEED* y se establece los créditos y pre-requisitos *LEED* susceptibles de ser evaluados mediante el uso del software *Designbuilder*.

3.2.1 Etapa 1: Descripción general de la edificación

Es necesario tener una descripción de la edificación que permitirá establecer la categoría *LEED* en la cual se debe clasificar, además se debe definir el proceso de modelado del edificio que depende de la facilidad de acceso a planos de forma digital o física y del soporte del formato de estos planos por parte del software (Modelo *BIM*). Por lo tanto, será necesario establecer el nivel de detalle del modelo de la edificación, que estará directamente relacionado con la profundidad del análisis a elaborar.

3.2.2 Etapa 2: Descripción de las consideraciones energéticas

En esta etapa se describirán temas relacionados con la ventilación que comprende el microclima generado por aires acondicionados, calefacción artificial, la actividad humana, alterando la temperatura de las fachadas; también se describirán la iluminación artificial por medio de las luminarias; todas estas características se deberán tener en cuenta para finalmente obtener una base de datos suficientes y permitir que al simular se obtengan comportamientos y resultados cercanos a la realidad.

También los parámetros de diseño y las consideraciones de temperatura, clima, humedad relativa, altura sobre el nivel del mar, etc.; datos que se tuvieron en cuenta para el diseño de ventilación (aires acondicionados y aberturas) y el de iluminación (ventanas y luminarias) es necesario tenerlos en cuenta ya que influyen directamente sobre la estructura; por ende, hacen parte de la descripción técnica de la edificación.

3.2.3 Etapa 3: Creación de la base de datos de variables climáticas

Esta etapa surge de la necesidad de organizar y condensar la información climática obtenida de alguna estación meteorológica ubicada en el sitio. Teniendo en cuenta los datos obtenidos por esta estación se organiza y se ajustan al formato *EnergyPlus Weather* (*.epw), esta organización da lugar para que se puedan hacer cálculos y satisfacer los datos requeridos en las plantillas.

El software *DesignBuilder* utiliza esta información para simular la posición global y obtener valores aproximados del comportamiento de los ángulos de entrada de la luz solar y el comportamiento térmico de la edificación a través del año. Dependiendo de la calidad y veracidad de la información los resultados de la simulación serán más cercanos a la realidad [17].

3.2.4 Etapa 4: Modelado virtual de la edificación

Una vez establecidas las condiciones climatológicas del lugar o sitio de ubicación de la estructura se creará el modelo virtual de la edificación, esta creación consta de dos (2) partes de igual importancia y que a pesar de estar relacionados directamente su realización no tendrá un orden necesario, la primera parte es la elaboración del modelo geométrico de la estructura, que consiste en la parte visual del modelo, la segunda parte será la organización de la información en plantillas establecidas por el software donde se organizará características de la estructura como la actividad en ella, los materiales utilizados para su construcción junto con sus propiedades relevantes y los detalles de iluminación.

3.2.5 Etapa 5: Pre-evaluación del cumplimiento de los requisitos mínimos LEED.

Los primeros parámetros para la evaluación y certificación de edificios sostenibles con el sello *LEED* son los pre-requisitos que enuncian una serie de obligaciones que sólo al ser aprobadas permitirá la continuación del proceso de certificación, también están los créditos que son una lista de condiciones con ponderación, que al sumarse darán el resultado total que mide en qué nivel está la edificación. Los prerrequisitos buscan establecer un mínimo de compromiso con la sostenibilidad en las diferentes categorías de *LEED*.

En el caso concreto de los créditos y prerrequisitos que pueden ser evaluados mediante el uso del software *DesignBuilder* se detallarán en esta fase; sin embargo, su análisis y posterior evaluación dependerá de etapas posteriores.

3.3 Fase 2: Calibración del modelo virtual

En esta fase tendrá lugar la adecuación del modelo al edificio; para ello, se deberá realizar medidas de la estructura real para eliminar posibles errores que se hayan llevado a cabo por parte del arquitecto durante la elaboración de la

remodelación de la estructura como tal. Además de permitir una simulación más realista, adicionalmente se establecerán los puntos o áreas críticas donde se requiera hacer un mayor énfasis en las simulaciones, posteriormente se corregirán los aspectos necesarios en el modelo geométrico de la edificación o en los datos de las plantillas.

3.3.1 Etapa 6: Definición de áreas críticas

Una primera parte de la calibración consistirá en determinar las áreas donde se requiere mayor cuidado; para ello, se debe establecer en una primera instancia las áreas donde se desea centrar la simulación, para enfocar los esfuerzos en esas áreas y de esta manera reducir el tiempo de elaboración de la metodología, cabe aclarar que hay que ser objetivo con la finalidad de la evaluación para no llegar a exagerar en detalles que no afectarán significativamente las simulaciones pero que encarecerán el proceso al alargar el tiempo destinado en la elaboración del modelo y posteriormente en la calibración del mismo.

Para establecer las zonas críticas se debe aclarar que al existir diversos factores que influyen en el comportamiento de la edificación el enfoque deberá ser desde el punto de vista de la confortabilidad térmica y visual; temas centrales en la elaboración de este proyecto.

3.3.2 Etapa 7: Medición de variables

Dado que el tipo de edificaciones a analizar son existentes, se deberá constatar el comportamiento de diferentes variables que afectan el comportamiento de la estructura. Además de corroborar la exactitud en las dimensiones de espacios internos y externos de la estructura que puedan afectar el área crítica a evaluar.

Para la obtención de las medidas del edificio es de resaltar que se deberá establecer un protocolo o un método de realización que evite la omisión de algunos detalles o la obtención repetida de algunas; así como, en algunos casos

implicará un costo el desplazamiento hasta el edificio. Por ende, este protocolo deberá establecer la forma de llevar a cabo las mediciones, y las variables a medir.

Una vez realizadas las medidas es conveniente adjuntar los equipos con los que se obtuvieron los datos con el fin de saber el nivel de incertidumbre en estos nuevos datos y de esta manera saber de antemano la fiabilidad de la información.

3.3.3 Etapa 8: Ajuste del modelo virtual

Para finalizar esta fase se corregirán los posibles cambios que se hayan originado en el proceso de construcción; así como, los aspectos de las áreas críticas que requieran una modificación.

El ajuste del modelo también contemplará posibles cambios o adición de datos climatológicos tomados posteriormente a la creación del modelo en la fase uno. Se sabe de antemano que a mayor cantidad de datos climáticos mayor precisión se tendrá de las condiciones reales donde estará ubicado el edificio.

3.4 Fase 3: Simulación y resultados

Para esta última fase posterior a la elaboración del modelo y su posterior calibración se determinará finalmente los resultados de las respectivas simulaciones realizadas por el software, estas simulaciones se dividirán en dos grupos, una primera parte hará referencia a las simulaciones sobre el comportamiento lumínico, y un segundo grupo de simulaciones se enfocará en las simulaciones sobre comportamiento térmico en el edificio.

Posteriormente, se hará una interpretación de resultados con su respectivo análisis que buscará establecer el nivel sostenibilidad de la edificación conforme a los créditos y prerrequisitos *LEED* susceptibles de ser evaluados por el software *DesignBuilder*.

3.4.1 Etapa 9: Definición de simulaciones energéticas

La visualización tiene dos propósitos, el primero es ofrecer una representación visual de modelo geométrico del edificio con el fin de hacerlo más atractivo, mediante un renderizado realista, y el segundo, es realizar visualizaciones del efecto de los elementos de sombreado en distintos instantes del año, frente a la validación de una estrategia de protección solar acorde con las necesidades del edificio.

La visualización de resultados se podrá realizar en cuatro formas diferentes, lo cual permitirá ajustarse a la de mayor facilidad de manejo. Estas opciones son por método gráfico de contornos, datos en celdas (permite la exportación de datos en formato CSV), gráfica o comportamientos de variables y finalmente en tablas.

3.4.2 Etapa 10: Simulaciones sobre comportamiento lumínico

En esta etapa se clasifica la iluminación de dos maneras: el comportamiento lumínico natural y el artificial, para ello se necesitan los tipos de luminarias utilizadas con sus catálogos (potencia y tipo de la luminaria) y el modelado 3D del edificio en *DesignBuilder*, este último es para tener el comportamiento lumínico a través de las ventanas respecto al aprovechamiento del sol como fuente de luz. En la Figura 3.2 se muestra un ejemplo de una simulación lumínica de la planta de un edificio [6].

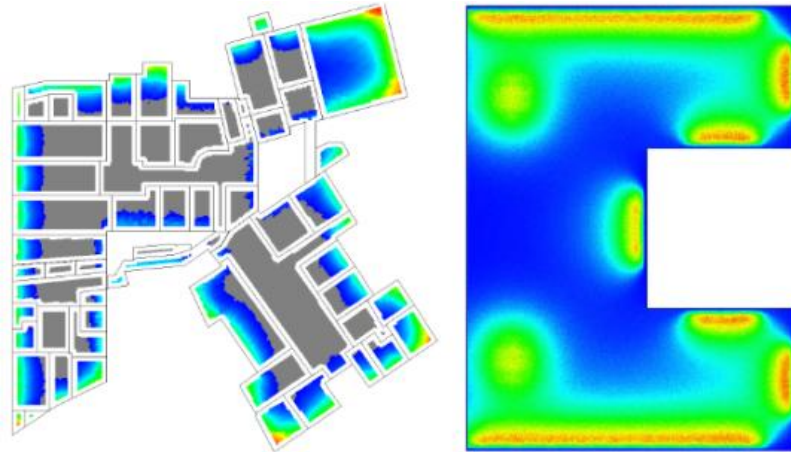


Figura 3.2. Mapas de iluminación natural [6].

Para el modelado de las instalaciones de iluminación se define la potencia por metro cuadrado y la iluminación para cada zona de la edificación con el fin de simular el comportamiento de los tipos de controles de iluminación artificial y sensores de luz natural junto con el comportamiento del área afectada [7].

En los resultados se muestran ayudas visuales como mapas de contorno y el comportamiento de variables en el plano cartesiano, los cálculos de iluminación se realizan mediante el motor *Radiance* (visualización en modo realista la iluminación natural), con la ayuda de esta última herramienta, *DesignBuilder* también genera reportes estandarizados del cumplimiento de créditos LEED como lo es NC 2.2 crédito EQ 8.1 (*Calidad Ambiental Interior CAI 8.1*).

3.4.3 Etapa 11: Simulaciones sobre comportamiento térmico

Una vez definido los cerramientos, las cubiertas vegetales, el acristalamiento, los tipos de ventana (lamas, persianas, voladizos, etc.) y los controles de climatización (aires acondicionados) se procede a hacer uso de las salidas referentes al comportamiento térmico; teniendo en cuenta que *DesignBuilder* tiene varias opciones para el análisis térmico, se organizan los resultados para sustraer la mayor parte de su información y sacar conclusiones del comportamiento de la edificación. Hay que tener en cuenta que la información es visual, gráfica y

numérica, y las conclusiones van ligadas a los conocimientos de las personas que analizarán los resultados.

La pestaña de *CFD Computational fluid dynamics* aprovecha la geometría para realizar simulaciones del flujo de aire y el calor, visualizando en las tres dimensiones su comportamiento. Esta herramienta con la ayuda del clima en la zona (formato *EnergyPlus .EPW*) muestra las direcciones del caudal de aire que entra por las aberturas y ventanas, y altera el comportamiento interno y externo del flujo de calor en las superficies [6].

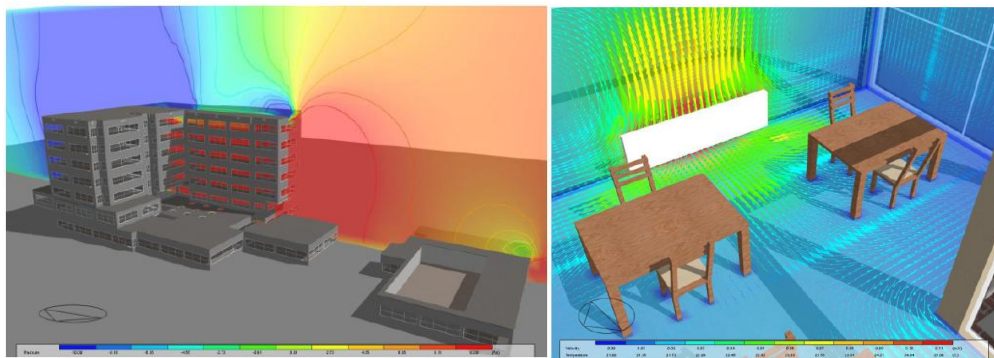


Figura 3.3. Resultados CFD extraídos de *DesignBuilder* [6]

3.4.4 Etapa 12: Análisis y resultados

Una vez evaluada la edificación se debe determinar la importancia en los datos de salida, y con base en la necesidad a evaluar se debe clasificar de acuerdo a los lineamientos propios necesarios del diseño y del diseñador.

De acuerdo a los resultados obtenidos se generan las primeras inquietudes o cambios de pueden ser necesarios a corregir. Así como un primer dato de referencia para posibles cambios de diseño que se lleven a cabo de manera posterior.

Posteriormente a los resultados obtenidos en la fase se da una interpretación a los resultados arrojados por el software *DesignBuilder* y a partir de su análisis se darán algunas sugerencias que podrían ser útiles para un mejoramiento de la

construcción. También es importante evaluar el nivel de sostenibilidad y el grado de confortabilidad según lineamientos *LEED* para edificaciones sostenibles, con el fin de obtener parámetros comparativos cuando se simule la construcción. Los lineamientos *LEED* son parámetros más serios de reconocimiento internacional en los cuales se apoyarán las simulaciones, y así saber si los cambios propuestos que mejorarán el comportamiento de la edificación y en qué nivel estarán respecto a los anteriores. Para esta fase se tendrá en cuenta el análisis de resultados y la toma de decisiones teniendo en cuenta que se tiene una mejor perspectiva del proyecto.

3.4.5 Etapa 13: Creación del *baseline*

La existencia de esta etapa yace en la necesidad de comparar el edificio a evaluar frente a un modelo de referencia llamado *baseline*, este modelo sirve para establecer una calificación en base a un edificio tipo, que comparte algunas características comunes como: ocupación, ventilación, condiciones de confort, etc. Además tendrá la misma configuración geométrica del proyecto a analizar con la variante que los sistemas de ventilación, climatización, calefacción e iluminación estarán regidas por unos valores de referencia estándar que a su vez son los requisitos mínimos de calidad establecidos en la normativa *ASHRAE 90.1* [13].

3.4.6 Etapa 14: Evaluación del cumplimiento de criterios *LEED*

Gracias a los lineamientos *LEED* se pueden tener un nivel comparativo de los resultados que se obtendrán del software *DesignBuilder*, con eso se sabrá según los costos si es necesario realizar cambios, y que tan alejados están de los objetivos propuestos. El análisis de resultados consiste en la correcta interpretación de los datos de salida del software.

En esta etapa se decide si se está de acuerdo con los resultados o se replantea algún cambio en relación con el análisis, estas decisiones se realizan a partir de

los costos y la necesidad cumplir los objetivos de la construcción. Cabe resaltar que el gasto financiero en estos proyectos es una inversión que tendrá retorno en unos años, ya que el mantenimiento y operación serán relativamente inferiores.

Es importante aclarar que el software *DesignBuilder* no nos permitirá conocer una votación final acerca de la certificación *LEED* sin embargo permite evaluar algunos créditos que son de mucha importancia para la certificación y que sin ayuda de un software de procesamiento sería una labor demasiado compleja y extensa, para ellos se establecerá en la siguiente tabla los ítems o créditos que son susceptibles a ser evaluados mediante el software.

Tabla 3.1. Créditos *LEED* que pueden ser evaluados mediante *DesignBuilder*.

Categoría	Tipo	Detalle
Energía y atmosfera	Prerrequisito	Mínima eficiencia energética
	Crédito	Optimización de la eficiencia energética
Calidad ambiental interior	Prerrequisito	Mínima eficiencia de calidad del aire interior
	Crédito	Incremento de la ventilación
	Crédito	Luz natural y vistas: luz natural

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS: CAPÍTULO 3

- [1] DATOS CLIMÁTICOS EXISTENTES EN ENERGYPLUS. Consultado: 15 Agosto de 2012. Disponible desde la web, <URL:http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm>
- [2] CFD *Computational fluid dynamics*, Consultado: 15 Agosto de 2012. Disponible desde la web, <URL:http://en.wikipedia.org/wiki/Computational_fluid_dynamics >
- [3] HVAC *Heating, Ventilating and Air Conditioning*, Consultado: 15 Agosto de 2012. Disponible desde la web, <URL:http://es.wikipedia.org/wiki/Heating,_Ventilating_and_Air_Conditioning >
- [4] *VARIABLE AIR VOLUME*, Consultado: 15 Agosto de 2012. Disponible desde la web, <URL:http://en.wikipedia.org/wiki/Variable_air_volume >
- [5] *GLAZING CALCULATED DATA*, Consultado: 15 Agosto de 2012. Disponible desde la web, <URL:http://www.designbuilder.co.uk/programhelp/glazing_calculated_data.htm>
- [6] MODULO ILUMINACIÓN NATURAL, Consultado: 15 Agosto de 2012. Disponible desde la web, <URL:<http://www.sol-arq.com/index.php/modulo-iluminacion-natural>>
- [7] *DESIGNBUILDER*. Consultado: 15 Agosto de 2012. Disponible desde la web, <URL:<http://www.designbuilder.es/pdf/DesignBuilder.pdf> >

4. Descripción locativa y energética del Edificio de Ingeniería Eléctrica

Aplicación de la Etapa I y II de la metodología.

Para el caso de este proyecto se propone analizar el Edificio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander; adicionalmente, se clasificará su nivel de sostenibilidad según los lineamientos del estándar *LEED*; para ello, será necesario establecer el cumplimiento de unos requisitos mínimos establecidos por la *USGBC* (*United State Green Building Council*); y adicionalmente, determinar los créditos y prerrequisitos que pueden ser evaluados mediante el uso del software *DesignBuilder*.

4.1 Edificio de Ingeniería Eléctrica

El Edificio de Ingeniería Eléctrica está ubicado en el campus principal de la UIS en la ciudad de Bucaramanga, exactamente en la Latitud $7^{\circ} 8' 0''$ N Longitud $73^{\circ} 8' 0''$ W ($7^{\circ} 8' 0''$ N, $73^{\circ} 8' 0''$ W). La estructura está a 960 msnm y situada en una zona de clima tropical, está en proceso de modernización y ampliación. Utilizando la herramienta *regla* del software *Google Earth* se determina que el edificio tiene un desfase de dos grados ($+2^{\circ}$) con respecto al Norte como se observa en la Figura 4.1 [1].

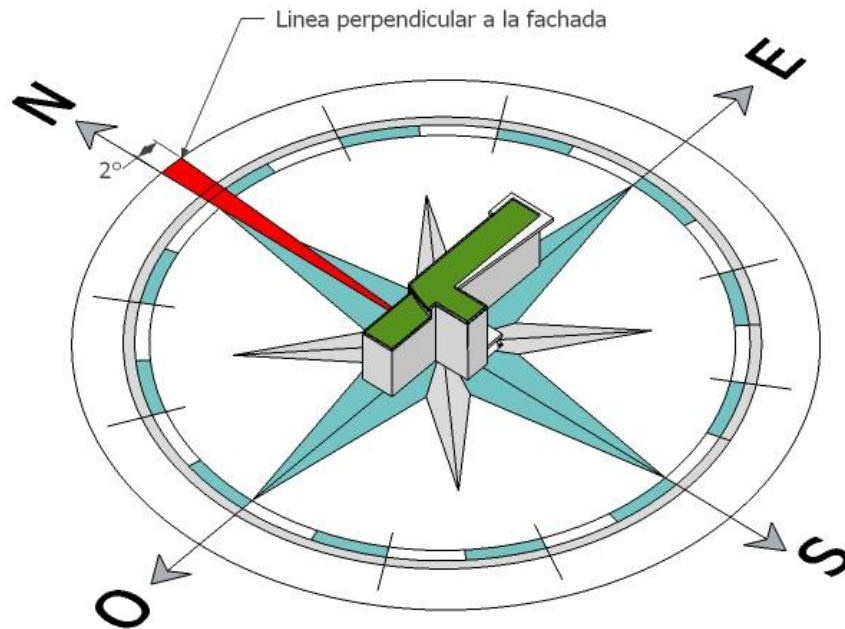


Figura 4.1. Desfase del Edificio de Ingeniería Eléctrica con respecto al Norte

Este edificio estará compuesto por cinco (5) pisos, el sótano y la terraza; se realizará una ampliación de 75 [m²] para el sótano, 94 [m²] para el primer y segundo piso, y por último 145 [m²] para el tercer piso; adicionalmente, se construirán dos pisos, cada uno con un área aproximada de 400 [m²], para obtener una nueva área de 1 756 [m²], proporcionándole un área total a la edificación de 3 254 [m²].

En las terrazas técnicas se construirán techos verdes, estos tendrán un área aproximada de 434 [m²] en la azotea y 120 [m²] en el quinto piso, para un área total de alrededor de 554 [m²]; y finalmente tendrá, en la terraza, paneles solares que cubren una superficie aproximada de 40 [m²]. La Tabla 4.1 resume las áreas de la edificación [2]:

Tabla 4.1. Área antigua y nueva del Edificio de Ingeniería Eléctrica

Piso	Área Existente Cubierta [m ²]	Área Nueva		Área Total	
		Cubierta [m ²]	Terraza Técnica [m ²]	Cubierta [m ²]	Terraza Técnica [m ²]
Sótano	169	75	0	244	0
Piso 1	455	94	0	549	0
Piso 2	460	94	0	554	0
Piso 3	414	145	0	559	0
Piso 4	0	459	0	459	0
Piso 5	0	335	120	335	120
Piso 6	0	0	434	0	434
Total	1 498	1 202	554	2 700	554
	1 498	1 756		3 254	

El Edificio de Ingeniería Eléctrica contará al finalizar su construcción; en el sótano con dos baños, área de casilleros, sala de reuniones, cafetería y servicios, puesto de trabajo, área de generador y área para un transformador; en el primer piso contará con la sala de trabajo grupal, la oficina de Centro de Estudios, una sala de trabajo individual y un salón de clase; para el segundo piso se tendrán seis salones de clase; en el siguiente piso habrán cinco salones de clase; en el piso cuatro estará ubicada la oficina de la sede estudiantil de la *IEEE* y cuatro aulas tipo auditorio; en el quinto piso habrá un área de techo verde, los captadores de luz para los tubos solares y la zona administrativa, en este piso se ubicará las coordinaciones de pregrado, proyectos, especializaciones y educación continuada, calidad y posgrados, también contará con un cuarto técnico, el área de archivo, la dirección *E3T*, tres baños, cafetería, un cuarto de aseo; y por último, habrá un área para el secretariado y asistentes; la última placa se cubrirá con techo verde, ahí también irán las unidades condensadoras de los aires acondicionados, los

receptores de luz (domos) para los tubos solares y una pequeña área con paneles solares.

Los pisos 2, 3 y 4 estarán dotados cada uno de un baño para las damas y uno para caballeros; asimismo, en estos tres pisos contarán con un área de casilleros, cuarto de control y aseo; por otra parte, la edificación tendrá un ascensor que funcionará desde el primer piso hasta el quinto para facilitar el desplazamiento de las personas con movilidad reducida.

Algunas zonas de los pisos cuarto y quinto tendrán iluminación natural por medio de tubos solares; asimismo, sólo el Sótano, el cuarto y quinto piso tendrán aires acondicionados, estos estarán ubicados en el área de puestos de trabajo [2].

4.2 Consideraciones energéticas del Edificio de Ingeniería Eléctrica

Para el caso de la modernización y ampliación del Edificio de Ingeniería Eléctrica se realizará una observación a los planos constructivos para identificar las zonas como: pasillos, escaleras, rampas, aulas, etc.; posteriormente se compararán con los planos de instalaciones de redes eléctricas, para determinar la potencia instalada destinada para iluminación, la potencia instalada por piso se encuentra resumida en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Capacidad instalada de iluminación.

POTENCIA INSTALADA EN EL EDIFICIO	
	Potencia por piso [W]
Sótano	1 788
Piso 1	3 890
Piso 2	4 282
Piso 3	4 226
Piso 4	4 738
Piso 5	3 576
Total	22 500

Para el caso de la ventilación se guiarán de algunas normas durante el proyecto de construcción del edificio de Ingeniería Eléctrica como son: la ASHRAE 2001 (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.*) y la UL Standard 181 (*Underwrites Laboratories Inc.*) [2].

En el caso de las unidades manejadoras se determinará la cantidad de unidades por piso y su referencia para saber la potencia instalada junto con algunas características técnicas de utilidad posteriormente. En la Tabla 4.3 quedan representadas las ubicaciones y referencias de las unidades manejadoras (UMA). Los pisos uno, dos y tres no se incluirán en la Tabla 4.3 debido a que no poseen UMAs.

Tabla 4.3. Unidades instaladas de ventilación en el edificio. Tomado de [2].

	UNIDADES MANEJADORAS		
	Ubicación	Referencia	Cantidad
Sótano	Puestos de trabajo	MUB036 - 3 TR	1
	Sala de reuniones	MUB036 - 3 TR	1
	Cafetería	-	-
	Zonas comunes, pasillos, baños	-	-
4 Piso	IEEE	-	-
	Aula 13	C36C2AB3 - 3 TR C36C2AB3 - 3 TR	2
	Aula 14	C36C2AB3 - 3 TR C36C2AB3 - 3 TR	2
	Aula 15	C36C2AB3 - 3 TR C36C2AB3 - 3 TR	2
	Aula 16	C36C2AB3 - 3 TR C36C2AB3 - 3 TR	2
	Zonas comunes, pasillos, baños	-	-
5 Piso	Sala de Reuniones	2 TR	1
	Cuarto de CCTV	¾ TR	1
	Dirección Escuela E3T	1 TR	1
	Zonas comunes, pasillos, baños	-	-

Partiendo de la Tabla 4.3 y junto con las especificaciones técnicas se elaborará la Tabla 4.4 con la potencia por piso. Y finalmente la potencia total instalada destinada a refrigeración. Las especificaciones técnicas de las UMA, y de las unidades condensadoras se harán en el Anexo K.

Tabla 4.4. Capacidad instalada de unidades refrigerantes.

	Potencia instalada [W]
Sótano	12 860
4 Piso	75 200
5 Piso	3 850
Total	91 910

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS: CAPÍTULO 4

- [1] Google Earth. Consultado: 15 Agosto de 2012. Disponible para su descarga en <URL: <http://www.google.es/intl/es/earth/index.html>>
- [2] Licitación del proceso de modernización del edificio de ingeniería eléctrica. Consultado: 15 Agosto de 2012. Disponible desde la web, <URL: https://www.uis.edu.co/procesos_contratacion/contratacion/detalleProceso.jsp >

5. Creación del archivo climático *EPW*

Aplicación de la Etapa III de la metodología.

Como se ha recalcado anteriormente el comportamiento climático en un lugar o sitio afecta directamente en el diseño de una construcción, de esta manera, una edificación en una localización determinada en el mundo junto con las estrategias que se aplican allí, difieren a las de otro lugar [1].

Para organizar el comportamiento climático, se ha optado por llevar un historial de datos en cada localidad en particular, para esto, lugares como Estados Unidos, Canadá y Europa, cada uno por aparte, ha elaborado un formato para organizar tales datos por fecha (año, mes, día, hora y minuto) y tener el comportamiento de variables como periodos típicos y extremos, ángulos solares, temperatura de bulbo húmedo, temperatura de bulbo seco, humedad relativa, radiación solar, iluminación, etc. [1].

El formato más completo es el basado en la forma *TMY2 (Typical Meteorological Year)* que organiza los datos en un archivo de texto separado por comas y que rellena con 9's y 0's los datos perdidos, *EnergyPlus* basado en este formato agregó algunas variables de más y elaboró el formato *EPW*. [1] Debido a que *DesignBuilder* tiene como motor de simulación *EnergyPlus*, se debe elaborar este archivo para simular el clima en el sitio o ubicación, para este caso se deberá elaborar el archivo para Bucaramanga.

Todas las construcciones están sometidas al clima que se presentan en su localidad y dependen de su posición global (latitud y longitud), para esto se necesita llevar un registro histórico de vientos, radiación proveniente del Sol, temperaturas, presiones, iluminación, condiciones de lluvia, nieve, etc.; a partir de ello, se pueden obtener los datos necesarios para realizar el formato *EPW*. Para la toma de datos es pertinente tener una fuente de calidad que brinde esta información, ya sea una institución o un equipo de medida. La fuente de datos debe ser fiable ya que se pretende simular un clima similar al real [2].

Los datos son captados por estaciones climáticas que miden todos o la mayoría de variables, estos medidores tienen ciertos niveles de incertidumbre, el formato de *EnergyPlus* tiene una casilla para ingresar la precisión de cada medidor del equipo [1].

Estos datos tienen la importancia de facilitar el entorno de las condiciones climáticas en la simulación y calcular los impactos energéticos en la edificación como lo son: la iluminación y la temperatura que crea en el sitio, de ahí se sabe, si los controles y estrategias que se consideraron son suficientes para tener un clima confortable [2].

5.1 Localidad

Para la elaboración del formato se realizará una organización por medio de líneas que corresponderán a los renglones del formato. Para el caso de este proyecto se utilizó como fuente de datos la estación climatológica de la E3T. Los datos referentes a ubicación y elevación sobre el nivel del mar se obtendrán a través de *Google Earth*, y finalmente para acabar esta línea se deberá determinar el Nro. *WMO* (*World Meteorological Organization*).

La Tabla 5.1 muestra algunos de los códigos *WMO* que tiene Colombia, estos funcionan para identificar la zona climática de cada ciudad, también se puede encontrar información importante de observaciones elaboradas por el *IDEAM*.

Para el caso de este proyecto se toma el código de Bucaramanga con número 80094 [4].

Tabla 5.1. Códigos *WMO* de Colombia.

Número <i>WMO</i>	Nombre	Número <i>WMO</i>	Nombre
80009	SANTA MARTA/SIMON BOLIVAR	80210	PEREIRA/MATECANA
80022	CARTAGENA/RAFAEL NUNEZ	80214	IBAGUE/PERALES
80028	BARRANQUILLA/ERNESTO CORTISSOZ	80222	BOGOTA/ELDORADO
80035	RIOHACHA/ALMIRANTE PADILLA	80234	VILLAVICENCIO/VANGUARDIA
80035	RIOHACHA/ALMIRANTE PADILLA	80241	LAS GAVIOTAS
80036	VALLEDUPAR/ALFONSO LOPEZ	80252	BUENAVENTURA
80063	MONTERIA/LOS GARZONES	80259	CALI/ALFONSO BONILLA ARAGON
80084	APARTADO/LOS CEDROS	80308	POPAYAN/MACHANGARA
80089	OTU	80315	NEIVA/BENITO SALAS
80094	BUCARAMANGA/PALONEGRO	80322	SAN JOSE DEL GUAVIARE
80097	CUCUTA/CAMILO DAZA	80337	TUMACO
80099	ARAUCA/SANTIAGO PEREZ	80342	PASTO/ANTONIO NARINO
80110	MEDELLIN/OLAYA HERRERA	80361	MITU
80112	RIONEGRO/J.M.CORDOVA	80372	PUERTO ASIS
80139	PUERTO CARRENO/A.GUAUQUEA	80398	LETICIA/VASQUEZ COBO
80144	QUIBDO/EL CARANO		

Finalmente, en la Tabla 5.2 se tendrá la información necesaria para elaborar la línea uno (1) del formato *EPW*.

Tabla 5.2. Datos de localidad para la estación climatológica de la E3T.

Localidad	
País	Colombia (COL)
Región/provincia	Santander
Ciudad	Bucaramanga
Fuente de datos	E3T
Nro. <i>WMO</i>	80094
Latitud [°]	7,13
Longitud [°]	-73,13
Zona horaria	-5
Elevación (msnm)	960

Sin embargo, el formato *EPW* el cual se detalla en el anexo determina la organización correcta de los datos presentes en la Tabla 5.2. Para el caso presente la línea uno quedará organizada de la siguiente forma.

LOCATION,BUCARAMANGA,SANTANDER,COL,E3T,800940,7.13,-73.13,-5,960

5.2 Condiciones de diseño

Para la línea 2 los resultados son extraídos de la Norma *2009/2005 ASHRAE Fundamentals* [3], cuando no se encuentran estos datos o no es posible obtener resultados confiables, la línea se dejará con un cero (0) en el caso de Bucaramanga al no encontrarse los datos en el *ASHRAE 2005/2009 Handbook Fundamentals* se recomienda dejar la línea como se describe a continuación:

DESIGN CONDITIONS,0

5.3 Periodos de temperaturas extremas

Para el caso de la línea 3 se deberá organizar los periodos o estaciones locales, para climas templados y tropicales como en las zonas ecuatoriales de la tierra, hay periodos de sequía y lluvia, estos periodos varían por factores como el fenómeno de la niña y el del niño para situaciones extremas. El fenómeno de la niña se caracteriza en Colombia por periodos de lluvias prolongadas y el niño por veranos y temperaturas elevadas. Por lo general en Bucaramanga se presentan temperaturas estables como lo muestra la Tabla 5.3 y Figura 5.1 [Datos extraídos de la *Vantage Pro2 – Davis* tomados en el edificio de Eléctrica].

Tabla 5.3. Datos de la estación meteorológica *VANTAGE PRO 2* Ubicada en la E3T.

Meses	Temperatura Externa [°C]	Máximas Temperaturas [°C]	Mínimas temperaturas [°C]
Enero	23,11	23,16	23,05

Febrero	23,08	23,17	23,05
Marzo	22,63	23,17	23,05
Abril	23,21	23,17	23,05
Mayo	23,24	23,17	23,06
Junio	23,40	23,18	23,06
Julio	22,78	23,18	23,06
Agosto	23,54	23,18	23,06
Septiembre	22,64	23,18	23,07
Octubre	22,78	23,19	23,07
Noviembre	22,17	23,19	23,07
Diciembre	22,05	23,19	23,08

Promedio total [°C]	22,89	23,18	23,06
Mínima temperatura Registrada [°C]			18,10
Máxima Temperatura Registrada [°C]			31,90

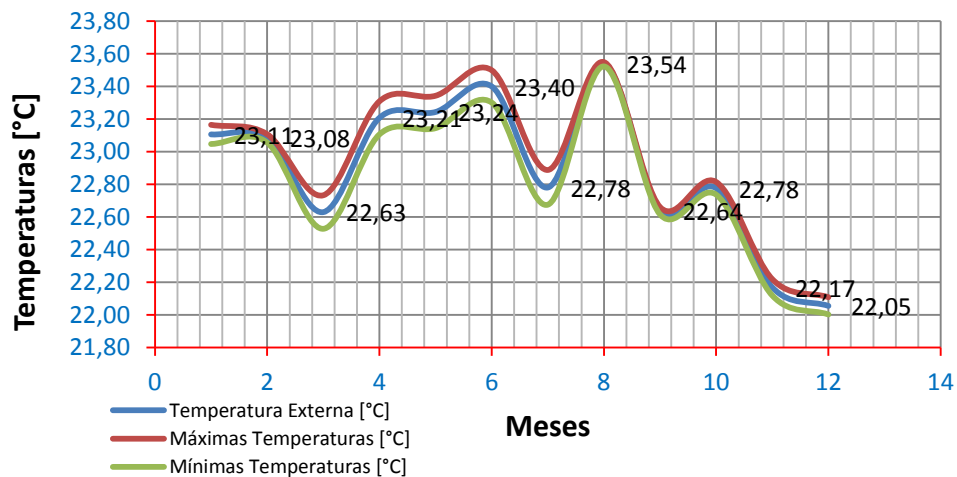


Figura 5.1. Temperaturas promedio mensuales extraídas de la unidad meteorológica VANTAGE PRO 2 Ubicada en la E3T.

Para tener unos resultados confiables se consultará la entidad encargada de hacer las predicciones climatológicas en Colombia. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (*IDEAM*), para los años anteriores se ha resaltado lluvias para los meses de Agosto a Septiembre y verano o sequia para el mes de Julio. La Figura 5.2 muestra unas de las predicciones elaboradas por el *IDEAM* [5].

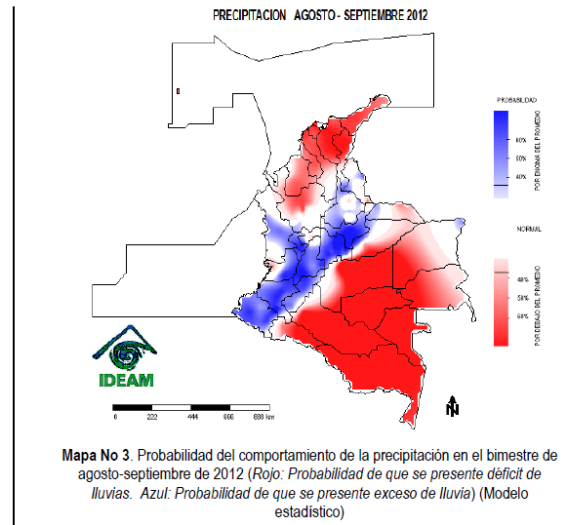
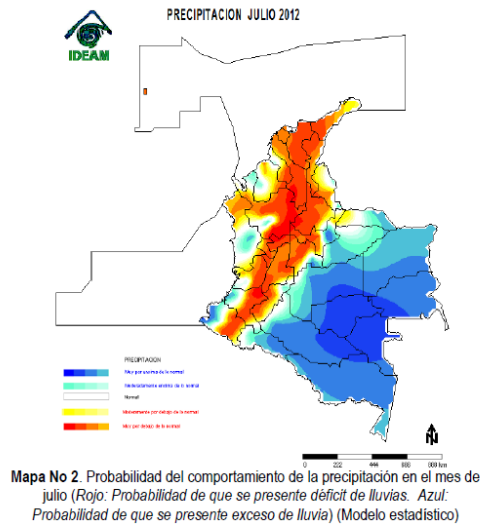


Figura 5.2. Pronósticos para el año 2012 basados en comportamientos históricos [5].

De acuerdo a la Figura 5.2 se tendrá un periodo de temperaturas elevadas en el mes de Julio y un periodo de temperaturas bajas para el mes de agosto, organizando de acuerdo al formato se tendría finalmente la siguiente línea.

TYPICAL/EXTREME PERIODS,2,Summer –Periodo de temperaturas elevadas,Typical,7/1,7/31,Winter – Periodos de temperaturas bajas,Typical,8/1,8/30

5.4 Temperatura del suelo

En el caso de la línea 4, la guía de ayuda de *EnergyPlus* para el formato *EPW* recomienda utilizar una temperatura para el suelo 2°C por debajo de la temperatura de la construcción, para esto tenemos los datos de temperatura interna de la antigua edificación y se aplicarán para obtener esta condición. Con base en la Tabla 5.3 y junto con los datos de temperatura interna de la antigua edificación se realiza la Figura 5.3 y la Tabla 5.4 [1].

Tabla 5.4. Temperaturas promedio mensuales del suelo de la edificación de eléctrica a 1[m] de profundidad.

Meses	Temperatura del terreno			
	Externa			Interna
	Temperatura Típica [°C]	Máximas Temperaturas [°C]	Mínimas Temperaturas [°C]	Temperatura [°C] Interna
Enero	21,11	21,16	21,05	22,85
Febrero	21,08	21,11	21,06	23,03
Marzo	20,63	20,73	20,53	22,26
Abril	21,21	21,31	21,11	22,63
Mayo	21,24	21,34	21,14	22,76
Junio	21,40	21,50	21,30	22,63
Julio	20,78	20,89	20,68	21,97
Agosto	21,54	21,55	21,52	22,95
Septiembre	20,64	20,66	20,62	22,00
Octubre	20,78	20,81	20,74	22,09
Noviembre	20,17	20,22	20,12	21,66
Diciembre	20,05	20,11	20,00	21,77
Promedio total [°C]	20,89	20,95	20,82	22,38

La Figura 5.3 resume el comportamiento anual de las temperaturas del suelo a 1 [m] de profundidad.

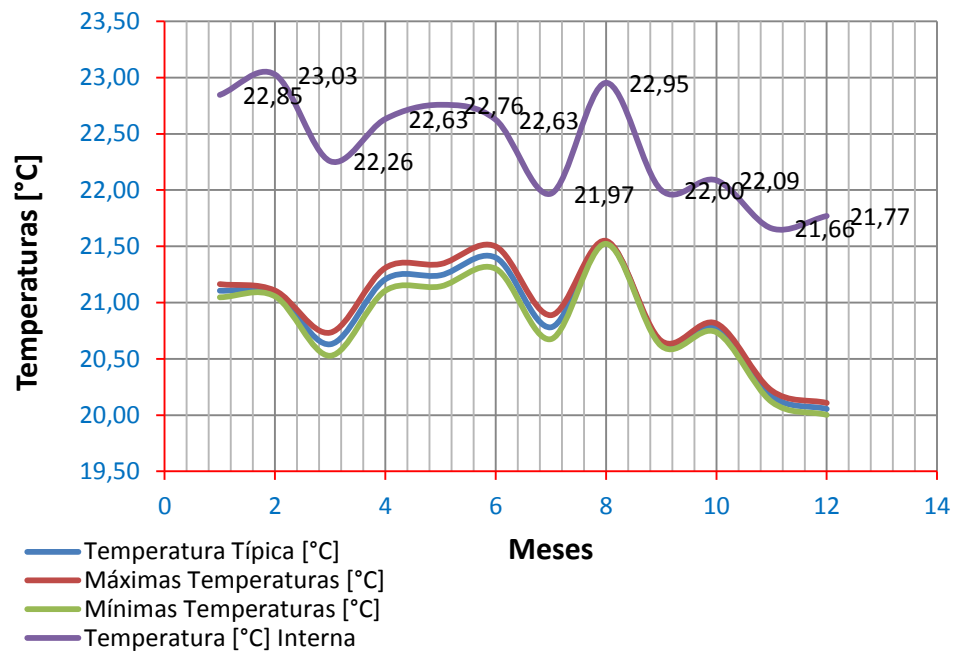


Figura 5.3. Comportamiento de temperaturas de la capa de suelo a 1 [m] de profundidad.

Tomando las temperaturas internas del Edificio de Ingeniería Eléctrica y con el documento de ayuda de *EnergyPlus* la línea 4 se describe de la siguiente forma [1].

GROUND TEMPERATURES,1,1,,,,,22.85,23.03,22.26,22.63,21.97,22.95,22,22.09,21.66,21.77

5.5 Días festivos

La Tabla 5.5 muestra los días festivos de Colombia. Para la línea 5 el horario de verano e invierno será 0, ya que Colombia no opta regularmente los cambios de horario [6], el número de días festivos será 18 y se describen en formato nombre y fecha [7].

Tabla 5.5. Días festivos de Colombia [7].

	Nombre	M/D
1	Año nuevo	01/01
2	Reyes magos	01/07
3	Jueves santo	03/20
4	Viernes santo	03/21
5	Día de San José	03/24
6	Día de San José	03/01
7	Ascensión de Jesús	05/05
8	Corpus Christi	05/26
9	Sagrado Corazón	06/02
10	San Pedro y San Pablo	06/30
11	Grito de la independencia	07/20
12	Batalla de Boyacá	08/07
13	Asunción de la Virgen	08/18
14	Día de la raza	10/13
15	Todos los santos	11/03
16	Independencia de Cartagena	11/17
17	Inmaculada concepción	12/08
18	Navidad	12/25

Con la información anteriormente mencionada se completa la línea 5 de la siguiente forma.

HOLIDAYS/DAYLIGHT SAVINGS,No,0,0,18,Año nuevo,01/01,Reyes magos,01/07,Jueves santo,03/20,Viernes santo,03/21,Día de San José,03/24,Día de San José,03/01,Ascensión de

Jesús,05/05,Corpus Christi,05/26,Sagrado Corazón,06/02,San Pedro y San Pablo,06/30,Grito de la independencia,07/20,Batalla de Boyacá,08/07,Asunción de la Virgen,08/18,Día de la raza,10/13,Todos los santos,11/03,Independencia de Cartagena,11/17,Inmaculada concepción,12/08,Navidad,12/25

5.6 Periodos de datos

Los datos de la estación VANTAGE PRO 2 – DAVIS fueron capturados en varios periodos: uno se tomó cada minuto, otro cada 5 minutos y también se tomaron cada 10 minutos; esto quiere decir que hubo periodos de 60 datos por hora, 12 datos por hora y 6 datos por hora, respectivamente.

La Tabla 5.6 muestra las fecha de inicio y fin de los periodos junto con la cantidad de registros por hora.

Tabla 5.6. Datos para las casillas de la línea 8 del formato EPW.

Periodo	Intervalo de tiempo en minutos	Número de datos por hora	Nombre de los datos	Día de la fecha de inicio	Fecha de inicio	Fecha final
1	1	60	Data1	Monday	ago-30	sep-14
2	5	12	Data2	Tuesday	sep-14	10-abr
3	1	60	Data3	Monday	10-abr	10-jul
4	5	12	Data4	Thursday	10-jul	dic-17
5	30	2	Data5	Friday	dic-17	dic-19
6	5	12	Data6	Friday	ene-14	ene-17
7	1	60	Data7	Friday	ene-28	ene-28
8	10	6	Data8	Saturday	ene-29	ene-31
9	1	60	Data9	Tuesday	02-ene	02-feb
10	5	12	Data10	Wednesday	02-feb	02-feb
11	1	60	Data11	Saturday	02-may	feb-15

De acuerdo a la Tabla 5.6 la línea 8 se describe de la siguiente forma.

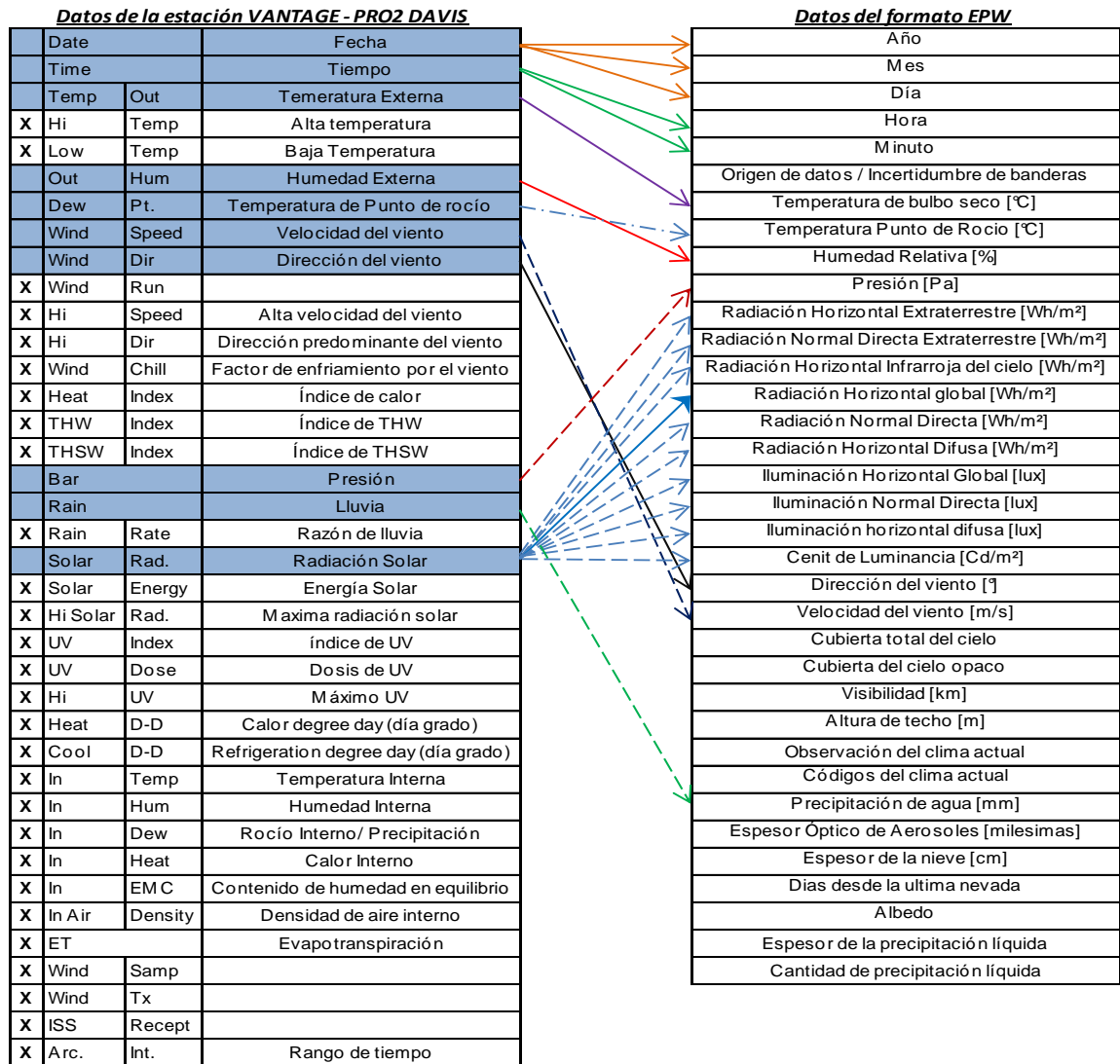
DATA PERIODS,

11,60,Data1,Monday,8/30,9/14,12,Data2,Tuesday,9/14,10/4,60,Data3,Monday,10/4,10/7,12,Data4,Thursday,10/7,12/17,2,Data5,Friday,12/17,12/19,12,Data6,Friday,1/14,1/17,60,Data7,Friday,1/28,1/28,6,Data8,Saturday,1/29,1/31,60,Data9,Tuesday,2/1,2/2,12,Data10,Wednesday,2/2,2/2,60,Data11,Saturday,2/5,2/15

5.7 Datos climáticos

Finalmente, la línea 9 tendrá los datos climáticos de Bucaramanga; para ello, se elabora una tabla que compara los datos medidos de la estación con los datos pedidos en el formato de *EnergyPlus Weather* (Ver Tabla 5.7). Los datos pedidos para la siguiente línea se presentan en columnas de valores ya que estos son tomados minuto a minuto y pueden llegar al orden de miles, estos valores son históricos para hacer predicciones y en este caso en particular afectan el diseño de la edificación [2].

Tabla 5.7. Comparación de los datos medidos por la estación meteorológica con los datos del formato .EPW.



Los datos de la estación para el formato se clasificarán en: datos directos y datos indirectos como se detallan en el Anexo E. Se debe tener en cuenta, que para esta transición de datos, las unidades deben ser las mismas, de lo contrario será necesario convertirlas. Para simplificar la elaboración del formato se procede a organizarlo en una hoja *MS Excel* debido a su facilidad para exportar e importar los datos de texto en la hoja de cálculo y se pueden observar de forma organizada.

Con el fin de facilitar todo el proceso anteriormente descrito para elaborar un formato *EPW*, se creará un software aplicable desde un archivo en *MS Excel*. Este

programa llamado *GenEPW* servirá para simplificar la interacción entre el usuario y el formato. A continuación se describirá la respectiva explicación de dicho software con la finalidad de facilitar su utilización en futuros proyectos.

GenEPW V2.5

GenEPW es un software creado como complemento a este proyecto de grado, programado en *Microsoft Visual Basic 7* que permite crear archivos con la extensión *EPW*, a partir de los datos obtenidos en una estación meteorológica como la *Vantage Pro 2*, que es la estación utilizada para hacer las mediciones climáticas en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Para utilizar el archivo *GenEPW* se deberá organizar los datos por columnas sin importar la cantidad de datos. Solamente limitados por la cantidad de filas que tenga *MS Excel*.

Una vez se han organizado los datos en las celdas respectivas, se deberá dar clic en el botón *menú* ubicado dentro de la hoja de cálculo, en la parte superior izquierda (ver Figura 5.4). Esta parte de la pantalla está bloqueada con la finalidad de tener siempre visibles los títulos de cada columna y el botón anteriormente mencionado.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		Menú								
3										
4		Hora		Temperatura	Temperatura	Temperatura	Humedad	Punto de	Velocidad	Dirección
5	Fecha			Externa	Maxima	Minima	Externa	Rocio	Viento	Del Viento
6	Dia/mes/Año	Hora	Minuto	°C	°C	°C	%	°C	m/s	N-S-E-W
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										

Figura 5.4. Ubicación del botón *Menú*.

Los títulos de cada columna están resaltados y especifican el formato y las unidades de cada variable. En la ventana que aparecerá al dar clic en *menú* se tendrá una serie de botones ubicados en el orden correspondiente a cómo se deberá realizar el proceso de exportación (ver Figura 5.5).



Figura 5.5. Menú del programa GenEPW V2.5.

En primer lugar aparecerá la opción *Verificar datos* que permite detectar posibles fallas en las tablas que pueden generar errores más adelante en los cálculos. Para este caso aparecerá una ventana nueva donde se especifica la ubicación de cada uno de los datos incongruentes y la validez de este tipo de datos para el formato del software.

Como segunda opción se tendrá dos alternativas, la primera es *cargar los datos* referentes a Bucaramanga, para este caso basta con dar clic en el botón y el automáticamente los subirá al software, posteriormente se deberá ir a *Calcular Datos*. La segunda alternativa contempla lugares diferentes, para estas ubicaciones se deberá especificar los datos de los 3 botones encontrados en la región de *Datos de Origen*. Para el caso de *Datos de Ubicación* se deberá

especificar información como la Latitud, longitud, ciudad, departamento, país, Nro. WMO, elevación, Zona GMT, entre otros.

El segundo botón llamado *datos de ubicación* crea una ventana nueva, donde se debe especificar la cantidad de datos y posteriormente ingresarlos en una nueva ventana. Para la opción de días festivos se requiere el nombre, el día y mes de cada festividad.

El siguiente botón, *periodos climáticos*, permitirá establecer la fecha de inicio y finalización del verano y del invierno, datos necesarios para la línea 3 del archivo EPW.

Finalmente, se deberá hacer clic en el botón *calcular datos*. Este proceso demora alrededor de 5 minutos, en este punto el software calculará los datos necesarios para el formato, y los organizará.

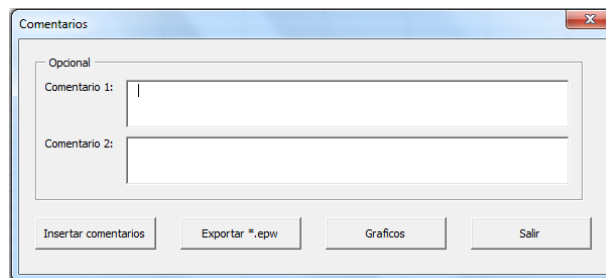


Figura 5.6. Ventana comentario, software GenEPW V2.5.

Una vez que los datos han sido calculados, aparecerá una ventana (Figura 5.6) donde es posible anexar comentarios referentes a los datos climáticos (opcional). También es posible en el botón de *gráficos* obtener una gráfica de la dirección del viento (ver Figura 5.7), otra de las radiaciones promedio mensuales, globales, difusas y directas, y finalmente, una gráfica con las temperaturas de tierra calculadas.



Figura 5.7. Dirección del viento generado por el software GenEPW.

Por último, está la opción *Exportar *.EPW* que al hacer clic sobre ella remitirá a la ventana *guardar como* de Excel pero con algunas modificaciones, en la Figura 5.8 se muestra la ventana de exportación.

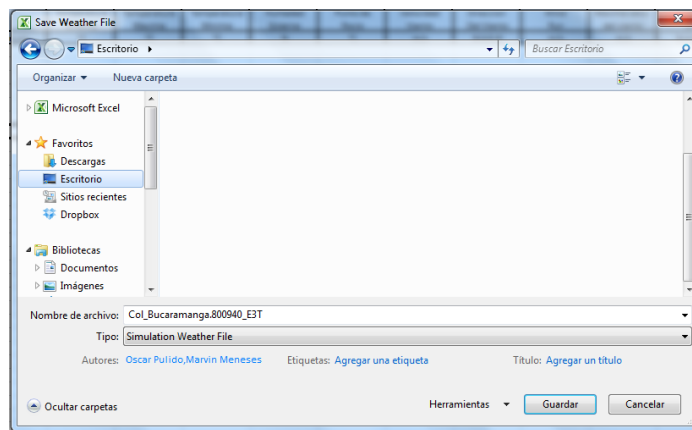


Figura 5.8. Ventana para exportar el archivo, software GenEPW.

La primera modificación es en el tipo de archivo que aparecerá como "Simulation Weather File" y la segunda corresponderá al nombre del archivo que por defecto aparecerá de la forma como se encuentran los archivos en EnergyPlus; que corresponderá a las siglas del país, la ciudad, el número WMO, y finalmente la fuente de los datos.

Es importante aclarar que el software no alertará sobre la existencia de archivos con el mismo nombre, de esta forma el sobrescribirá archivos existentes dependiendo del nombre de archivo especificado.

Limitaciones del Software GenEPW v2.5:

La cantidad de datos dependerá de la capacidad de *MS Excel* para procesarlos estará directamente relacionados con la cantidad de celdas disponible en *MS Excel 2010*, las fórmulas están adaptadas a las variables y unidades utilizadas en la estación meteorológica *Vantage Pro 2 – Davis* (ver Anexo E).

Diagrama de flujo del programa GenEPW

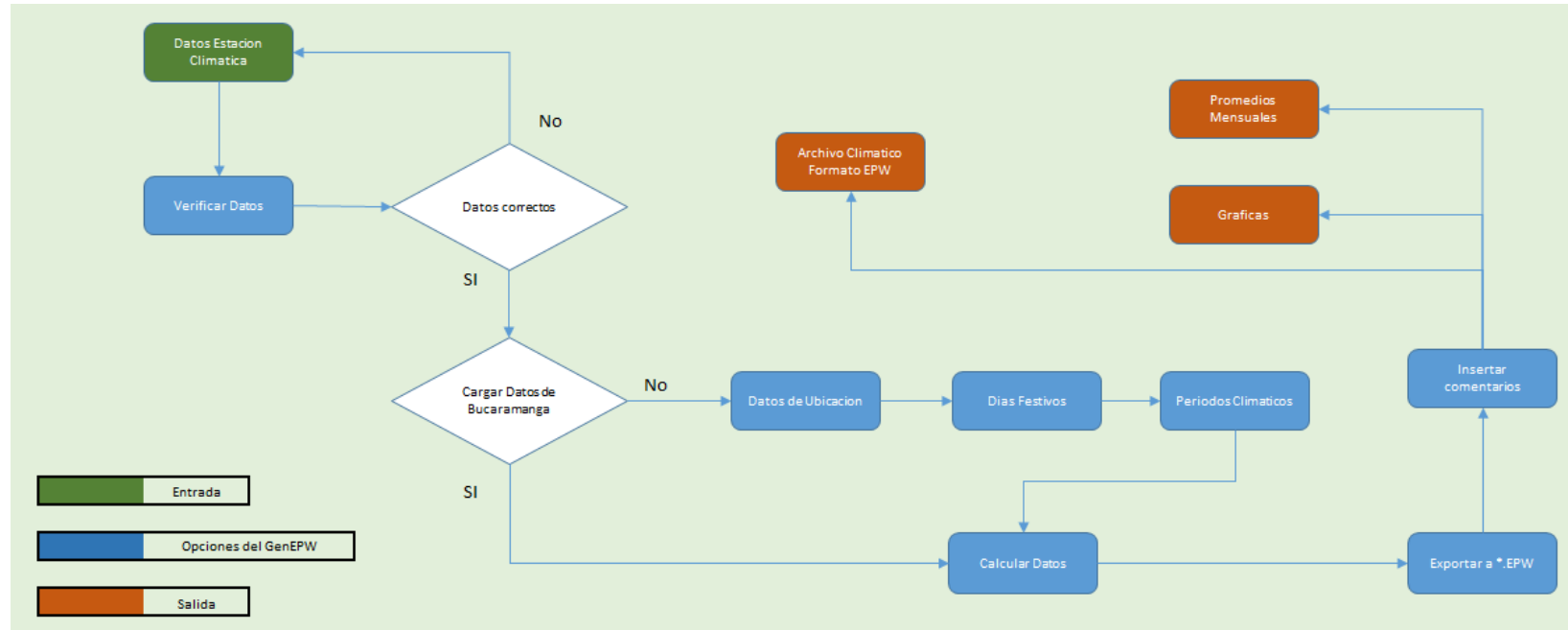


Figura 5.9. Diagrama de flujo del programa GenEPW.

En la Figura 5.9 se muestra el diagrama de flujo que se utilizó para programar el software GenEPW, el bloque verde indica los datos climáticos de entrada sacados de la estación meteorológica, los bloques azules indican las variables internas para calcular y generar el archivo, y por último el marrón que indica los datos de salida, siendo estos las gráficas de algunas variables (promedios mensuales) y el archivo en la extensión *.epw.

Diagrama de variables para el GenEPW

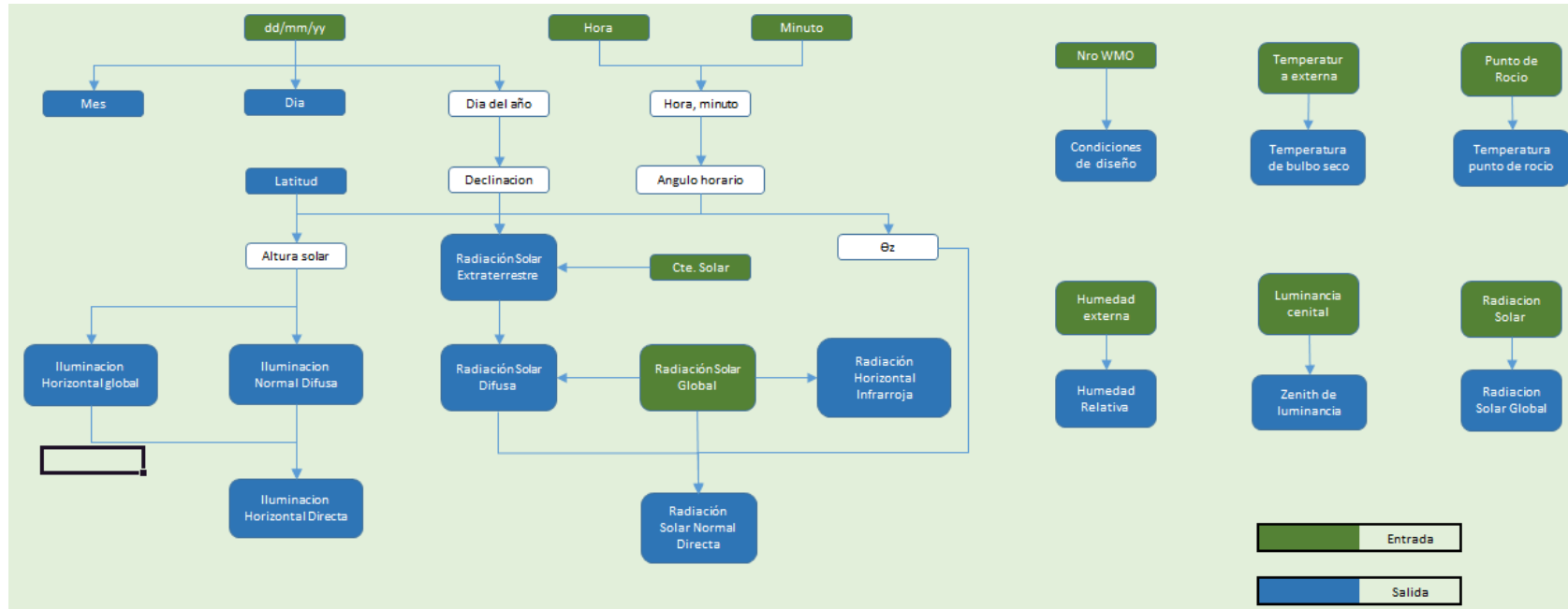


Figura 5.10. Diagrama de variables del programa GenEPW.

En la Figura 5.10 se muestran el manejo de las variables para calcular las líneas y columnas correspondientes al formato de *EnergyPlus Weather*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS: CAPÍTULO 5

- [1] Guía de Ayuda de *EnergyPlus*, *Auxiliary EnergyPlus Programs*. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/auxiliaryprograms.pdf>>
- [2] *SIMULACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS*, Autor: Héctor Eduardo Huerta Garza. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://es.scribd.com/doc/80418854/27/Alimentacion-de-datos-del-clima>>
- [3] *2009 ASHRAE Handbook fundamentals, STATIONS and SI*, Capítulo 14 y 802220_s.pdf. Algunas estaciones del *2005 ASHRAE Handbook fundamentals*. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible desde la web, <URL: <http://millerengr.com/download/Code/ASHRAE/STATIONS/>>
- [4] Códigos de la *WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION* para la región 3, *Final Report*. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible desde la Web, <URL: <http://www.wmo.int/pages/prog/www/reports/Ra3freport.pdf>>
- [5] IDEAM, *Boletín informativo sobre el monitoreo de los Fenómenos de variabilidad climática "El Niño" y "La Niña"* (18 de Julio de 2012). Pág. 3 / Capítulo 4 / Mapa No 2 y 3. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible desde la web, <URL: http://www.pronosticosyalertas.gov.co/descargas?com=pya&name=pubFile10136&downloadname=IFN_12_JULIO_2012.pdf>
- [6] Wikipedia, La Enciclopedia Libre, *Horarios de verano en el mundo*. Consultado: Agosto 2 de 2012, Disponible desde la web, <URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Horario_de_verano_en_el_mundo>
- [7] Días festivos de Colombia. Consultado: Agosto 3 de 2012. Disponible desde la web, <URL: <http://www.cuandoenelmundo.com/calendario/colombia/2012/>>

6. Modelado geométrico del Edificio de Ingeniería Eléctrica

Aplicación de la Etapa IV de la metodología.

Para la creación del modelo virtual de la edificación se elaborará una guía que permitirá junto con el Anexo H (Guía de modelado de *DesignBuilder*) la explicación de funciones del Software para construir modelos para la realización de simulaciones acordes con la realidad.

Las características climáticas del sitio. Se tomaron del archivo “Col_Bucaramanga.800940_E3T.epw” creado de acuerdo a los datos recopilados por la estación climática ubicada en la antigua estructura del Edificio de Ingeniería Eléctrica, su elaboración se explica en la Etapa 4 de la Fase 1.

Para comenzar con el diseño del modelo es necesario abrir *DesignBuilder* para el caso presente se trabajó con la versión 2.4.2.026 (Versión registrada de la E3T).

6.1 Inserción de un plano CAD

Una vez creado un nuevo archivo de trabajo, aparecerá una ventana donde se deberá especificar algunos datos referentes al proyecto, como lo son, el título, lugar (archivo de extensión *.epw) y tipo de análisis. Para el caso concreto del Edificio de Ingeniería Eléctrica, se eligió *EnergyPlus* debido a su potencial de

análisis y un mayor grado de precisión en comparación a *DBsim* que proporciona análisis más superficiales [1].

Una vez establecidos las características del sitio aparecerá una plantilla en blanco, que permitirá la inserción de planos 2D y 3D. Para el caso del 3D sólo es soportado el formato gbXML del cual se detallará el proceso en el Anexo A, mientras que para la opción 2D se deberá elegir la opción **archivo** en la barra de menú y posteriormente en **importar** se seleccionará **importar archivo de dibujo en 2-D**. a continuación aparecerá una ventana (Figura 6.1) que sirve para la elección del tipo de archivo en el cual se encuentran los planos. *DesignBuilder* soporta archivos DFX, JPG, PDF, BMP, PNG, GIF y TIFF. Además permitirá establecer las unidades métricas que maneja este plano y la altura sobre el terreno a la cual queremos ubicarlo.

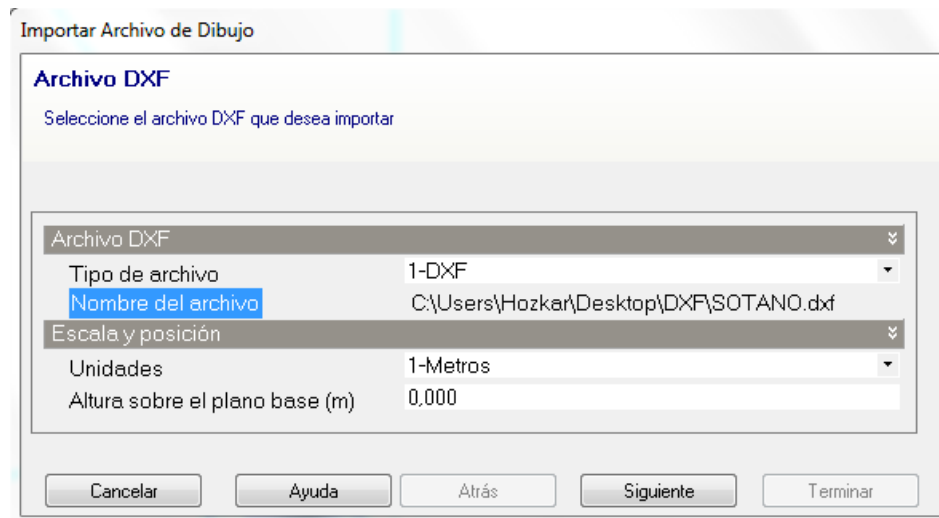


Figura 6.1. Importar un archivo DFX.

Se elegirán los archivos en formato *DFX* debido a que es un archivo de fácil elaboración si se tienen los planos en formato *DWG*. Si el archivo de los planos fue elaborado por capas, a continuación aparecerá una ventana donde se debe especificar las capas que se desean ver en la plantilla de *DesignBuilder*.

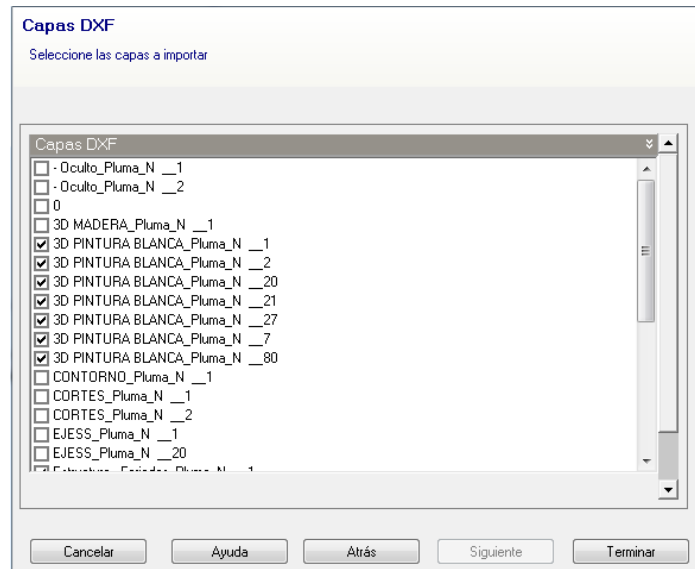


Figura 6.2. Selección de capas a importar en *DesignBuilder*.

Una vez elegidas las capas que se desean (ver Figura 6.2) se dará clic en terminar y el plano aparecerá en la plantilla de dibujo (ver Figura 6.3). Esta inserción reducirá el tiempo de elaboración del edificio por lo cual resulta de mucha utilidad. Permitirá omitir la toma de medidas de la estructura real.

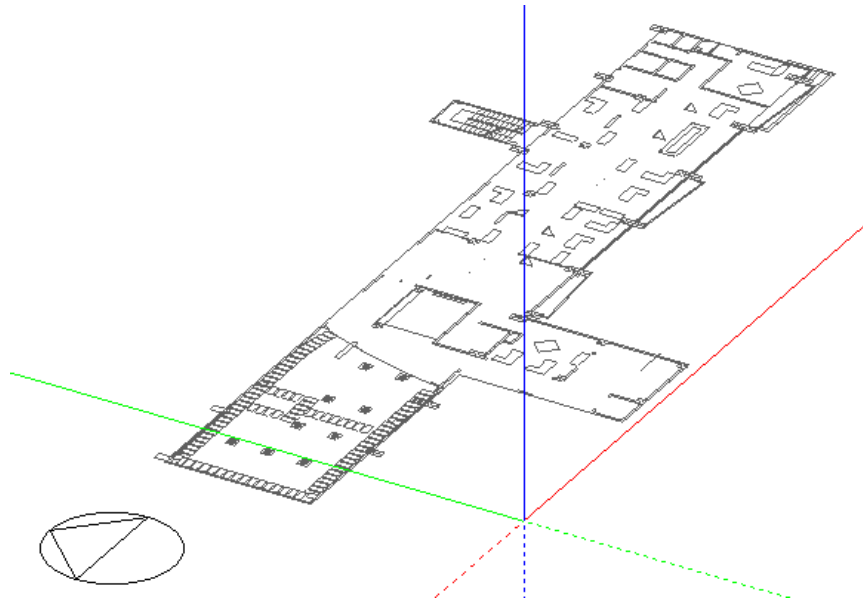


Figura 6.3. Plano CAD importado en *DesignBuilder*.

6.2 Creación de la estructura por medio de bloques

Una vez establecido el plano o en su defecto tener las medidas referentes a la geometría del edificio, se deberá hacer clic en **añadir un nuevo edificio** con el fin de establecer algunos datos de la estructura (ver Figura 6.4). Para el tipo de edificio se tienen tres opciones.

Dibujar edificio + información estándar, se recomienda para propósitos generales.

Zona única + información simplificada, para desarrollar análisis preliminares, en etapas más iniciales de diseño, de componentes constructivos y fachadas.

Edificio paramétrico + información estándar, proporciona formas estándares predefinidas (rectangular o en forma de “L”) al seleccionar esta opción se abre una nueva sección, en la cual es posible establecer las dimensiones generales del nuevo edificio, el número de pisos y si este tiene cubiertas inclinadas.

Nuevo edificio Datos	
Edificio Datos predeterminados	
Tipo de modelo	▼
Tipo	Draw building + standard data
Detalles del Proyecto ▼	
Sector	B1 Offices and Workshop businesses
Nombre del proyecto	Edificio 1
Dirección	
Ciudad	
Código Postal / Zip	
Detalles del Asesor ▼	
Nombre	
Teléfono	
Dirección	
Ciudad	
Código Postal / Zip	
Detalles del Propietario ▼	
Nombre	
Teléfono	
Dirección	
Ciudad	
Código Postal / Zip	

Figura 6.4. Parámetros para una nueva edificación en *DesignBuilder*.

Para el caso concreto del Edificio de Ingeniería Eléctrica se escogerá la primera opción que es la misma que viene por defecto, esta es la única que permite crear el modelo geométrico en 3D, lo que la segunda opción no brinda. La tercera

opción se descartará debido a que el edificio no posee una geometría cúbica o en “L”.

6.3 Creación bloques

Los bloques constituyen los elementos básicos para el modelado de estructuras en *DesignBuilder*. Existen tres tipos de bloques:

Bloques de edificio este tipo de bloque permite una visualización realista de la edificación al generar automáticamente muros exteriores, suelos, entrepisos y/o techos como se describe en la Figura 6.5.

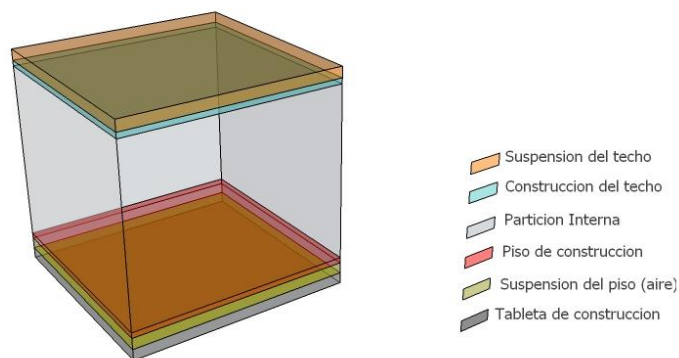


Figura 6.5. Componentes de un bloque de edificio – DesignBuilder.

Bloques de contorno son bloques solidos que pueden ser manipulados fácilmente, se recomienda la elaboración de partes de geometría complicada en este tipo de bloques. Tiene la facilidad de permitir su conversión en cualquiera de los otros dos tipos de bloques, sin embargo sobre este tipo de bloque el software no realiza cálculos ni simulaciones.

Bloques de componente Este bloque tiene tres (3) opciones basados en su adyacencia. Estas tres formas son: adiabático, terreno, y finalmente la estándar que pueden ser empleada para la elaboración de accesorios arquitectónicos, como balcones, salientes, bardas, e incluso elementos cercanos a la construcción

que puedan generar sombras sobre la edificación. Adicionalmente el *Bloque de Componente* restringe la cantidad de capas de materiales a uno, limitando su uso a detalles arquitectónicos.

Los tipos de bloques pueden ser diferenciados de acuerdo a su color de esta forma. El bloque de edificio tiene un color gris, el bloque de contorno un color aguamarina, el bloque componente estándar un color morado, el bloque componente terreno un tono verde y finalmente el bloque componente adiabático posee un color marrón (ver Figura 6.6).

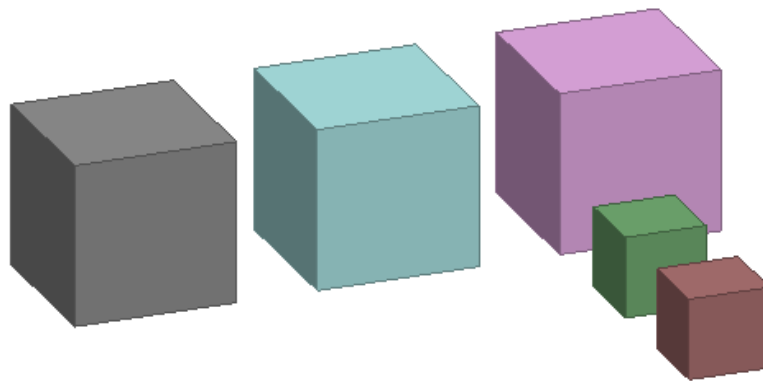


Figura 6.6. Colores de los diferentes tipos de bloques en *DesignBuilder*.

Para la creación basta con hacer clic en la **barra de menú**, en la opción ***añadir nuevo bloque***, a continuación aparecerá una ventana con diferentes herramientas para realizar el dibujo.

El tipo de bloque se dejará en el predeterminado ***bloque de edificio*** (Ver Figura 6.6) para crear el contorno de la estructura. En las opciones de ***forma*** se dejará ***extruido*** que realiza la altura del piso automáticamente. Para este caso se tomarán las medidas de acuerdo a los planos CAD suministrados por la escuela. Siendo tres (3) metros para el sótano, parte del primer piso, segundo y tercer piso. Para el cuarto y quinto la altura aumenta a tres punto cuatro (3,4) metros. Para la

parte de la entrada será de tres punto nueve (3,9) metros. El grosor de los muros será de veinte (20) centímetros.

La **forma** del **perímetro** se dejará en **polígono** debido a que la geometría del edificio no es convencional (rectangular o circular). Y el **tipo de línea** será **línea recta**, ya que todas las fachadas de este piso son planas (ver Figura 6.7).

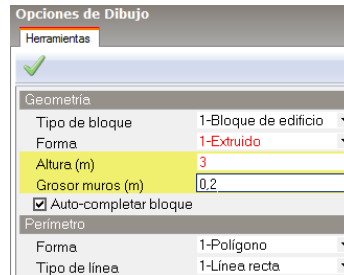


Figura 6.7. Opciones de dibujo – Creación de un bloque.

Una vez establecida las características de la línea para realizar el dibujo se procederá a dibujar el contorno con ayuda del plano 2-D del sótano. El puntero automáticamente se marcará cuando se pasa sobre una esquina del plano para facilidad del trazado.

Nota: Si no converge el puntero en el plano 2-D se deberá en **opciones de dibujo**, en la pestaña **Coacción de punto**, marcar la opción **Coacción DXF**. Una vez terminado de dibujar el perímetro el bloque se creará automáticamente de acuerdo a la forma del polígono dibujada (ver Figura 6.8).

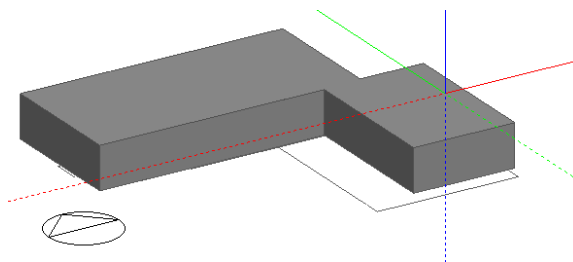


Figura 6.8. Sótano del edificio de Ingeniería Eléctrica – DesignBuilder.

Para la elaboración del piso correspondiente a la entrada se deberá importar el plano 2-D referente a ese piso como el mostrado en la Figura 6.9, teniendo en cuenta la altura a la cual se ubicará, para el caso de la entrada se pondrá a una altura de dos punto uno (2,1) metros sobre el piso del sótano.

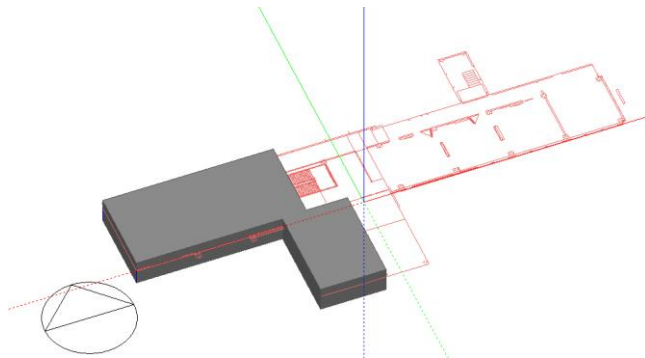


Figura 6.9. Importación del plano de la entrada del edificio de Ingeniería Eléctrica – *DesignBuilder*.

Al igual que en el sótano se dibujará el contorno de este bloque modificando la altura del bloque por cuatro punto un metros (4,1) como se muestra en la Figura 6.10. Manteniendo presionado el **scroll** del **mouse** se puede girar la estructura para facilitar la elaboración del dibujo en los puntos donde es de difícil visibilidad.

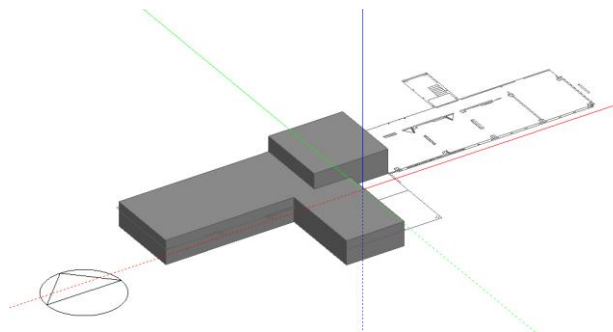


Figura 6.10. Bloque de edificio de la entrada del edificio.

Nuevamente se importará el plano del primer piso o con ayudas de líneas auxiliares se puede subir la altura del plano ya importado, ajustándolo a una altura de tres (3) metros teniendo en cuenta que el suelo del sótano es la referencia. Se dibujará el exterior de la estructura. Para el caso del piso ubicado sobre el sótano

se utilizara la herramienta **clonar objeto seleccionado** para copiar el sótano y crear la parte perteneciente al centro de estudios grupal (ver Figura 6.11). Y de esta forma terminar el bosquejo del primer piso y del sótano.

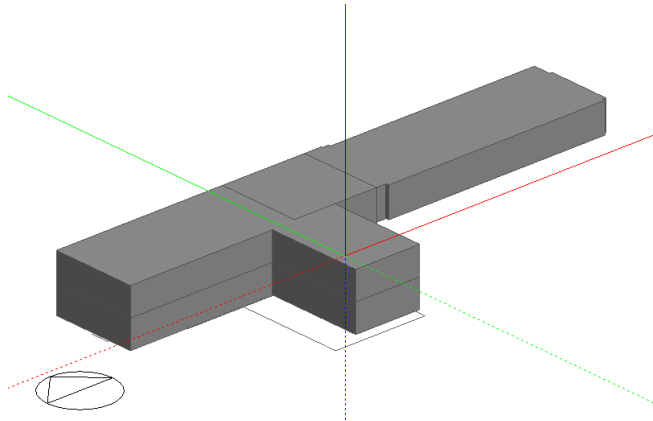


Figura 6.11. Elaboración del primer piso a partir del sótano del Edificio de Ingeniería Eléctrica – *DesignBuilder*.

La elaboración del segundo piso se realizará de igual forma, simplemente teniendo en cuenta la nueva altura del plano a importar es seis (6) metros. Para la cubierta o techo que tendrá la entrada principal, se realizará de acuerdo a planos y tendrá 1 metro de espesor, la ubicación del plano importado se muestra en la Figura 6.12.

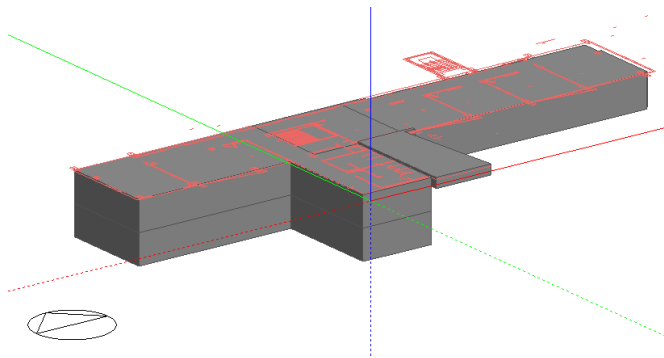


Figura 6.12. Creación segundo piso del edificio de Ingeniería Eléctrica – *DesignBuilder*.

El contorno del tercer, cuarto y quinto piso es el mismo del segundo piso (ver Figura 6.13), por esta razón solo se requiere de la herramienta utilizada anteriormente **clonar objeto seleccionado** (manteniendo presionado el botón

shift mientras se hace clic se bloquea el movimiento 3D del mouse y se mantiene el puntero sobre el plano 2D donde se esté ubicado).

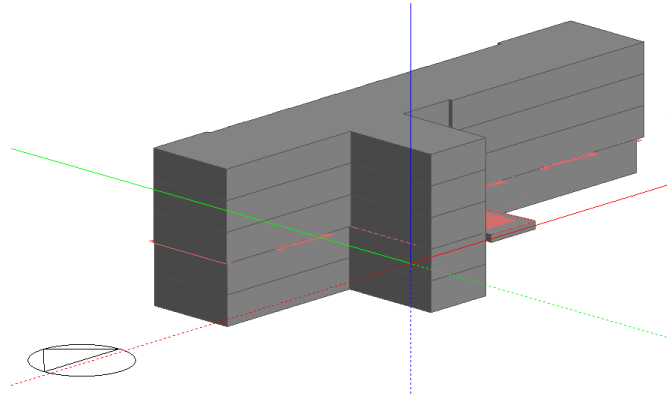


Figura 6.13. Creación tercer y cuarto piso a partir de la herramienta *clonar objeto seleccionado*.

Para el cuarto piso se deberá aumentar la altura del bloque, ya que este piso es cuarenta centímetros más alto que los anteriores. Para ello se seleccionará el bloque correspondiente al cuarto piso y con la ayuda del botón **desplazar plano** se seleccionara el plano superior, se introducirá por medio del teclado 0,4 y finalmente la tecla *Enter*.

En cuanto al quinto piso se importará el plano, y con ayuda de la herramienta **tipo de línea** en **arco** se creará la curva de este piso, se utilizará 15 grados de **ángulo de desarrollo**. Se establecerá diez (10) segmentos para facilidad de cálculos (ver Figura 6.14).

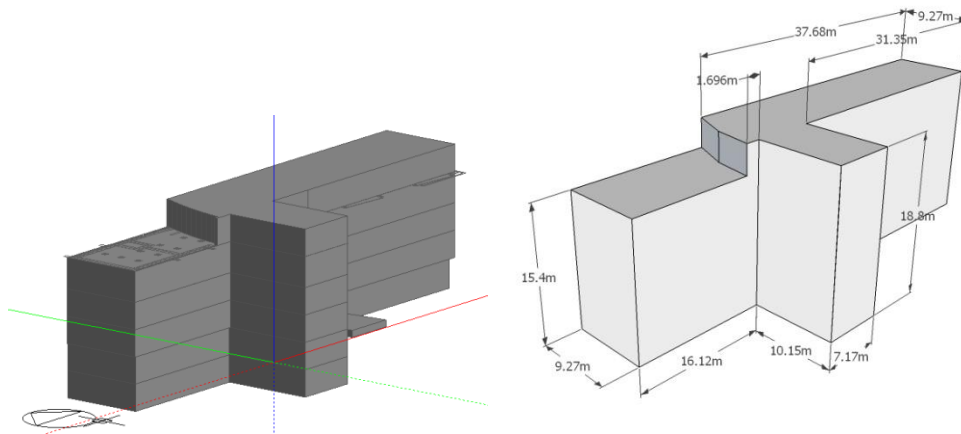


Figura 6.14. Estructura del Edificio de Ingeniería Eléctrica (izquierda), medidas de la estructura (derecha).

6.4 Edición de bloques

Para ordenar los bloques y facilitar su ubicación dentro de la estructura, como el mostrado en la Figura 6.15, es recomendable editar los nombres haciendo doble clic sobre cada uno de ellos en la lista de navegación, posteriormente se ingresa o digita el nombre deseado.



Figura 6.15. Nombres de bloques Edificio de Ing. Eléctrica – DesignBuilder.

6.5 Particiones

Las particiones se utilizan para la simulación de paredes interiores, tienen como finalidad establecer diferentes zonas dentro de un bloque y de esta forma dar un

realismo mayor al flujo térmico y lumínico. Para la elaboración de particiones es necesario estar ubicado a nivel de bloque, luego importar el plano 2-D perteneciente al piso en cuestión y ubicarlo a la altura necesaria (ver Figura 6.16).

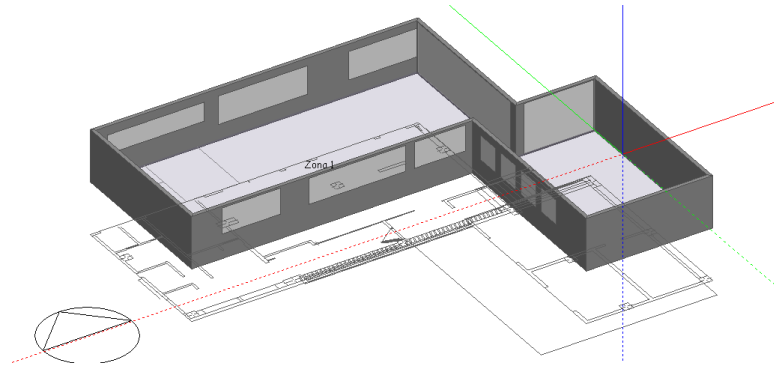


Figura 6.16. Plano CAD para la creación de las particiones.

Con la herramienta **dibujar particiones** se elaborará las separaciones o muros internos.

Es recomendable en **opciones de dibujo** en la pestaña **coacción de punto** deshabilitar la opción **coacción DXF**, porque la herramienta de particiones necesita estar ubicada en la mitad de donde empezara el muro, y las coacciones al plano DXF ubican el cursor a los extremos lo que imposibilita ubicarse en el medio.

También se optará por establecer en **vista ortogonal**, la vista **planta** (ver Figura 6.17) para facilitar la realización de las particiones.

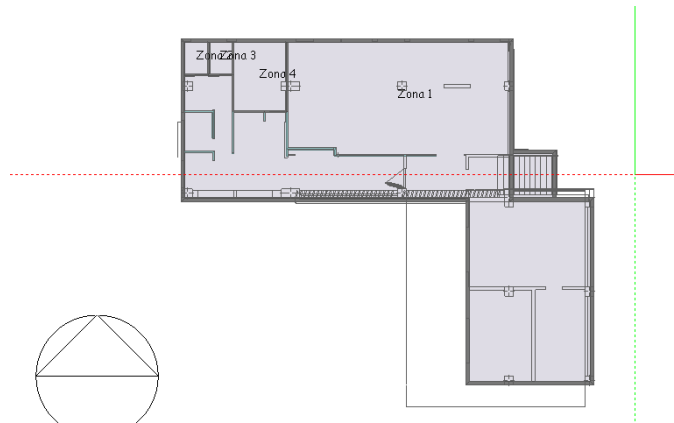


Figura 6.17. Vista **planta** recomendada para la elaboración de particiones.

Los muros internos que quedan de color aguamarina se deben a que no encierran una zona, entonces en algunos casos son alertas de que en algún sitio del bloque no se cerró la zona completamente, en la Figura 6.18 se observan estos tipos de paredes.

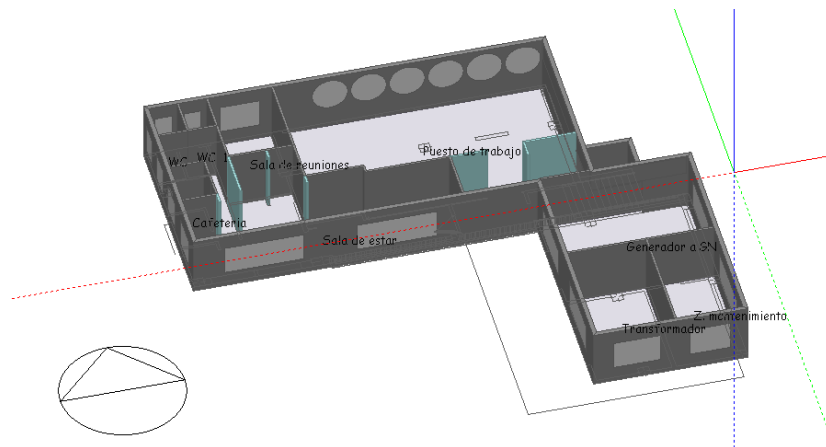


Figura 6.18. Distribución de particiones del primer piso.

De igual manera a como se realiza nombrando los bloques es recomendable nombrar las zonas, para facilitar su ubicación dentro del panel de navegación. El nombramiento se realizará de la misma forma al de los bloques en el panel de navegación, en la Figura 6.19 muestra algunas zonas nombradas para esta edificación.



Figura 6.19. Edición de nombres de las diferentes zonas del primer piso.

6.6 Detalles de aberturas

Para la realización de las ventanas, puertas, huecos siempre se debe ubicar a nivel de superficie, dando doble clic en el bloque necesario, luego nuevamente doble clic en la zona deseada y finalmente eligiendo el muro o superficie de la zona donde se desea crear la ventana, puerta o hueco (ver Figura 6.20). Una vez elegida la superficie se deberá elegir en la barra de menú la opción deseada.

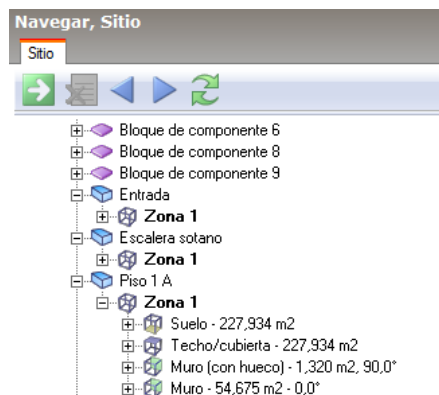


Figura 6.20. Jerarquización de la información en la ventana de navegación.

Existen dos (2) alternativas para la creación de estos detalles externos. La primera consiste en realizar primero las particiones interiores de cada bloque y posteriormente las aberturas. Las ventajas de esta opción radican en la facilidad para comprobar la correcta ubicación de las ventanas, al no permitir la colocación de ventanas en donde hay muros internos.

Sin embargo, dificulta la realización de muchas aberturas, ya que al generar las particiones internas se crearán nuevas superficies lo cual complicara las medidas de ubicación y la realización de los detalles, en el caso de una superficie extensa al crear particiones internas se convertirá en varias superficies por lo que se deberá ir eligiendo cada una a medida que se dibujan las diferentes aberturas. Esto implica no solo realizar medidas **abertura-abertura** sino se tendría que tener medidas de **abertura-final de superficie** posteriormente **Inicio de superficie-abertura**.

La segunda opción es crear primero las ventanas exteriores y luego las particiones interiores, en la Figura 6.21 muestra esta opción. Las ventajas para este caso consisten en la facilidad en las medidas, debido a que los bloques sólo van a tener una zona por ende cada pared exterior, corresponderá a una superficie interior; pero la desventaja consiste en que al dividir un bloque con particiones internas, las aberturas se modifican de acuerdo a como estén configuradas en la pestaña de aberturas.

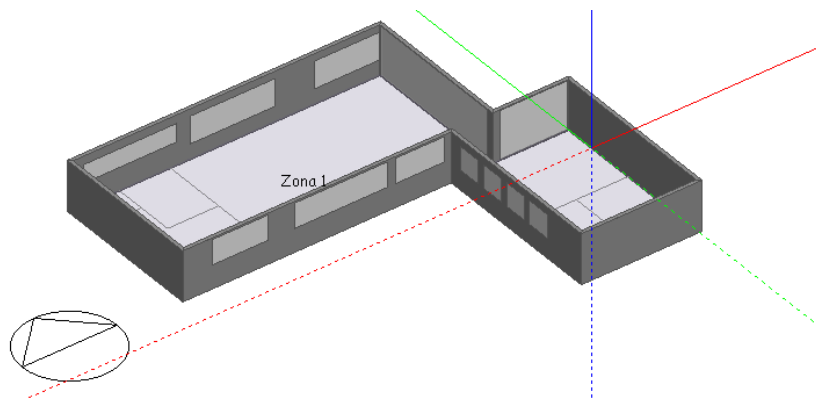


Figura 6.21. Creación de aberturas previamente a la elaboración de particiones.

La posible solución para esta opción es copiar el piso con la herramienta **clonar objeto seleccionado** y luego realizar las particiones en el piso original, una vez terminadas las particiones seleccionamos las ventanas del piso copiado y las movemos al piso original teniendo en cuenta en moverlas una cantidad exacta para no perder la correcta ubicación de ellas.

Cabe aclarar que se deberá copiar el piso hacia arriba de la edificación. Porque en caso contrario al estar por debajo del terreno, el software lo tomara como un sótano y borraré las ventanas.

6.7 Terraza - verde

Para la creación del techo verde se deberá realizar la placa de la terraza nuevamente basado en planos, para el caso concreto del Edificio de Ingeniería Eléctrica se realizará con bloque de contorno, ya que para su realización se deberá crear un bloque de altura de 1 metro. Posteriormente se creará un bloque de 1 [m] de altura que corresponderá a la zona donde estará ubicado el techo verde. Una vez creados los dos bloques se procederá a *substraer* el espacio del segundo bloque y tendrá una profundidad de 37,9 [cm]. En la Figura 6.22 se resalta de color verde esta zona. Y de esta forma obtener la forma de la terraza, para la substracción del bloque se utilizará la herramienta **Booleana** ubicada en la barra de menú.

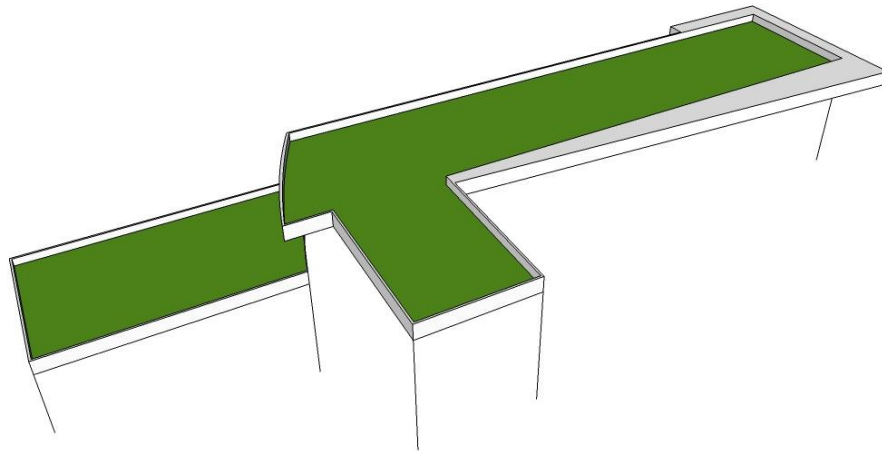


Figura 6.22. Terraza del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Una vez creada la terraza se deberá crear los tubos solares. Sin embargo, las versiones de *DesignBuilder* publicadas a la fecha de elaboración de este proyecto

no posee herramientas para simular los tubos solares. Por esta razón, se realizará una modificación para crear los tubos solares, ya que si se hicieran como tubos cilíndricos de vidrio, debido al espesor de la placa, solo aportaría luz natural cuando el ángulo horario (w_s) sea muy pequeño. Por esta razón se realizará entradas de luz en forma cónica, para de esta forma asegurar que se aproveche la luz natural por mayor tiempo.

Partiendo de la fórmula de ángulo horario (w_s) se puede saber aproximadamente que rango de horas aprovecharían la luz natural, (Omitiendo el ángulo de altura solar el cual se detalla en el Anexo D) y de esta forma por medio de trigonometría establecer el diámetro del cono correspondiente al rango de horas.

Tabla 6.1. Relación aprovechamiento luz natural – diámetro cono.

horas de Incidencia, luz natural		Angulo Horario	diámetro parte superior del cono
Am	Pm	Ws	[metros]
11	1	15	0,53
10	2	30	0,78
9	3	45	1,12
8	4	60	1,7
7	5	75	3,3
6	6	90	Infinito

Resumiendo la Tabla 6.1 se tendrá que si la finalidad del cono es que aproveche la luz natural desde la 11 am hasta la 1 pm se deberá hacer un cono de diámetro superior de 0,53 metros. El diámetro inferior será el mismo para todos los casos, que corresponde al ancho del tubo solar (0,32 metros). De acuerdo a la Tabla 6.1 también se puede apreciar que el caso óptimo no es posible, y que los casos cercanos tendrían diámetros muy grandes de cono, y esto restaría superficie de manera significativa al techo verde. Por esta razón, se realizará los conos con un diámetro de 1,12 metros, que corresponde a un w_s de 45° . La Figura 6.23 muestra las configuraciones original y modificada del tubo solar.

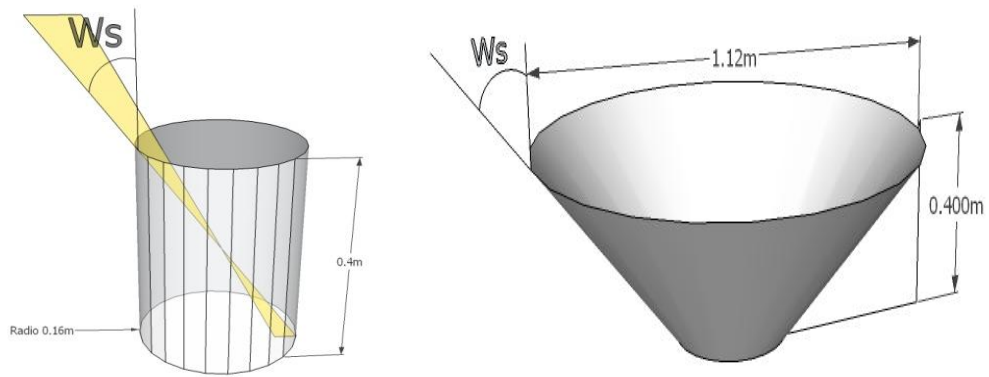


Figura 6.23. (Izquierda) Tubo solar cilíndrico, (derecha) Tubo solar cónico.

El cono se realizará con la opción muro inclinado, modificando la pendiente por 45° , estableciendo la altura o extruido en 0,4 metros; y finalmente, con la forma del perímetro en círculo se dibujará el cono, que al igual que la terraza se ubica en su lugar correspondiente y con la herramienta booleana se sustraera se le da la forma cónica del bloque correspondiente a la terraza, en la Figura 6.24 se muestran la ubicación de los tubos solares.

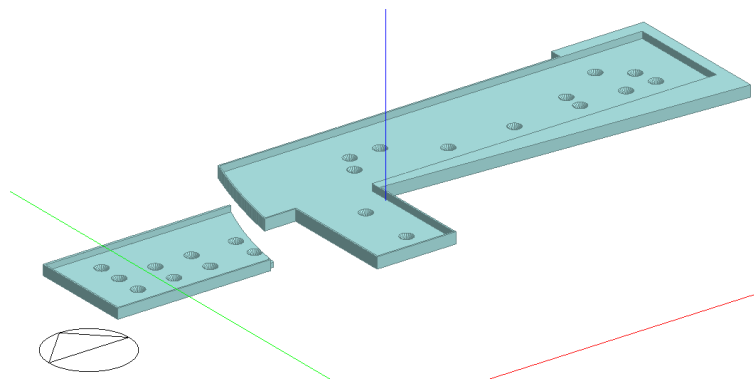


Figura 6.24. Terraza con simulador de tubos solares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS: CAPÍTULO 6

- [1] Manual *DesignBuilder*. Consultado 1 de Octubre de 2012. Disponible en la web <URL: http://www.designbuilder.co.uk/component/option,com_docman/task,doc_view/gid,13/Itemid,30/>

7. Plantillas del modelo del Edificio de Ingeniería Eléctrica

Aplicación de la Etapa IV de la metodología.

Las plantillas son fundamentalmente base de datos que contienen información típica sobre diversos aspectos del edificio como: ventilación, iluminación, cerramientos, datos climáticos, códigos energéticos, actividad, etc. Están diseñadas para cargar paquetes de datos al modelo virtual.

7.1 Actividad humana

La plantilla de actividad humana permite definir los parámetros relacionados con el uso de las zonas, incluyendo información como tipo de zona, ocupación, tasas metabólicas, días festivos, agua caliente sanitaria, control ambiental y algunos datos sobre ganancias [1].

Todos los datos de actividad, a excepción de los días festivos, se usan para generar datos de simulación en el nivel zona. La información relativa a los días festivos se usa a nivel de edificio [1].

7.1.1 Ocupación

Los datos de ocupación definirán la cantidad de personas que se encuentran en el interior del edificio, al igual que los transcurso de tiempo en los que esto

ocurre. Estos datos servirán junto con las condiciones metabólicas y los días festivos para calcular las ganancias de calor debidas a las personas.

Para establecer el número de personas en relación al área de la edificación se detalló por zonas dentro de la edificación y se apoyó en la capacidad de los salones para establecer un valor aproximado.

Tabla 7.1. Ocupación del sótano y primer piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Datos de ocupación de la edificación, sótano-1er piso						
	Sala	Longitud [m]	Ancho [m]	Área [m ²]	Capacidad [personas]	Densidad [Personas/m ²]
Sótano	Puesto de trabajo	12,4	6,4	79,36	15	0,19
	Sala de reuniones	2,9	3,9	11,31	6	0,53
	cafetería	2,6	4,2	10,92	2	0,18
	Zonas comunes	-	-	189,21	-	-
1 Piso	Centro es estudios	5	9,1	45,5	6	0,13
	Sala de estudio grupal	11	9,1	100,1	50	0,50
	Sala de estudio individual	19	6,3	119,7	80	0,67
	Aula 1	5,9	9,1	53,69	40	0,75
	Zonas comunes	-	-	239,72	-	-

Tabla 7.2. Datos de ocupación de 2do. Y 3er piso.

Datos de ocupación de la edificación, 2do – 3er piso						
	Sala	Longitud [m]	Ancho [m]	Área [m ²]	Capacidad [personas]	Densidad [Personas/m ²]
2 Piso	Aula 2	5,8	9,1	52,78	40	0,76
	Aula 3	10	6,3	63	40	0,63
	Aula 4	11,7	6,3	73,71	40	0,54
	Aula 5	5,85	6,3	36,86	20	0,54
	Aula 6	5,85	6,3	36,86	20	0,54
	Aula 7	7	9,1	63,7	40	0,63
	Zonas comunes	-	-	231,80	-	-
3 Piso	Aula 8	5,8	9,1	52,78	40	0,76
	Aula 9	10	6,3	63	45	0,71

	Aula 10	11,7	6,3	73,71	50	0,68
	Aula 11	11,7	6,3	73,71	50	0,68
	Aula 12	7	9,1	63,7	45	0,71
	Zonas comunes	-	-	231,81	-	-

Tabla 7.3. Datos de ocupación de los pisos 4. y 5.

Datos de ocupación de la edificación, 4to – 5to piso						
	Sala	Longitud [m]	Ancho [m]	Área [m ²]	Capacidad [personas]	Densidad [Personas/m ²]
4 Piso	IEEE	5,8	9,1	52,78	15	0,28
	Aula 13	10	6,3	63	35	0,56
	Aula 14	11,7	6,3	73,71	35	0,47
	Aula 15	11,7	6,3	73,71	35	0,47
	Aula 16	7	9,1	63,7	35	0,55
	Zonas comunes	-	-	231,81	-	-
5 Piso	Dirección E3T				2	
	Asistente de Dirección				1	
	Sala reuniones				8	
	Coordinación de especial. Coordinación de proyectos				6	
	Secretaria administrativa	25,5	9,1	232,05	1	0,16
	Secretaria Especialidades.				1	
	Secretaria de postgrados.				1	
	Asistente y auxiliar post.				3	
	Coordinación de post.				2	
	Otros.				6	
Zonas comunes, pasillos.	-	-	194,52	-	-	

Finalmente, de las Tablas 7.1, 7.2 y 7.3 se obtendrán el total de personas del edificio en promedio, junto con el área total del edificio, y con estos datos se tiene el dato de densidad.

Tabla 7.4. Densidad total del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Total personas Edificio (Media)	821
Área total del edificio [m ²]	2952,20
Densidad Total [personas/m ²]	0,28

Para establecer los horarios de operación o de actividad humana en la estructura, se basará en los horarios de trabajo de la estructura antigua junto con los horarios del personal administrativo. De esta manera se tienen los siguientes transcurso de tiempo operacionales.

Tabla 7.5. Calendario semanal de actividad del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Día de la semana	Inicio	Finalización	detalles
Lunes a viernes	06:00 a.m.	10:00 p.m.	Todo el edificio
Sábado	08:00 a.m.	12:00 p.m.	Aulas del 4 ^{to} piso

Para los calendarios durante el año se obtendrán de los calendarios académicos, y se omitirán las irregularidades académicas.

Tabla 7.6. Calendario anual de actividad del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

	Mes de inicio	Mes final	Semana inicio	Semana final
Administración	15-ene	15-dic	Lunes	Sábado
Especialización	15-ene	15-dic	Viernes	Sábado
Pregrado	8 meses, 22 días al mes		Lunes	Sábado

Los días por semana (días/semana) de ocupación solo se establecen en el nivel de edificio y se usan para todas las programaciones de días laborables del modelo, excepto para la operación de la ventilación mecánica, la calefacción y la refrigeración, que tienen sus propios datos [2].

7.1.2 Metabolismo

Esta pestaña establecerá las tasas metabólicas referentes con el nivel de actividad dentro de las diferentes zonas de la edificación.

La tasa metabólica determina la cantidad de calor generada por una persona bajo algunas condiciones de diseño. Este valor será modificado por el software

posteriormente durante las simulaciones con base en correlaciones que toman en cuenta las variaciones de temperatura del espacio (esta parte tiene importancia cuando se analicen los datos de salida sobre calor sensible por ocupante, en la parte de diseño de refrigerantes y de simulación) [3].

Los principales valores de tasas metabólicas se encuentran en la Tabla 5, Capítulo 8 del *ASHRAE Handbook of Fundamentals*. Su unidad se expresa en Watts por persona. Los datos proporcionados por el software *DesignBuilder* corresponderán a hombres adultos con una superficie promedio de piel de $1,8 \text{ m}^2$ [4].

El factor metabólico permitirá considerar personas de diferentes constituciones físicas. Se tendrá 1 para hombres, 0,85 para mujeres, 0,75 para niños y en el caso de grupos mixtos se promediarán los datos.

En el caso concreto del Edificio de Ingeniería Eléctrica se tiene una relación de estudiantes de 5 hombres por cada mujer, y en la parte administrativa se tiene 10 mujeres por cada hombre. Por lo que el valor de actividad de la escuela será de aproximadamente de 0,97. Tomando el valor de promedio de la edificación 821 personas.

7.1.3 Vestimenta

Es posible definir el nivel de vestimenta de las personas, para las diferentes épocas del año, la vestimenta reduce las pérdidas de calor del cuerpo humano y se clasifican de acuerdo con su valor de aislamiento, su unidad es el *Clo*; pero también puede medirse en $[\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W}]$ [4].

Los valores *Clo* para vestimentas complejas se pueden calcular sumando el valor *Clo* de cada una de las prendas. El valor de aislamiento para prendas individuales se puede consultar en la norma ISO7730.

Algunos valores *Clo* usados frecuentemente se condensarán en la Tabla 7.7.

Tabla 7.7. Valores CLO de las principales vestimentas.

Vestimenta	Valor Clo	Vestimenta	Valor Clo
Desnudez	0	Gruesa, manga larga	0,29
Calzoncillos	0,06	Añadir 5% por corbata o moño	
Camiseta	0,09	Pantalones	0,26-0,32
Braga y sostén	0,05	Suéter	0,20-0,37
Ropa interior superior	0,35	Calcetines	0,04-0,10
Ropa interior inferior	0,35	Conjunto ligero de verano	0,3
Camisa		Ropa de trabajo	0,8
Blanca, manga corta	0,14	Combinación típica de interior en invierno	1
Falda	0,22-0,70	Traje de negocios grueso	1,5

Para el caso específico del Edificio de Ingeniería Eléctrica se tomará el valor *Clo* de 0,55 para verano que corresponderá a camisa manga corta, pantalones ligeros, calzoncillos, medias delgadas y zapatos; y de 0,61 para invierno.

7.1.4 Días festivos

A pesar de haber sido detallados los días festivos en el formato *EPW*, el cual se subió al software *DesignBuilder*. Se deberán especificar en la pestaña de días festivos nuevamente, debido a que *DesignBuilder* no toma los datos de días festivos del formato *EPW*.

Es posible añadir días festivos a las simulaciones para incluir el efecto de la inactividad o desocupación del edificio durante un determinado periodo del año, en Colombia existen 17 días festivos y están distribuidos de acuerdo a la Tabla 7.8.

Tabla 7.8. Días festivos para el año 2012 en Colombia.

Días festivos			
Día	Detalle	Día	Detalle
1 de enero	Año nuevo	30 de junio	San pedro y San pablo
7 de enero	Reyes magos	7 de agosto	Batalla de Boyacá
20 de marzo	Jueves santo	18 de agosto	Asunción de la virgen
21 de marzo	Viernes santo	12 de octubre	Día de la raza
24 de marzo	Día de San José	3 de noviembre	Todos los santos

1 de mayo	Día de San pedro	17 de noviembre	Independencia de Cartagena
5 de mayo	Ascensión	8 de diciembre	Inmaculada Concepción
26 de mayo	Corpus Christi	25 de diciembre	Nacimiento de Jesús
2 de junio	Sagrado corazón		

7.1.5 Agua caliente sanitaria (ACS)

El ACS hace referencia al impacto energético del consumo de agua caliente (lavamanos, regaderas, etc...) En la pestaña ACS de la plantilla de actividad se deberá definir la tasa de consumo de agua caliente en cada zona, en litros por día por metro cuadrado [L/día/m²], Estos datos sólo se emplean en las zonas en las cuales se ha activado previamente a la simulación la casilla ACS [1].

7.1.6 Control ambiental

El control ambiental permitirá establecer las temperaturas de funcionamiento de la calefacción, la refrigeración y la ventilación, el aire fresco mínimo por persona; así como, los requerimientos de iluminancia para cada zona dentro de la estructura.

Temperatura de calefacción y refrigeración

Este parámetro define la temperatura ideal a mantener dentro del espacio, cuando el sistema de calefacción es requerido (en ese sentido simulará la temperatura establecida en el termostato) [1].

Esta temperatura dependerá en las simulaciones del tipo de control de la misma, el cual es establecido en las opciones de cálculo del modelo (**opciones de modelo > Simulación**). Cuando se usa **1- Temperatura del aire**, la temperatura de funcionamiento de la calefacción corresponde a la temperatura del aire dentro del espacio. Mientras que al seleccionar **2-Temperatura operativa**, corresponderá a la temperatura promedio entre la temperatura media del aire y la temperatura media radiante. Para la opción **3- Otro**, es posible establecer la fracción radiante de la temperatura.

En el caso de la temperatura de retroceso de la calefacción sirve para establecer el nivel máximo de temperatura alcanzable por medio de los sistemas de calefacción o para establecer el límite superior de funcionalidad del sistema.

De manera análoga funcionará el sistema de refrigeración; permitiendo establecer el punto de entrada de los sistemas de refrigeración y el límite inferior que puede alcanzar dicho sistema. Debido a la ubicación de la edificación tendrá únicamente sistema de refrigeración en algunas zonas; mientras que no será necesario el sistema de calefacción para la edificación.

La temperatura mínima y máxima se obtiene de acuerdo a los diagramas bioclimáticos y modelos de confort elaborados en el anexo C.

Sus valores respectivamente serán 17°C para la temperatura mínima y 22°C para la temperatura máxima de refrigeración

7.1.7 Computadores

Permite indicar las ganancias de calor relacionadas con computadoras y otros equipos informáticos, por unidad de área de suelo; y también permitirá establecer el horario de funcionamiento de estos equipos.

Tabla 7.9. Consumo de energía, debido a computadores en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.

CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA				
	Sala	Equipo de computo	Consumo [W]	[Watt / m²]
Sótano	Sala de reuniones	2	240	70,73
	Centro es estudios	3	360	26,37
	Sala de estudio grupal	20	2400	79,92
	Sala de estudio individual	50	6 000	167,08
	Aula 1	1	120	7,45
	IEEE	5	600	37,89
	Aula 13	1	120	6,34
	Dirección E3T	1	120	9,83
	Asistente de Dirección	1	120	
	Sala reuniones	1	120	

	Coordinación de especializaciones	4	480	
	Coordinación de proyectos	4	480	
	Secretaría administrativa	1	120	
	Secretaría Especializaciones	1	120	
	Secretaría de posgrados	1	120	
	Asistente y auxiliar posgrados	2	240	
	Coordinación de posgrados	1	120	
	Otros	2	240	
	Total	101	12 120	4,1

7.2 Aberturas

La plantilla de aberturas se utiliza para editar los valores predeterminados para el acristalamiento, puertas, rejillas y sombreado de todo el edificio

7.2.1 Ventanas

Las ventanas exteriores permiten elaborar ventanas en las superficies de acuerdo a porcentajes de acristalamiento, sin embargo, para mayor exactitud y debido a la poca simetría de superficies, se elaboraron las ventanas de acuerdo a planos; para ello, se realiza un anexo indicando las medidas de las aberturas y su ubicación dentro del edificio, tanto para ventanas exteriores como interiores.

Marcos y divisores de ventanas

Los marcos y divisores generan un intercambio térmico con el exterior además de reducir el acristalamiento de la ventana; sin embargo, generan soporte y rigidez. Para la edición de los acristalamientos se toma como base nuevamente los planos de la edificación.

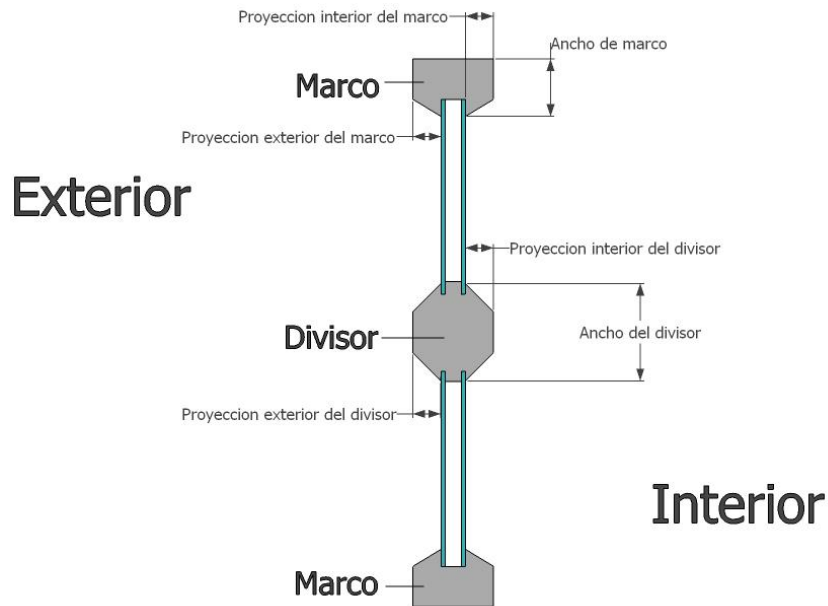


Figura 7.1. Componentes de las ventanas.

Las medidas de los respectivos marcos y divisores se describen la Tabla 7.10, los detalles relacionados con las medidas de cada una de las ventanas se detallan en el Anexo E. En el cual se especifique esa información. Adicionalmente, se realiza dibujos donde se aprecie la ubicación de cada tipo de ventana con el fin de facilitar su ubicación en la fase de calibración de datos.

Tabla 7.10. Detalles de los marcos y divisores.

Tipo	Divisiones		Ancho		Proyección marco	
	Horizontales	Verticales	Marco [cm]	Divisores [cm]	Interior [cm]	Exterior [cm]
V3	3	14	7	5	10	0
V4	0	0	5	0		
V5	0	3	5	5		
V6	0	5	5	5		
V7	0	5	5	5		
V14	0	5	5	3		
V15	0	5	5	5		
V16	0	5	5	3		
V17	0	3	5	3		

V18	0	3	5	5		
V19	0	2	5	3		
V20	0	2	5	5		
V21	0	0	5	0		
V22	0	0	5	0		
V23	0	0	5	0		
VR1	7	0	10	7		
VR2	0	0	7	0		

DesignBuilder permite especificar dos (2) tipos de divisores, *parteluz* y *suspendido*, la diferencia entre los tipos de divisores se encuentra detallada en la Figura 7.2. Para el caso del Edificio de Ingeniería Eléctrica todos los divisores son de tipo suspendido. Debido a esto no habrá necesidad de especificar proyección interna ni externa de los divisores.

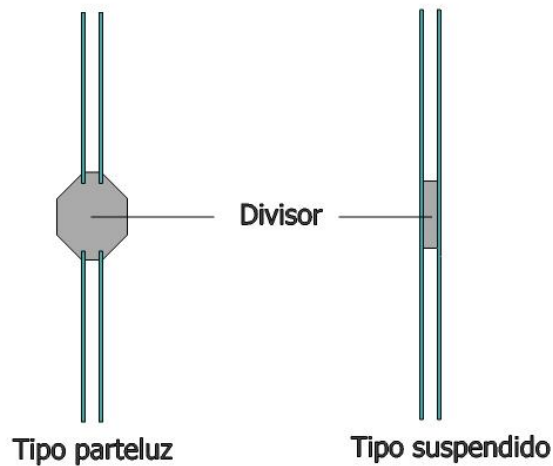


Figura 7.2. Tipos de divisores.

7.2.2 Sombreado

En la pestaña de sombreado se podrá introducir los datos del aerobrise, para este caso no habrá necesidad debido a que se añadieron en el modelo con sus respectivas medidas, sin embargo, a continuación se especificaran sus datos en caso de necesitarse suavizar el modelo, la descripción de las variables implícitas en esta pestaña se pueden observar en la Figura 7.3, con el fin de que se pueda

reemplazarse por sus valores correspondientes en la opción de **sombreado local**. Se utilizó dos tipos. *Aerobrise 200* y *Aerobrise 100*.

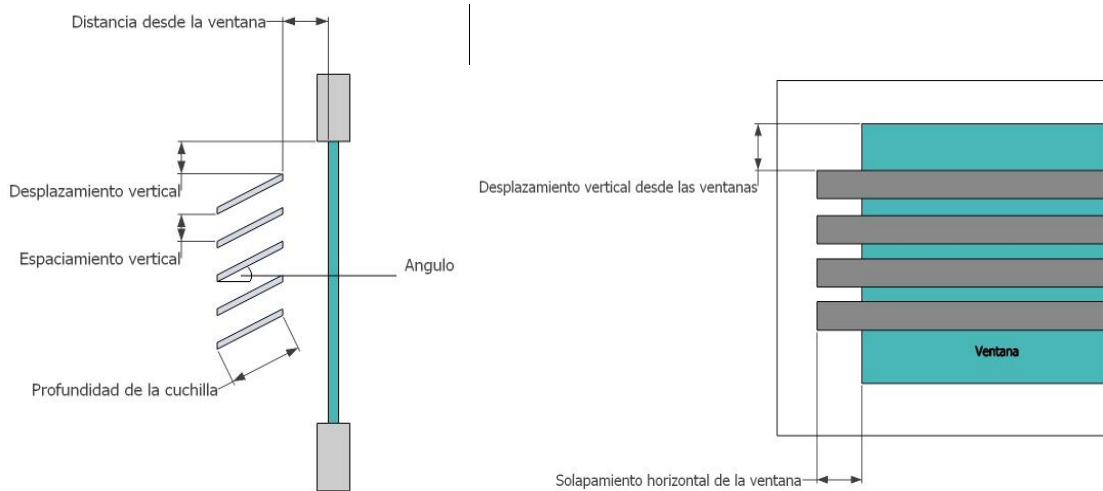


Figura 7.3. Diferentes longitudes de los aerobrise y de las lamas respecto a la ventana.

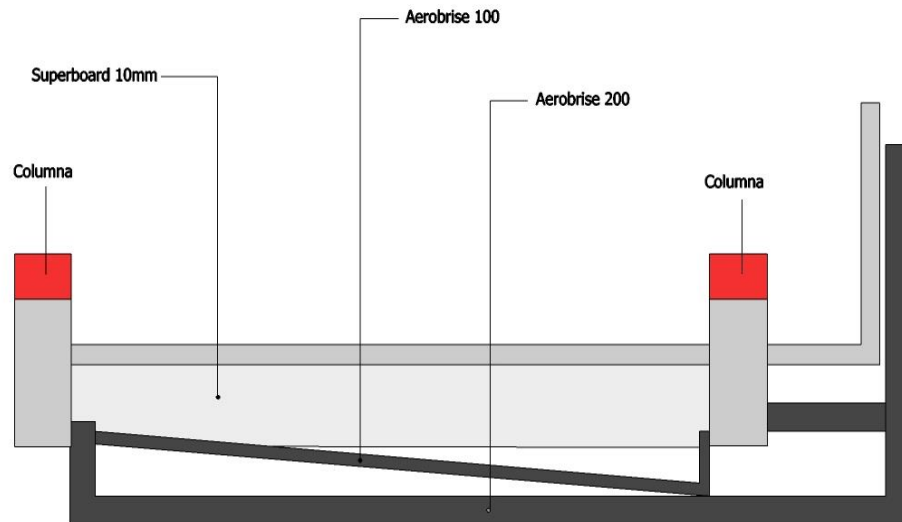
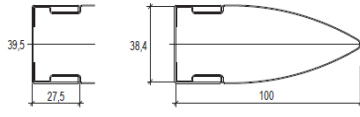
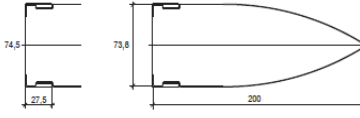


Figura 7.4. Tipos de aerobrise, vista superior.

Tabla 7.11. Descripción técnica de los Aerobrise.

Descripción técnica			
Panel			
Aerobrise 100			
	Material	Espesor [mm]	Peso (kg/ml)
	Aluzinc	0,5	1,43
Aerobrise 200			
	Material	Espesor [mm]	Peso (kg/ml)
	Aluzinc	0,6	2,47

El número de *aerobrise* dependerá de cada piso, para el piso quinto será de catorce (14) de tipo 200, mientras para los pisos restantes (segundo, tercer y cuarto) será de siete (7), el espaciamiento vertical será de veinticinco (25) centímetros para todos los casos. Los *aerobrise* como tal no tendrán inclinación Por ende se tomará el ángulo a cero (0) grados.

Distancia desde la ventana es para los *aerobrise* ubicados en el quinto piso, lado oeste, será de un (1) metro, para las demás lamas al no estar en paralelo con las ventanas se podrá asumir un valor promedio que para caso de esta edificación se tomará de cero punto siete (0,7) metros, finalmente para los *aerobrise* ubicados en el sótano de la estructura se tendrá una distancia de diez (10) centímetros. La profundidad para todos los casos será de veinte (20) centímetros.

La distancia vertical desde el borde superior de la ventana será de cero (0) metros para todos los casos, debido a que están ubicados desde una distancia superior a la de la ventana adyacente.








Finalmente, a diferencia de las tres (3) ventanas ubicadas sobre la puerta principal el solapamiento horizontal desde los bordes de la ventana será de cero (0) metros, para estos tres casos será de sesenta (60) centímetros.

7.3 Iluminación

La plantilla de iluminación se emplea como fuente de datos acerca de los sistemas genéricos de iluminación que serán empleados en el modelo.

Para el Edificio de Ingeniería Eléctrica se utilizarán las luminarias especificadas en la Tabla 7.12. Es importante detallar la potencia y la cantidad de cada una. Con la finalidad de obtener los $[W/m^2]$ de la estructura, dato necesario para el correcto modelado del edificio.

Tabla 7.12. Tipos de lámparas utilizadas en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Símbolo	Tipo	Potencia	Detalles	Abreviatura
	Lámpara fluorescente	1 x 28 W - 120 V	Bañadora de pared	LF-BP
	Lámpara fluorescente	2 x 28 W - 120 V	-	LF-HW
	Lámpara fluorescente	2 x 32 W - 120 V	Balastro dimerizable	LF-BD
	Lámpara de emergencia	Menor a 1 W - 120 V	Modelado - 0 W	LE
	Lámpara fluorescente	4 x 14 W - 120V	Doble balastro	LF-DB
	Lámpara fluorescente	4 x 17 W - 120 V	Doble balastro	LF-DBH
	Bala fluorescente	1 x 26 W - 120 V	Compacta	BF

Con el fin de determinar la potencia instalada en cada una de las plantas del edificio, se hace necesario detallar los tipos de luminarias en cada una de las zonas; Para ello, se realizan tablas donde se especifique la cantidad y tipo de luminarias, para posteriormente establecer en todo el edificio la cantidad de potencia instalada correspondiente a iluminación.

Tabla 7.13. Cantidad y tipo de luminarias en el sótano.

		Tipo de luminaria						
		LF-BP	LF-HW	LF-BD	LE	LF-DB	LF-DBH	BF
Sótano	Baños							2
	Áreas comunes		8					
	Cafetería y servicios		1					
	Sala de reuniones					3		
	Puesto de trabajo					15		
	Área de generador GN		2					
	Área de TRF 150 VA		2					

Tabla 7.14. Cantidad y tipo de luminarias en el primer piso.

		Tipo de luminaria						
		LF-BP	LF-HW	LF-BD	LE	LF-DB	LF-DBH	BF
Piso 1	Centro de estudios					6		1
	Sala trabajo grupal					15		
	Áreas comunes		13		1			
	Cuarto de control		1					
	Baños		4					
	Sala trabajo individual.					20		
	Aula 1	2				9		

Tabla 7.15. Cantidad y tipo de luminarias en el segundo piso.

		Tipo de luminaria						
		LF-BP	LF-HW	LF-BD	LE	LF-DB	LF-DBH	BF
Piso 2	Aula 2	2				10		
	Aula 3	2				10		

	Áreas comunes		12		1			
	Cuarto de control		1					
	Cuarto de aseo							1
	Baños		4					
	Aula 4	2				12		
	Aula 5	2				6		
	Aula 6	2				6		
	Aula 7	2				9		

Tabla 7.16. Cantidad y tipo de luminarias en el tercer piso.

		Tipo de luminaria						
		LF-BP	LF-HW	LF-BD	LE	LF-DB	LF-DBH	BF
Piso 3	Aula 8	2				10		
	Aula 9	2				10		
	Áreas comunes		12		1			
	Cuarto de control		1					
	Cuarto de aseo							1
	Baños		4					
	Aula 10	2				12		
	Aula 11	2				12		
	Aula 12	2				9		

Tabla 7.17. Cantidad y tipo de luminarias instaladas en el cuarto piso.

		Tipo de luminaria						
		LF-BP	LF-HW	LF-BD	LE	LF-DB	LF-DBH	BF
Piso 4	IEEE						6	
	Auditorio 13	2					12	
	Áreas comunes		12		1			
	Cuarto de control		1					
	Cuarto de aseo							1
	Baños		4					
	Auditorio 14	2					12	
	Auditorio 15	2					12	
	Auditorio 16	2					10	

Tabla 7.18. Cantidad y tipo de luminarias instaladas en el quinto piso.

		Tipo de luminaria						
		LF-BP	LF-HW	LF-BD	LE	LF-DB	LF-DBH	BF
Piso 5	Áreas comunes		13		1		7	1
	Cuarto técnico		1					
	Coord. Pregrado						4	
	Archivo		1					
	Coord. Proyectos						4	
	Coord. Especializaciones						4	
	Coord. Calidad						4	
	Asistente dirección						2	
	Dirección E3T						4	
	Baños							3
	Cuarto de aseo							1
	Cafetería							1
	CCTV			1				
	Coord. Postgrados						2	
	Auxiliar de postgrados						2	
	Secretaria de postgrados						2	
Secret. Especializaciones						1		
Secret. Administrativa						1		

Finalmente, de las Tablas 7.13 – 7.18 se puede saber la potencia instalada por piso y la correspondiente al edificio; variable que junto al área de la edificación permite conocer la cantidad de $[W/m^2]$ instalados, dato requerido en la alimentación del software.

Tabla 7.19. Potencia instalada de iluminación por metro cuadrado en el edificio.

	POTENCIA INSTALADA EN EL EDIFICIO		
	Potencia por piso [W]	Área $[m^2]$	$[W/m^2]$
Sótano	1 788	244	7,33
Piso 1	3 890	549	7,09
Piso 2	4 282	554	7,73

Piso 3	4 226	559	7,56
Piso 4	4 738	459	10,32
Piso 5	3 576	335	10,67
Total	22 500	2 700	8,33

7.3.1 Tipos de luminarias

Para el tipo de luminarias *DesignBuilder* permite cinco (5) opciones, (i) suspendida, (ii) montaje sobre superficie, (iii) techo luminoso con persianas, (iv) con ducto de ventilación y (v) empotrada. Para este caso todas las luminarias van a ser de tipo empotradas.

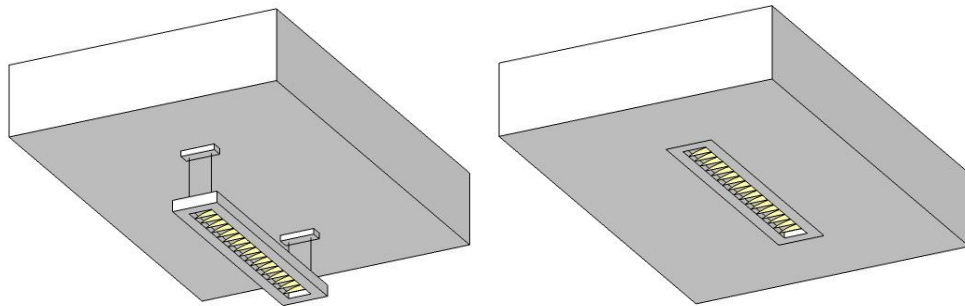


Figura 7.5. Luminaria suspendida (izquierda), Luminaria empotrada (derecha).

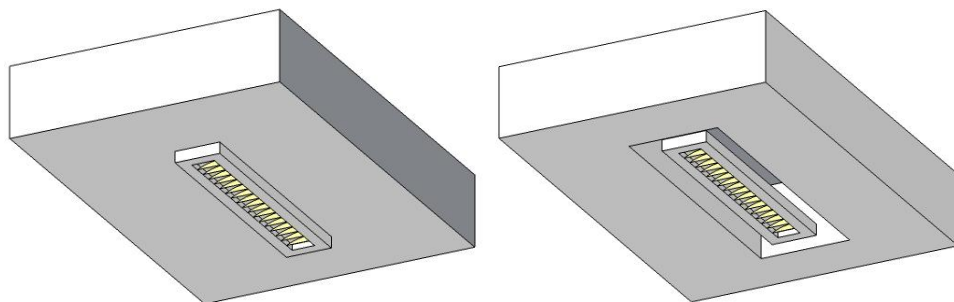


Figura 7.6. Luminaria sobre superficie (izquierda), Luminaria con ducto de ventilación (derecha).

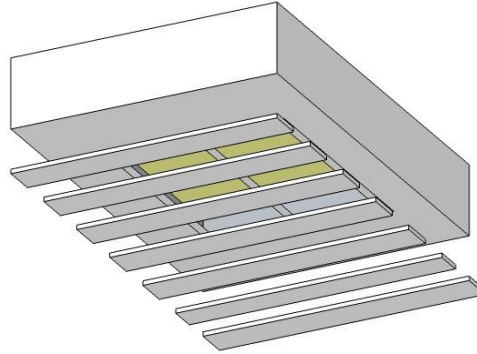


Figura 7.7. Techo luminoso con persianas.

Los valores de fracción radiante y fracción visible se tomarán de acuerdo a la Tabla 7.20. Estos valores asumen que no existe transmisión de calor por iluminación hacia zonas adyacentes [1].

7.3.2 Fracción Radiante

Es la fracción de calor por iluminación que afecta a la zona como radiación de onda larga (térmica). El programa calcula cuanta de esta radiación es absorbida por las superficies interiores de la zona, de acuerdo a la absortancia térmica de dichas superficies. [1].

7.3.3 Fracción visible

Es la fracción de calor por iluminación que afecta a la zona como radiación de onda corta (visible). El programa calcula cuánta de esta radiación es absorbida por las superficies interiores de la zona, de acuerdo a la absortancia térmica de dichas superficies [1].

Tabla 7.20. Valor de la fracción radiante, visible y factor convectivo para diferentes configuraciones de luminarias.

	Configuración de las luminarias, tubos fluorescentes				
	Suspendida	Sobre superficie	Empotrada	Techo luminoso con persiana	Luminaria con ducto de ventilación
Fracción de retorno de aire	0	0	0	0	0,54
Fracción radiante	0,42	0,72	0,37	0,37	0,18

Fracción visible	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Fracción convectiva	0,4	0,1	0,45	0,45	0,1

7.3.4 Control escalonado

El control escalonado permite encender y apagar el sistema de iluminación en etapas; mientras, que el control continuo descrito arriba proporciona un control muy preciso de los niveles de iluminancia mediante la atenuación de las luminarias, el control escalonado representa más bien 'paquetes' de luminarias que se encienden o apagan de acuerdo a los requerimientos de iluminación artificial.

La potencia eléctrica de entrada y la salida de luz varían de acuerdo a etapas distribuidas de manera equitativa; en este caso es posible establecer el número de etapas del sistema. Para el caso concreto del Edificio de Ingeniería Eléctrica será de tres (3) pasos como se observa en la Figura 7.8.

De esta manera la potencia eléctrica de entrada y el flujo luminoso varían de manera paulatina, en escalones uniformemente espaciados.

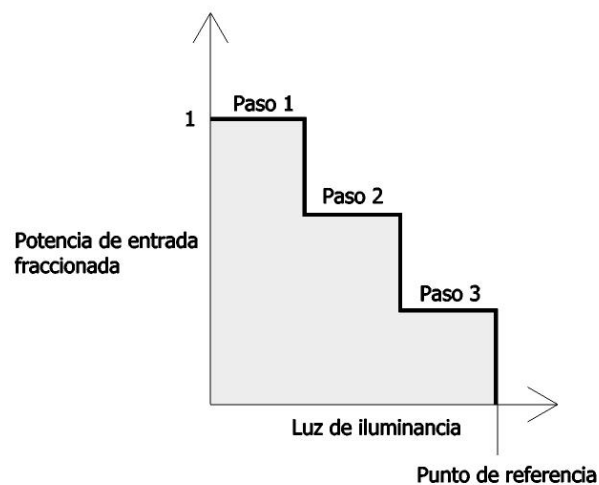


Figura 7.8. Control escalonado para la iluminación.

7.4 Cerramientos

Esta pestaña se empieza a utilizar desde el nivel llamado *Edificio* hasta el nivel más detallado llamado *Apertura*, para aprovechar las propiedades heredadas y de esta forma simplificar el proceso, Cada vez que se elija un nivel, las pestañas se modifican indicando los ítems que aplican a cada objeto, de esta forma *DesignBuilder* disminuye el riesgo de colocar propiedades erróneas a la construcción.

La plantilla de *cerramientos* se utiliza para cuando ya se tiene el modelado geométrico del edificio, este proceso se realizará partiendo desde la creación de las plantillas por medio de los materiales, para ello se utiliza la sub-pestaña de cerramientos, en este documento se relacionarán en las plantillas las propiedades térmicas y superficiales de los materiales utilizados en los muros, suelos, techos, ventanas y puertas; incluyendo también los techos verdes. También hay que tener en cuenta que para cada uno de estos ítems se pueden aplicar una plantilla predeterminada; sin embargo, para poder aplicar o elegir estas plantillas se debe inspeccionar las características que la componen, por otra parte si se cuenta con los datos, propiedades y especificaciones de los materiales usados en la edificación se pueden elaborar las plantillas que no existan.

7.4.1 Muros exteriores

Son aquellos muros que rodean la construcción o edificio. En la Figura 7.9 resalta los muros expuestos a la intemperie del Edificio de Ingeniería Eléctrica y los cuales se detallaran a continuación (ver Anexo I).

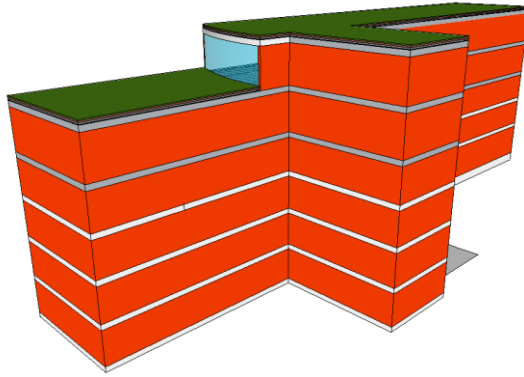


Figura 7.9. Muros externos del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Para los muros exteriores se deben obtener los datos de grosor de los materiales que componen las paredes para realizar el relleno de especificaciones. Se debe tener en cuenta que *DesignBuilder* para cada bloque (Nivel Bloque) se le aplica un solo grosor de pared, es decir todas las paredes que rodean el bloque tienen un solo espesor.

Por medio de los planos del Edificio de Ingeniería Eléctrica se determinó un ancho de muro de 0,23 [m] para todos los Pisos (Bloques), estos están compuestos por tres capas (ver Tabla 7.21 y Figura 7.10):

Tabla 7.21. Capas con las especificaciones del muro.

Material	Espesor [m]	
Aplanado de cemento arena	0,015	0,23 [m]
Muro de ladrillo H-20	0,2	
Aplanado de yeso	0,015	

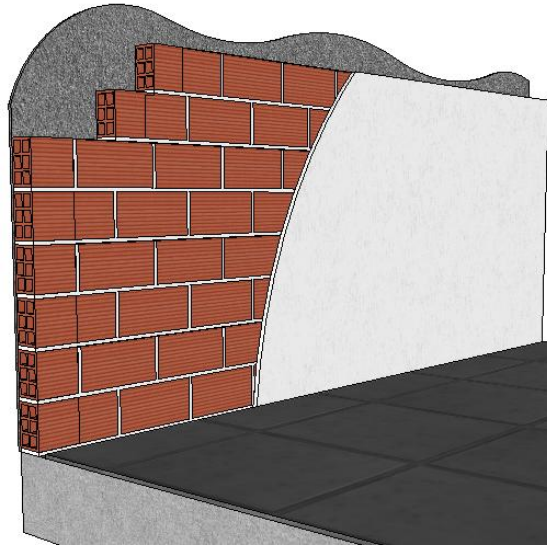


Figura 7.10. Composición del muro externo.

Si en la lista de materiales que se encuentra en la base de datos de *DesignBuilder* no existen las características que se necesitan, se puede agregar un material o también copiar o editar uno existente. En este caso se escogen los siguientes materiales: ladrillo, yeso y morteros de cemento; se agregan desde el más externo hasta el más interno; a continuación se muestran los materiales escogidos de acuerdo a la Tabla 7.22:

Tabla 7.22. Base de datos de materiales de *DesignBuilder*.

Hormigones	
	Cement / plaster / mortar - cement
Ladrillo y mampostería	
	Brick

Nota: *DesignBuilder* no acepta grosores superiores de 0,5 para cada material.

7.4.2 Cubiertas

Cubierta Plana: es la única que aplica para el Edificio de Ingeniería Eléctrica, ya que las terrazas para los pisos 4 y 5 son planas. Hay que tener en cuenta que la edificación tiene techo verde, es decir un recubrimiento vegetal. *DesignBuilder*

tiene una opción en materiales para introducir las características de las Terrazas Verdes colocando las propiedades biofísicas de la planta (ver Anexo I).

La terraza del edificio se realizó en dos partes para el modelo virtual: la primera, compuesta por el bloque externo el cual simulará el recubrimiento vegetal y la segunda, el techo de los bloques del 4to y 5to Piso lo cuales simularán las capas debajo de la vegetación. La Tabla 7.23 describe los materiales de las capas junto con sus espesores y en la Figura 7.11 muestra el orden de cada una de ellas.

Tabla 7.23. Capa para el techo del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Capas para el techo

	Material	Espesor [m]	
Bloque externo	Prado	0,07	0,19 [m]
	Abono techo verde	0,12	
Techos de Pisos 4to y 5to	Capa de drenaje de aire	0,01	
	Capa Geotextil	0,001	
	Sellante	0,02	
	Placa de concreto aligerado	0,4	
	Capa de Aire	0,3	
	Cielo raso (Lámina de yeso)	0,015	

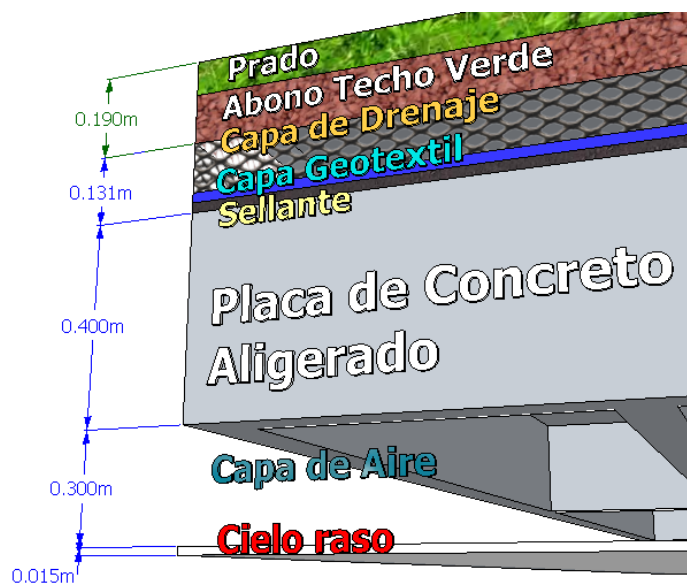


Figura 7.11. Capas del techo del Edificio de Ingeniería Eléctrica

Para el bloque externo se elaboró una plantilla de material para cubierta verde; ya habiendo elegido el bloque de la terraza en el software, se va a la pestaña de *Cerramientos* y ubica en: *Bloque Componente / Material*, se copia y edita una plantilla existente con las especificaciones de la terraza y se rellenan las características de la vegetación en los ítems de *Material* y de *Cubierta Verde*. Las Tablas 7.24 y 7.25 muestran las características de la vegetación de la terraza que se utilizaron en la plantilla.

Tabla 7.24. Datos de materiales de *DesignBuilder* para el material de suelo cultivado.

Arenas, piedras y tierras	Cultivated Clay Soil 12,5% D.W. Moisture
---------------------------	--

Tabla 7.25. Características de la cubierta verde utilizada en la terraza del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Cubierta verde							
Altura de las plantas (vegetación) (m)	Índice de área de las hojas	Reflectividad de las hojas	Emisividad de las hojas	Resistencia estómic mínima [s/m]	Máximo contenido volumétrico de humedad en saturación	Mínimo contenido volumétrico de humedad residual	Contenido volumétrico de humedad inicial
0,07	5	0,22	0,95	100	0,5	0,01	0,15

Posterior a elaborar la plantilla para la cubierta verde, se procede a relacionar las otras 6 capas en el techo de los bloques de los pisos 4 y 5, estas capas se especifican de la misma forma que el proceso de los Muros de Exteriores, describiendo el grosor y el respectivo material. La Tabla 7.26 es la lista de materiales elegidos de la base de datos de *DesignBuilder*.

Tabla 7.26. Materiales de la base de datos de *DesignBuilder* para el techo.

Gases	Air Gap 50mm (downwards)
Materiales Aislantes	Mineral fibre / Wool - fibre, textile, organic bonded, at 10°C
Alfombras y revestimientos de Suelo	Rubber floor covering

Hormigones	
	Placa de concreto armado E3T
Gases	
	Air Gap 300mm (downwards)
Yesos	
	Plasterboard

7.4.3 Particiones Interiores

Las particiones interiores demarcan las zonas internas de una construcción como son: pasillos y cuartos, para este edificio hay paredes de tres tipos: el primero en mampostería de ladrillo *H-15*, el segundo tipo son paredes en *SUPERBOARD* y el tercero son las divisiones de las oficinas (ver Tabla 7.27). En la Figura 7.12 se puede apreciar en color crema las paredes Tipo 2 y en naranja las Tipo 1 (ver Anexo I).

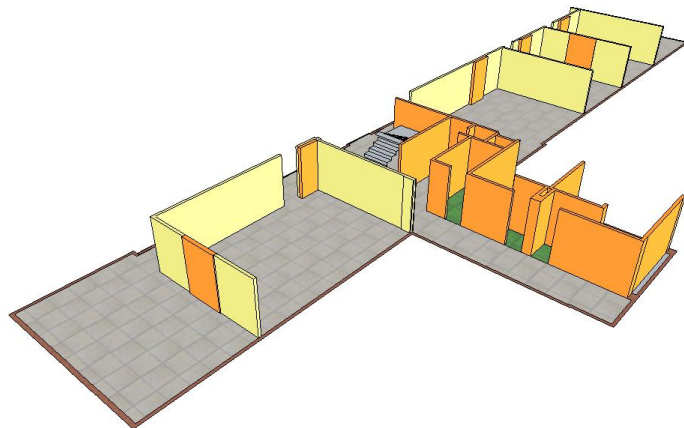


Figura 7.12. Particiones interiores del Edificio de Eléctrica (Ver Anexo I).

Tabla 7.27. Capas con las especificaciones del muro interno.

	Material	Espesor [m]	
Tipo 1	Aplanado de yeso	0,015	0,18 [m]
	Muro de ladrillo H-15	0,15	
	Aplanado de yeso	0,015	
Tipo 2	Aplanado de yeso	0,015	0,18 [m]
	Placa <i>SUPERBOARD</i>	0,01	

	Fibra de vidrio	0,01	
	Aire	0,11	
	Fibra de vidrio	0,01	
	Placa <i>SUPERBOARD</i>	0,01	
	Aplanado de yeso	0,015	
Tipo 3	Paño	0,005	0,07 [m]
	Madera	0,01	
	Aire	0,04	
	Madera	0,01	
	Paño	0,005	

Para las particiones interiores se tomará un espesor de 0,18 [m] y de 0,07 [m], en la Figura 7.13 se muestran los tipos de muros utilizados en el Edificio de Ingeniería Eléctrica; para este proceso se repite el proceso anterior (Muros Externos) pero en el ítem de paredes internas. Las Tablas 7.28, 7.29 y 7.30 describen los materiales y el orden en que se deben escoger.

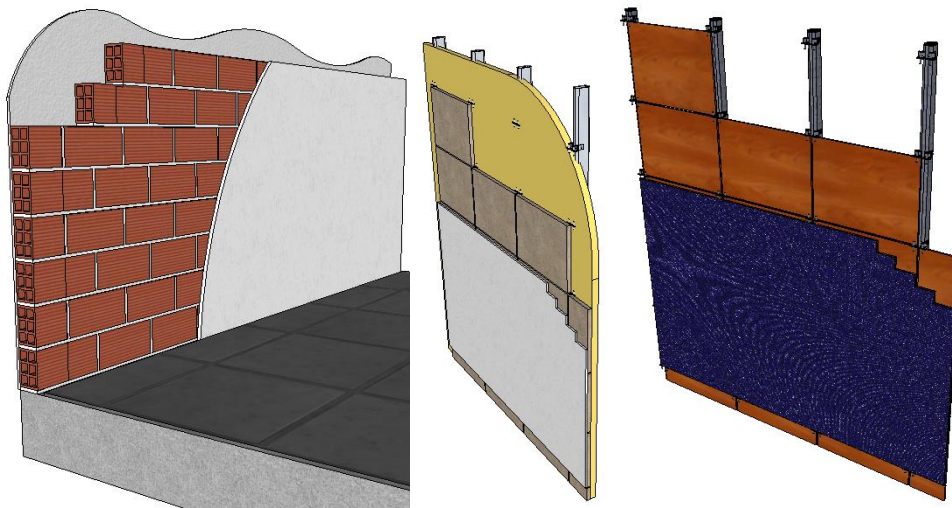


Figura 7.13. Composición del muro interno. Izquierda: Tipo 1, centro: Tipo 2 y derecha: Tipo 3.

Una de las limitaciones del software es que en un bloque sólo se puede manejar un único espesor para las divisiones internas, para este caso se realizaron a 0,18 [m] todos los pisos excepto la quinta planta con un espesor de 0,07 [m].

Tabla aplicable a las divisiones Tipo 1.

Tabla 7.28. Datos de materiales de *DesignBuilder* para las divisiones internas Tipo 1.

Yesos	Cement / plaster / mortár - cement plaster
Ladrillo y mampostería	Brick

Tabla aplicable a las divisiones Tipo 2.

Tabla 7.29. Datos de materiales de *DesignBuilder* para las divisiones internas Tipo 2.

Yesos	Cement / plaster / mortár - cement plaster
Yesos	Gypsum Plasterboard
Materiales aislantes	Glass Fibre / wool - fibre, strawboard - like
Gases	Air **** DOES NOT INCLUDE EFFECT OF CONVECTION - NOT FOR GENERAL USE ****

Tabla aplicable a las divisiones Tipo 3.

Tabla 7.30. Datos de materiales de *DesignBuilder* para las divisiones internas Tipo 3.

Gases	Air Gap 10mm X4
Alfombras y revestimientos de suelo	Synthetic Carpet
Maderas	Hardboard (Standard)

7.4.4 Suelos

Suelo sobre terreno: es el suelo de la planta más baja de la construcción la cual está en contacto con la superficie externa. Este suelo es de dos tipos para

esta edificación: el primer tipo está compuesto por dos capas, concreto brillante con endurecedor y la placa en contacto con el suelo; y el segundo tipo está compuesto por tres capas, una es la baldosa, otra la masilla de pega y por último la placa que está en contacto con el suelo. La Tabla 7.31 y la Figura 7.14 describen los tipos de suelo junto con sus características (ver Anexo I).

Tabla 7.31. Capas del suelo sobre terreno.

	Material	Espesor [m]
Tipo 1	Piso en concreto brillante, con endurecedor	0,05
	Placa de concreto en contacto con el terreno	0,1
Tipo 2	Piso en cerámica tipo Duropiso	0,01
	Masilla de pega	0,01
	Placa de concreto en contacto con el terreno	0,1

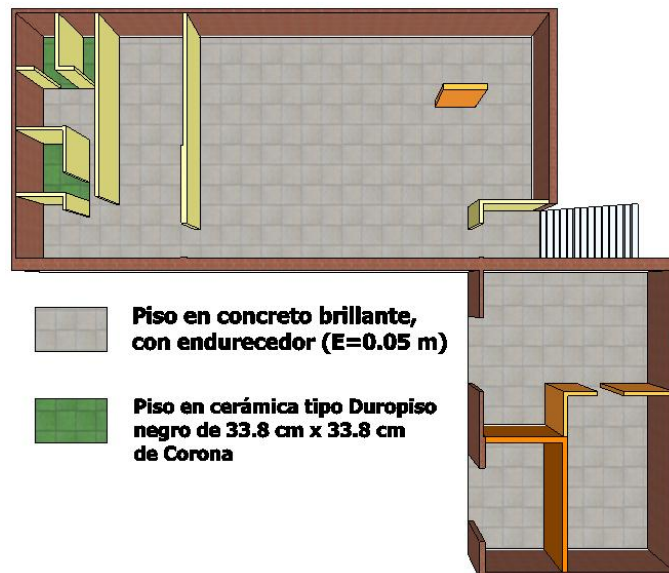


Figura 7.14. Tipos de suelo en contacto con el terreno.

Ahora se procede a relacionar estas capas con la base de datos de *DesignBuilder*, en la Tabla 7.32 se encuentran los materiales que se relacionan con los utilizados en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Tabla 7.32. Datos de materiales de *DesignBuilder* para el suelo sobre terreno.

Hormigones	Aerated Concrete Slab
Hormigones	Cast Concrete
Baldosas, azulejos y tejas	Ceramic / porcelain
Yesos	Cement / plaster / mortar - cement plaster

Suelo Interior: son aquellos que no están en contacto con el terreno, este caso se presenta para las edificaciones que tienen más de un piso. En la edificación se tiene parte del primer piso y de ahí en adelante todos son suelo interior. La composición de este suelo es similar al descrito anteriormente con la diferencia de que tiene una placa de concreto armado aligerado de 40 cm de espesor (ver Anexo I).

En la Figura 7.15 se muestran los tipos de piso con la ubicación correspondiente y la Tabla 7.33 asigna los espesores a cada material, se tratan dos tipos de piso ya que las escaleras y la rampa se realizan con *Bloque Componente*.

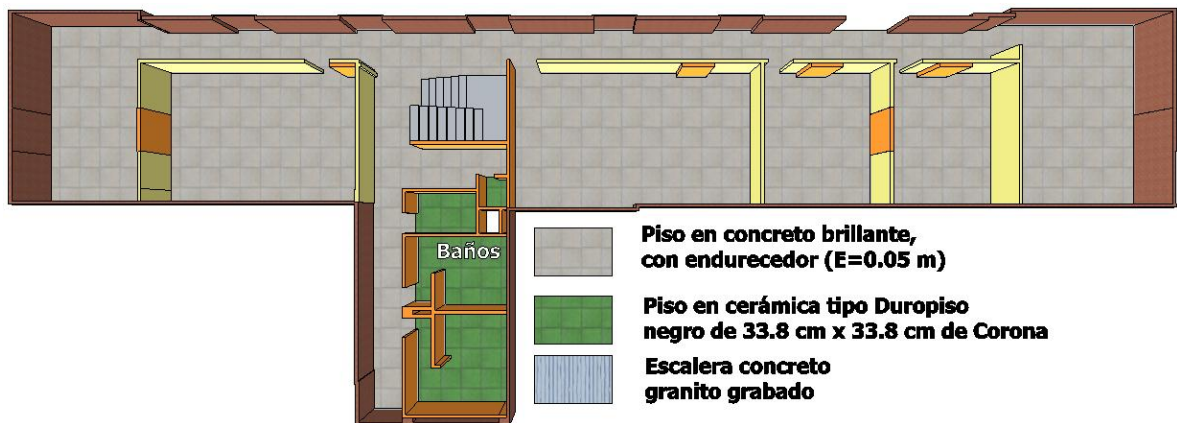


Figura 7.15. Tipos de suelo para las placas superiores a las que están sobre terreno (Piso 2).

Tabla 7.33. Capas del suelo sobre terreno.

	Material	Espesor [m]
Tipo 1	Piso en concreto brillante, con endurecedor	0,05
	Placa de Concreto Armado Aligerado	0,4
Tipo 2	Piso en cerámica tipo Duropiso	0,01
	Masilla de pega	0,01
	Placa de Concreto Armado Aligerado	0,4

Placa de concreto armado aligerado

Para la placa de concreto armado aligerado se opta por crear un material ya que tiene volúmenes de aire (Ver Figura 7.16), para la elaboración de este material se utiliza el Anexo J que describe la utilización de las resistencias térmicas para materiales en disposición paralela.

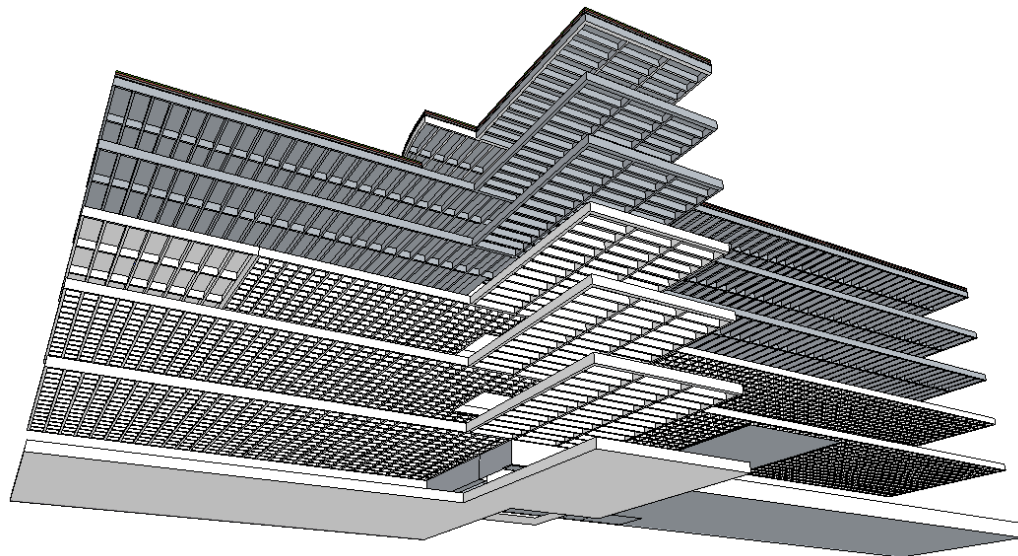


Figura 7.16. Placas de concreto armado con un espesor de 0,4 [m] cada una.

La placa de concreto armado aligerado se simula realizando los respectivos cálculos hallando el valor R [m²-K/W] equivalente, para realizarlo se hallan el paralelo resistivo de la placa de aire y concreto de 0,35 [m] de espesor y se le suma la parte de 0,05 [m] de espesor de concreto armado. En la Tabla 7.34 se muestran las propiedades de estos dos elementos.

Tabla 7.34. Valores característicos de los materiales utilizados en la placa de concreto, sacados de la base de datos de DesignBuilder.

Material	Valor R [m ² -K/W]	Conductividad [W/m-K]	Calor Específico [J/Kg-K]	Densidad [Kg/m ³]
Aire	0,23	0,025	1 008	1,23
Placa de Concreto Armado Aligerado	0,15	2,3	1 000	2 300

$$R_{Equiv} = 0.23 + \frac{0.23 \cdot 0.15}{0.23 + 0.15} = 0.3208 [m^2 - K / W]$$

Para finalizar con la realización del material en la base de datos de DesignBuilder, se copia y edita “Hormigones/ Concrete, Reinforced (with 1% steel)” y se crea con el nombre del nuevo material, para caracterizarlo se llamará: *Placa de concreto armado E3T* y el único dato que cambiamos de la plantilla es el **Valor R = 0,3208 [m²-K/W]**. Este nuevo material es el que usamos para los pisos interiores en el Edificio de Ingeniería Eléctrica. En la Tabla 7.35 indica la localización de este material.

Tabla 7.35. Plantilla de material creada para el Muro SUPERBOARD.

Hormigones	Placa de concreto armado E3T
------------	------------------------------

Cada material es relacionado en la base de datos de DesignBuilder, se busca que las características de este sean muy similares, para cuando se simule la edificación tenga resultados próximos a la realidad. La Tabla 7.36 muestra los materiales utilizados para los pisos de la edificación.

Tabla 7.36. Datos de materiales de DesignBuilder para el suelo interior.

Hormigones	Aerated Concrete Slab
Hormigones	Placa de concreto armado E3T
Baldosas, azulejos y tejas	Ceramic / porcelain

Yesos	Cement / plaster / mortor - cement plaster
-------	--

7.4.5 Sub-superficies

Puertas Exteriores: Son las puertas que dan entrada al edificio, estas están ubicadas, unas en la entrada para en transformador y otra para la planta eléctrica, y las puertas traseras en la fachada norte que están ubicadas desde el segundo piso hasta el último. Todas las puertas exteriores de la fachada norte del Edificio de Ingeniería Eléctrica son metálicas como se aprecian en color naranja en la Figura 7.17, las de la fachada sur de la entrada del transformador, la planta y la salida auxiliar del sótano también son metálicas y para la entrada principal puerta de vidrio (ver Anexo I).



Figura 7.17. Puertas externas en naranja de la fachada norte del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Con base en descripción anterior se escoge las respectivas puertas en la lista de *DesignBuilder* descritas en la Tabla 7.37.

Tabla 7.37. Característica de las puertas según la lista de *DesignBuilder*.

Puertas	Metal door
---------	------------

Para la puerta principal en vidrio se utiliza las siguientes especificaciones descritas en las Tablas 7.38 y 7.39.

Tabla 7.38. Espesor del material utilizado para la puerta principal del edificio.

Material	Espesor [m]
Vidrio	0,01

Tabla 7.39. Material para la puerta principal según la base de datos de *DesignBuilder*.

Vidrios	Glass - cellular sheet
---------	------------------------

Puertas Interiores: Son todas las puertas en el interior de los cerramientos. Hay de tres materiales; el primer tipo es de madera, el segundo tipo es de aluminio y el tercer tipo es de vidrio (Anexo E), en la Figura 7.18 muestra la ubicación de las puertas para el segundo y tercer piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica (ver Anexo I).

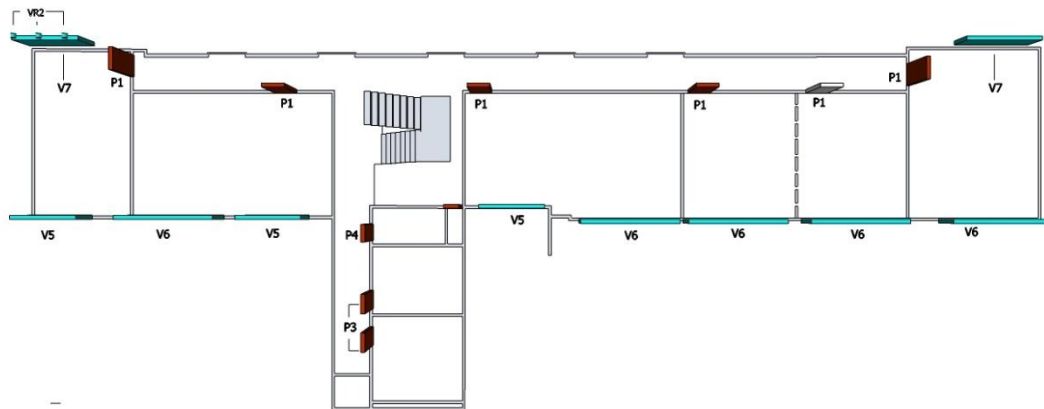


Figura 7.18. Ubicación de las puertas interiores del 2do piso de la Edificación de Ingeniería Eléctrica.

La lista de *DesignBuilder* para puertas solo se encuentra el segundo tipo (Madera), para las otras puertas es necesario crear la plantilla de aluminio y de vidrio. Este se realiza del mismo modo que el bloque externo para la cubierta verde; entonces, se escoge de la lista una plantilla de puerta, se copia y edita

colocando los materiales de vidrio y aluminio de la lista de materiales junto con sus respectivos grosores. La Tabla 51 da los espesores de cada material y las selecciones en la lista de la base de datos de *DesignBuilder* en las Tablas 7.40 y 7.41.

Tabla 7.40. Tipo de puertas en el interior de la edificación.

	Material	Espesor [m]
Tipo 1	Madera	0,035
Tipo 2	Aluminio	0,003
	Aire	0,01
Tipo 3	Aluminio	0,003
	Vidrio	0,005

Para el tipo 1 se elige de la lista de puertas la plantilla de *puerta en madera*.

Tabla 7.41. Puerta interior en la plantilla de *Acabados Interiores Tipo 1*.

Puertas	Wooden door
---------	-------------

Para el tipo 2 y 3 se realiza la plantilla con los materiales descritos en la Tabla 7.42.

Tabla 7.42. Materiales para las puertas interiores Tipo 2 y 3.

Metales	Aluminio
Gases	Air Gap 10mm
Vidrios	Glass - cellular sheet

7.4.6 Bloque de componente

Se activa la casilla de *Sombras y reflexiones* para darle propiedades al material del *Bloque Componente*, y se elige una *programación de transmitancia* en *off* y la *Transmitancia máxima* en 0,000, es decir que el los bloques componentes para la

Edificación de Eléctrica son sólidos, no los atraviesa los rayos de luz y no cambian a través del tiempo (Anexo I).

Los bloques componentes se caracterizan por tener tres colores: verde, marrón y morado en DesignBuilder (Anexo I); aquí se caracterizarán los bloques de color morado que son materiales propios de la edificación, a continuación se describirán los tipos de bloques según su material.

La Figura 7.19 muestra algunos de los materiales utilizados en el Edificio de Ingeniería Eléctrica diferenciados por colores, estos también estarán especificados en el Anexo I. En color **rojo** se muestran el material metálico, en color **naranja** el concreto, en **azul** el *SUPERBOARD* y en **negro** el policarbonato, también la Tabla 7.43 los clasifica por grosores.

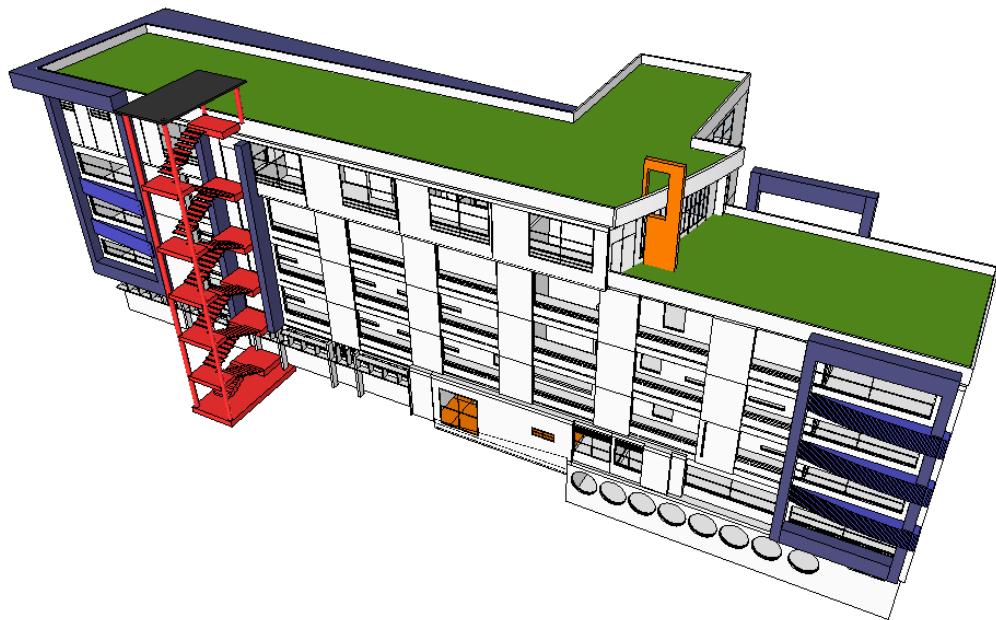


Figura 7.19. Materiales en colores de los bloques componentes de la edificación.

Tabla 7.43. Materiales que constituyen los *Bloques Componentes*. (*Según ubicación).

	Nombre	Material	Espesor [m]
Tipo 1	Aerobrise	Aluminio	0,005
Tipo 2	Rampa	Concreto	0,1

Tipo 3	Escaleras de emergencia	Metálicas	0,005
Tipo 4	Escaleras de emergencia	Concreto	0,05
Tipo 5	Placa de concreto en contacto con el terreno	Concreto	0,1
Tipo 6	Columna entrada	Concreto	0,25
Tipo 7	Fachada SUPERBOARD: Parasol entrada. Muros y parasoles en fachada.	Baldosa	0,005
		Masilla de pega	0,005
		Placa SUPERBOARD	0,01
		Fibra de vidrio	0,01
		Aire	Variable*
		Fibra de vidrio	0,01
		Placa SUPERBOARD	0,01
		Masilla de pega	0,005
		Baldosa	0,005
Tipo 8	Techo escalera de auxiliar	Polycarbonato	0,005

Ahora en la Tabla 7.44 se procede a relacionar los tipos de materiales de los bloques en la lista disponible de *DesignBuilder* todos los Tipos a excepción del siete (7), ya que son los más sencillos.

Tabla 7.44. Materiales de los Bloques Componentes.

Metales	
	Aluminium
Hormigones	
	Cast Concrete
Metales	
	Iron, cast
Plásticos, sólidos	
	Polycarbonates

Una vez se haya realizado la plantilla de material del bloque Tipo 7, se deberá hacer un material con las propiedades térmicas similares al Muro *SUPERBOARD*, para esto se recolecta los valores R mostrados en la Tabla 7.45 y se suman (Ver Anexo J), con esto se crea un material con el valor R resultante. La suma se debe a que las resistencias térmicas están en serie, luego el proceso es una alternativa

para este caso (ver Tabla 7.46). Además de esto cuando se copia y se edita un material para cambiarle el valor R debe ser el más externo, es decir la baldosa para que adquiera sus propiedades superficiales.

Materiales de los cuales se extractaron los datos necesarios para elaborar el muro SUPERBOARD.

Tabla 7.45. Materiales de la base de datos de DesignBuilder para el Muro SUPERBOARD.

Baldosas, azulejos y tejas	Ceramic / Porcelain
Yesos	Cement / plaster / mortar - cement plaster
Yesos	Gypsum Plasterboard
Materiales aislantes	Glass Fibre / wool - fibre, strawboard - like
Gases	Air **** DOES NOT INCLUDE EFFECT OF CONVECTION - NOT FOR GENERAL USE ****

Tabla 7.46. Características térmicas de los materiales utilizados en el Muro SUPERBOARD.

Material	Valor R [m ² -K/W]	Conductividad [W/m-K]	Calor Especifico [J/kg-K]	Densidad [kg/m ³]
Baldosa	0,15	1,3	840	2 300
Masilla de pega	0,15	0,72	840	1 760
Placa SUPERBOARD	0,15	0,25	1 000	900
Fibra de vidrio	0,15	0,085	2 100	300
Aire	0,23	0,025	1 008	1,23
Fibra de vidrio	0,15	0,085	2 100	300
Placa SUPERBOARD	0,15	0,25	1 000	900
Masilla de pega	0,15	0,72	840	1 760
Baldosa	0,15	1,3	840	2 300
SUMA	1,43			

Finalmente, se copia y edita “Baldosas, azulejos y tejas/(Cerámica / Porcelana)” y se crea con el nombre del nuevo material, para diferenciarlo se llamará: *Material*

muro superboard E3T - Bloque componente y el único dato que cambiamos de la plantilla es el valor $R=1,43[m^2-K/W]$, y con eso se concluye la elaboración del nuevo material para el Muro SUPERBOARD. En la Tabla 7.47 muestra la ubicación en la lista de DesignBuilder.

Tabla 7.47. Plantilla de material creada para el Muro SUPERBOARD.

Otro	Material Bloque Componente Muro SUPERBOARD E3T
------	--

7.4.7 Convección superficial

Para el diseño de la calefacción y la refrigeración se escogen los parámetros que se tomaron en cuenta en el Edificio de Ingeniería Eléctrica, estos diseños se realizaron según la norma ASHRAE. También estos parámetros están relacionados con el formato EPW y a partir de ellos se calculan los niveles de confort, ya que con esto es posible predecir si las temperaturas atraviesan las capas de los muros produciendo discomfort (ver Anexo I).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS: CAPÍTULO 7

- [1] CIUDAD Y CONFORT AMBIENTAL: ESTADO DE LA CUESTIÓN Y APORTACIONES RECIENTES. Autores: José Tornero, Alejandro J. Pérez Cueva, Francisco Gómez Lopera. Consultado 1 de Octubre de 2012. Disponible en la web <URL: http://www.uv.es/cuadernosgeo/CG80_147_182.pdf >
- [2] Manual *DesignBuilder*. Consultado 1 de Octubre de 2012. Disponible en la web <URL: http://www.designbuilder.co.uk/component/option.com_docman/task.doc_view/gid.13/Itemid.30/>
- [3] Estrategias bioclimáticas en arquitectura. Autor: María López de Asiain Alberich. Consultado: 1 de Octubre de 2012. Disponible en la web <URL: http://ubonline.ags.up.mx/librosdigitales/ESTRATEGIAS_BIOCLIMATICAS_EN_ARQUITECTURA.pdf >
- [4] *ASHRAE 2009 Handbook Fundamentals*. Descargado en formato PDF. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.ashrae.org/resources--publications/handbook> >

8. Evaluación de pre-requisitos mínimos *LEED*

Los requisitos mínimos del programa *LEED* 2009 (RMP) definen las características mínimas que debe tener un edificio para ser elegible para la certificación según *LEED*. Los edificios deben cumplir en su totalidad con cada uno de los ocho *RMP* nombrados a continuación. Las excepciones a los *RMP* de *LEED* 2009 se considerarán caso por caso en especiales circunstancias [1].

Obligación de cumplir las leyes medioambientales

El edificio fue diseñado con el fin de cumplir las leyes y regulaciones ambientales aplicables en Colombia. Para la parte infraestructural de la edificación se tomaron en cuenta la siguientes normativas [2].

- Norma Sismo Resistente (NSR-10).
- Instituto de normas técnicas (ICONTEC).
- American Bridge Welding Code (AWS).
- American Society for Testing and Materials (ASTM).
- American Concrete Institute (ACI).
- Portland Cement Association (PCA).
- Normas técnicas de la Electricadora de Santander S.A.E.S.P (ESSA).

En el caso de los materiales referentes a ventilación suministrados para la ejecución de este proyecto y su montaje atenderán como mínimo las exigencias de la última edición de la normativa siguiente [2].

- *ASHRAE 2001, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.*
- *UL Standard 181 Underwrites Laboratories Inc.*

Y finalmente, para la parte de automatización se tuvieron en cuenta las siguientes normativas [2].

- Electronics Industries Association (EIA).
- International Telecommunication Union (ITU).
- International Electro technical Commission (IEC).
- American National Standards Institute (ANSI).
- Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA (IEEE).
- National Electrical Manufacturer" Association, USA (NEMA).
- National Fire Protection Association, USA (NFPA 70, 72 y 101).
- Underwriters Laboratories, USA (UL).

Condiciones para la certificación del edificio

El edificio debe incluir el anteproyecto del nuevo diseño y construcción o de la gran remodelación de al menos un edificio en su totalidad. Al no ser un edificio residencial no hay necesidad de especificar ni aplicar las excepciones excluidas por remodelación de los inquilinos [3].

Adicionalmente, si dos o más edificios comparten un único contrato de construcción y propiedad, están dentro de los límites de áreas contiguas y persiguen la certificación bajo el mismo sistema de clasificación, entonces se deberán certificar dichos edificios como un solo proyecto [3].

Condiciones de los límites de la parcela del Edificio

Cuando se segmenta una parcela grande en edificios *LEED* separados (ej. el escenario de un campus) se debe hacer una partición del campus o parcela total de forma que, conjuntamente, cada edificio *LEED* propuesto y cualquier edificio certificado *LEED* existente o potencial cercano incluya todas las parcelas o terrenos de la parcela sin exclusiones o dobles recuentos.

El límite del Edificio de Ingeniería Eléctrica y su parcela asociada se muestran en la Figura 8.1.

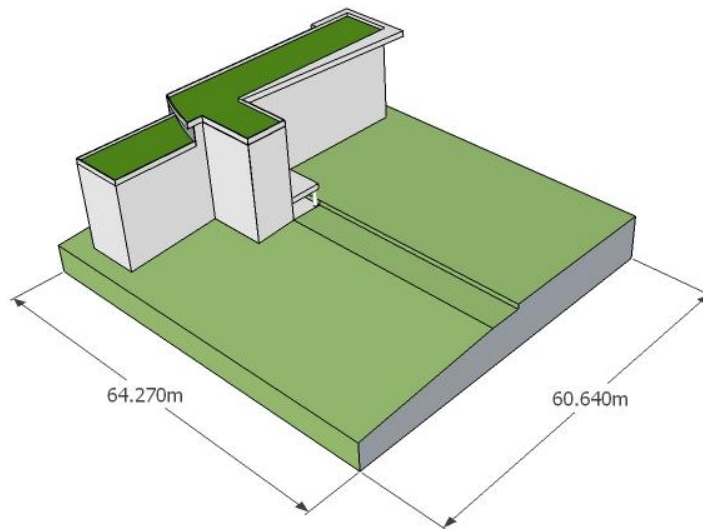


Figura 9.1. Tamaño parcela asociada al Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Condiciones para cumplir los requisitos mínimos de ETC y superficies de suelo

Un edificio que sirva a una o más ocupaciones de equivalencia en tiempo completo (ETC) calculadas como media anual es elegible para utilizar *LEED* en su totalidad. Si el edificio incluye menos de una *ETC* anual [4] para el caso del Edificio de Ingeniería Eléctrica solo se catalogará como una ocupación y su tasa de ocupación anual se describe en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1. Actividad del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

	Mes de inicio	Mes final	Semana inicio	Semana final
Administración	15-ene	15-dic	Lunes	Sábado
Especialización	15-ene	15-dic	Viernes	Sábado
Pregrado	8 meses, 22 días al mes		Lunes	Sábado

Posteriormente, el edificio debe incluir un mínimo de 93 m² brutos de superficie neta. [4] Para este caso el edificio supera este margen y como se describió anteriormente la superficie del edificio será aproximadamente 3 254 m².

Mínimos de ocupación (IMO)

Este requisito de *LEED* solo aplica a edificios existentes: operación y mantenimiento [1].

Actividad de registro y certificación.

Como consecuencia del registro según *LEED* 2009, debe darse un nivel sustancial de tiempo de actividad en la solicitud, lo que implica una actualización de los datos generales en la documentación remitida. Adicionalmente, la solicitud inicial de certificación *LEED* debe ocurrir no más de dos años después de que el proyecto se haya completado. La finalización del proyecto se considera como la fecha en la que el edificio recibe un certificado de ocupación, o documento oficial similar que indique que está listo para su uso [1].

Para el caso concreto del Edificio de Ingeniería Eléctrica no se puede evaluar este requisito al día de elaborado este proyecto, debido a que la estructura no se ha terminado, y por ende no se ha empezado el proceso de certificación.

Acceso del *USGBC*

Todos los edificio certificados o candidatos a certificación *LEED* 2009 deben comprometerse a permitir el acceso del *USGBC* a todos los datos reales disponibles de consumo de energía y agua del edificio completo en el futuro para

propósitos de investigación. Este acceso se debe garantizar durante un año después de conseguir la certificación LEED [1].

Relación mínima entre superficies

La superficie bruta total del edificio del proyecto LEED no debe ser menor del 2% de la superficie de la parcela del edificio LEED. Hay que precisar como en el caso del Edificio de Ingeniería Eléctrica de la UIS que la superficie de la parcela del proyecto es menor que la superficie de la parcela total y se puede observar en la Figura 8.2. La relación y sus respectivas áreas. Con los datos de la Tabla 8.2 se puede concluir que la relación de superficies es del 14,86%, por lo que la Edificación de Ingeniería Eléctrica cumple con esta condición.

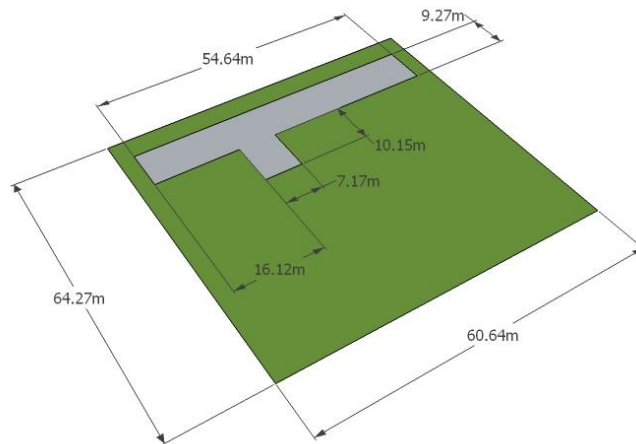


Figura 8.2. Relación edificio de ingeniería eléctrica con la parcela asociada.

Tabla 8.2. Relación mínima de superficies

Área ocupada por el edificio	579,28 m
Área total de la parcela	3897,33 m
Porcentaje de ocupación	14,86%

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS: CAPÍTULO 8

- [1] Sistema de certificación LEED. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: www.usgbc.org>
- [2] Licitación del proceso de modernización del edificio de ingeniería eléctrica. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: https://www.uis.edu.co/procesos_contratacion/contratacion/detalleProceso.jsp >
- [3] Requisitos mínimos LEED. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=1586> >
- [4] LEED On-line. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.spaingb.org/leedon-line.php>>

9. Conclusiones y recomendaciones

Este capítulo expone las principales conclusiones del trabajo de investigación realizado, así mismo se destacan algunas recomendaciones.

Las conclusiones se organizan para cada uno los objetivos que componen este trabajo de grado.

Metodología

- Con este trabajo de grado se logró emprender una iniciativa para el análisis de estrategias de confort térmico y visual en edificaciones a partir del software, orientado a crear conciencia en las personas sobre la necesidad de aprovechar las condiciones climáticas del entorno.
- La metodología propuesta, es una herramienta que busca establecer el nivel de sostenibilidad de una edificación, a partir del despliegue de tres (3) fases, compuestas por catorce (14) etapas, enfocadas en simplificar el proceso de análisis mediante el uso del software *DesignBuilder*.
- Se logró desarrollar la primera fase de la metodología establecida, que tuvo como escenario el Edificio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander, creando de esta manera el modelo virtual de la estructura y acondicionándolo para su posterior análisis.

EnergyPlus Weather

- Los datos de la estación meteorológica ubicada en la antigua estructura del Edificio de Ingeniería Eléctrica, se lograron adaptar al formato *EnergyPlus Weather (EPW)*, de esta manera se creó el archivo que condensa la información climática de esa zona del campus de la UIS.
- Se adoptaron para el desarrollo de esta etapa elementos generadores de valor agregado como: la creación del software *GenEPW*, que facilita la realización de archivos *EPW*, partiendo de los datos recopilados por una estación meteorológica.
- Se logró la realización de modelos que recrean el comportamiento del Sol durante un año en Bucaramanga, mediante el uso de programas como *Google SketchUp*, *Climate Consult*, y *Ecotect*, facilitando de esta manera analizar las estrategias que se desarrollen en edificaciones ubicadas en el departamento de Santander.
- El software *GenEPW* calcula todas las variables implícitas en el formato *EPW* que pueden ser calculados partiendo de los datos medidos por la estación meteorológica. Debido a que se descargaron algunos archivos correspondientes a diferentes zonas climáticas y se encontró que algunas variables se omiten o no son calculadas.

DesignBuilder

- Como resultado de aplicar la Fase 1 de la metodología, *creación del modelo virtual*, se logró la realización de un modelo 3D que permitiría realizar simulaciones del comportamiento de la estructura desde el punto de vista visual y térmico.
- Se creó una guía de modelado (ver CD), con la finalidad de facilitar la realización de modelos 3D de edificaciones a través del software *DesignBuilder*, este archivo de ayuda se recreó en diferentes formatos para facilitar aún más su visualización.

LEED

- Se realizó de manera introductoria el análisis de lineamientos *LEED*, con la finalidad de establecer la viabilidad de acreditar el edificio mediante este estándar internacional.
- Se logró determinar cuáles créditos *LEED* se pueden evaluar mediante el uso del Software *DesignBuilder*, de esta manera se puede una vez realizado las simulaciones del Edificio de Ingeniería Eléctrica se puede evaluar dos (2) pre-requisitos y veintiún (21) puntos distribuidos en tres (3) créditos.
- Para Bucaramanga no hay archivo en formato EPW disponible en la página de EnergyPlus, por lo que se construyó el formato EPW desde cero con los datos obtenidos con la estación meteorológica, realizando un aporte no solo para comunidad universitaria que requiera este archivo, sino también para ciudad, ya que facilitará las simulaciones que requieran tengan como motor de cálculo EnergyPlus.

Programas adicionales que se utilizaron en el proyecto

MS Excel: Se utilizó para realizar los cálculos de las tablas expuestas en el libro y como plataforma para la programación del Software GenEPW v2.5.

Visual Basic: A partir del diagrama de flujo y de variables (Ver capítulo 5), se programó con este lenguaje el GenEPW v2.5. (Ver Anexo Digital).

Solea-2 (ICARO): Con este software se realizaron algunas simulaciones para el confort visual y térmico adjunto en los anexos C y D.

Solar Tools (Ecotect): Con este programa se realizaron algunas simulaciones del comportamiento de las sombras con los edificios aledaños al Edificio de Ingeniería Eléctrica (Anexo D).

Google Sketchup: Se utilizó para realizar modelos de partes específicas del Edificio de Ingeniería Eléctrica, con el fin de tener una mayor facilidad en la

obtención de las medidas, estos modelos representan una ayuda importante durante el proceso de calibración.

ArchiCAD: A partir de este programa se realizaron todos los planos de corte del Edificio de Ingeniería Eléctrica, se tomaron las medidas y la composición de algunos materiales.

AutoCAD: Se utilizó para obtener la información acerca de las luminarias y de los equipos de refrigeración y ventilación utilizados en el edificio. También por su facilidad de uso fueron migrados a este programa los planos de corte sacados de ArchiCAD para la toma de medidas.

Climate Consultant: Se utilizó para realizar los diagramas bioclimáticos de los datos de la estación meteorológica a partir del archivo EPW (Ver Anexo C).

Adobe Reader: Se observaron los planos estructurales para la realización de las placas que componen el Edificio de Ingeniería Eléctrica.

MS Visio: Se realizaron los cuadros conceptuales y diagramas de flujo.

Recomendaciones

Una vez realizado el trabajo de grado se recomienda:

- Elaborar mediciones de las condiciones térmicas y visuales del Edificio de Ingeniería Eléctrica, para continuar la aplicación de las fases de la metodología propuesta se pueda establecer la precisión del software.
- Debido a que algunas variables sobre el comportamiento de las nubes no fueron medidas; es necesario, actualizar los datos en el archivo *EPW* de Bucaramanga, de esta manera se logrará un archivo sobre el comportamiento climático más preciso.
- Siempre que sea posible se recomienda utilizar los archivos en formato *gbXML*, ya que estos archivos condensan los datos geométricos e

información sobre materiales y cerramientos, lo que facilitará la realización del modelado virtual.

- Con la aplicación de la metodología es más fácil ver sus falencias y posteriormente se logre depurarla para actualizarla, de tal forma que se adapte en proyectos comerciales que pretendan evaluar sus estrategias de confort.
- La evaluación de las estrategias de una edificación a través de la metodología tiene como propósito brindar un apoyo en la generación de propuestas que resuelvan las deficiencias en el diseño arquitectónico, y además, producir ahorros económicos significativos.

Bibliografía

¿QUÉ ES LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA? Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL:

http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Construccion_Verde/Arquitectura_Bioclimatica.asp >

Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios. Anexo A3 / A3.3.2 / A3.3.3 / A3.3.4 Consultado:

Agosto1 de 2012. Disponible desde la web, <URL:

http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10055_GT_aprovechamiento_luz_natural_05_ff12ae5a.pdf >

Apuntes Radiación Solar, Apuntes-Radiación-Solar-oct-2003.doc. Consultado: Agosto1 de 2012. Disponible desde la

web, <URL: <http://www.ecomaipo.cl/solar/documentos/> >

ARQUITECTURA BIOCLIMATICA. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL:

<http://abioclimatica.blogspot.com/> >

ARQUITECTURA BIOCLIMATICA.BIOCONSTRUCCION. Disponible en internet <URL:

<http://www.adoss.com/es/inicio/index.asp?iddoc=22>>

ASHRAE 2009 Handbook fundamentals, STATIONS and SI, Capítulo 14 y 802220_s.pdf. Algunas estaciones del

2005 ASHRAE Handbook fundamentals. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible desde la web, <URL:

<http://millerengr.com/download/Code/ASHRAE/STATIONS/> >

ASHRAE 2009 Handbook Fundamentals. Descargado en formato PDF. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en

la web <URL: <http://www.ashrae.org/resources--publications/handbook> >

ASHRAE 2009 Handbook Fundamentals. Descargado en formato PDF. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en

la web <URL: www.ashrae.org >

Atmosfera. Descargado en formato PDF. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL:

www.fhuc.unl.edu.ar >

AUTOMATIZACIÓN DE EDIFICIOS: ¿PRESENCIAMOS UN BOOM?. Artículo de Prensa del Periódico El Espectador.

Agosto 06 de 2010. Disponible desde la web: <URL:

<http://www.acrlatinoamerica.com/201001201729/articulos/automatizacion-de-edificios/un-edificio-verde-es-un-edificio-inteligente-i-ver-el-articulo-completo.html> >

Ayuda de DesignBuilder. Sacado de DesignBuilder-Espanol_Prelim01.chm, Consultado: Agosto 20 de 2012,

Disponible en la web <URL: <http://www.designbuilder.co.uk/helpv3.0/> >

Building Energy Software Tools Directory. Lista de programas que utilizan EnergyPlus como motor de cálculo.

Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL:

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm >

CALIDAD AMBIENTAL. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.cdmb.gov.co/web/index.php/calidad-ambiental-supmenu-282.html> >

CALIDAD AMBIENTAL. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: http://www.eduambiental.org/index.php?option=com_content&task=view&id=224&Itemid=122 >

CALIDAD DE AMBIENTES INTERIORES. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: http://www.trabajoyprevencion.jcyl.es/web/jcyl/binarios/816/48/Edificios_saludables_1parte.pdf >

Capítulo 6: Puertas y ventanas. Consultado 1 de Octubre de 2012. Disponible en la web <URL: http://www.bae.uky.edu/energy/residential/guide/spanish/CAPITULO_6.pdf >

Características de ArchiCAD 14. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.graphisoft.es/producto/archicad/ac10/ac10nc.htm> >

Características térmicas básicas, Consultado: Junio 17 de 2012, Disponible en la web <URL: www.sol-arq.com >

Caracterización y evaluación de la radiación solar, Universidad Internacional de Andalucía Autores: Llanos Mora López y Lourdes Ramírez Santigosa. Tema 1, 2, 3, 4 y 5. Consultado: Agosto 1 de 2012. Disponible desde la web, <URL: <http://ocw.unia.es/ciencias-de-la-ingenieria/caracterizacion-y-evaluacion-de-la-radiacion-solar/materiales-de-estudio> >

CERTIFICACIÓN LEED. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: http://www.aei-col.com/cms/front_content.php?idcat=130 >

CFD Computational fluid dynamics, Consultado: 15 Agosto de 2012. Disponible desde la web, <URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Computational_fluid_dynamics >

CIUDAD Y CONFORT AMBIENTAL: ESTADO DE LA CUESTIÓN Y APORTACIONES RECIENTES. Autores: José Tornero, Alejandro J. Pérez Cueva, Francisco Gómez Lopera. Consultado 1 de Octubre de 2012. Disponible en la web <URL: http://www.uv.es/cuadernosgeo/CG80_147_182.pdf >

Clima y confortabilidad humana. Aspectos metodologicos. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://dspace.uah.es> >

Confort Térmico y Tipología Arquitectónica en clima Cálido-Húmedo. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: www.mastersuniversitaris.upc.edu >

Confort Térmico. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: [http://www.farg.edu.uy/joomla/images/stories/termico/Cap1_confort%20Termico\(1\).pdf](http://www.farg.edu.uy/joomla/images/stories/termico/Cap1_confort%20Termico(1).pdf) >

CONFORT VISUAL Y DISEÑO DE ILUMINACION. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.voltimum.es/news/727/cm/confort-visual-y-diseno-de-iluminacion---cual-es-el-objetivo-de-una-instalacion-de-alumbrado-.html> >

Wikipedia. Consultado: Agosto 20 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Transmitancia> >

Cuchí, Albert. EDIFICACION SOSTENIBLE, UPC. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL:

<http://portalsostenibilidad.upc.edu> >

DATOS CLIMÁTICOS EXISTENTES EN ENERGYPLUS. Consultado: 15 Agosto de 2012. Disponible desde la web,

<URL: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm >

DESIGNBUILDER DESCRIPCIÓN Y CAPACIDADES. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL:

<http://www.designbuilder.es/pdf/DesignBuilder.pdf> >

DesignBuilder Software. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL:

<http://www.greenplan.co.za/images/DesignBuilder%20A4%20Flyer.pdf> >

DESIGNBUILDER. Consultado: 15 Agosto de 2012. Disponible desde la web, <URL:

<http://www.designbuilder.es/pdf/DesignBuilder.pdf> >

Determinación del Nivel de confort e indicadores de calor. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web

<URL: <http://www.reitoria.uri.br.htm> >

Días festivos de Colombia. Consultado: Agosto 3 de 2012. Disponible desde la web, <URL:

<http://www.cuandoenelmundo.com/calendario/colombia/2012/> >

EDIFICACION SUSTENTABLE EN AMERICA DEL NORTE. 2008. Descargado en formato PDF. Fecha: 14-03-2012.

Disponible desde la web: <URL: http://www.cec.org/Storage/61/5388_GB_Report_SP.pdf >

Efectos del sol. Consultado: Agosto1 de 2012. Disponible desde la web, <URL:

http://www.huperoptik.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=15 >

EFICACIA LUMINOSA EN SUPERFICIES HORIZONTALES EN LA ESTACIÓN DE RADIACIÓN SOLAR E ILUMINACIÓN DE ALTA CALIDAD DEL IDMP EN MADRID. Ecuaciones (4) y (11). Consultado: Agosto1 de 2012.

Disponible desde la web,<URL: <http://www.fisica.uh.cu/biblioteca/revcubfi/2011/Vol.28-No.1E/RCF-28-1E-2011-18.pdf> >

EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONFORT EN LOS CLIMAS CÁLIDOS, descargado en formato PDF. Fecha: 14-03-

2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.isover.es/contentdownloadversionfile/Multi-Comfort-House-ISOVER.pdf> >

El método de Fanger. Norma UNE-EN ISO 7730. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL:

<http://www.ucm.es/info/fisatom> >

EL POTENCIAL DE DESIGNBUILDER. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: [http://www.sol-](http://www.sol-arg.com/index.php/potencial-db)

[arg.com/index.php/potencial-db](http://www.sol-arg.com/index.php/potencial-db) >

El Salón Virtual de la Arquitectura. Consultado 1 de Octubre de 2012. Disponible en la web <URL:

<http://www.archiexpo.es/producto-fabricante/luminaria-fluorescente-thorn-6962-310.html> >

Electrical Services – Lighting. Consultado 1 de Octubre de 2012. Disponible en la web <URL:

<http://www.arch.mcgill.ca/prof/reinhart/arch447/fall2006/LectureNotes/LightingSimulationI-Ecotect.pdf> >

EnergyPlus Energy Simularion Software. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL:

<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus> >

ENERGYPLUS. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL:

<http://www.designbuilder.es/productos/caracteristicas-de-designbuilder/energyplus> >

Estrategias bioclimáticas en arquitectura. Autor: María López de Asiain Alberich. Consultado: 1 de Octubre de 2012.

Disponible en la web <URL:

http://ubonline.ags.up.mx/librosdigitales/ESTRATEGIAS_BIOCLIMATICAS_EN_ARQUITECTURA.pdf >

EXPLORADOR DEL RECURSO SOLAR EN CHILE. 2.2 Medición de la Radiación, pág. 12. Consultado: Agosto1 de

2012. Disponible desde la web, <URL: <http://emc.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar2/info/> >

Figuras. Consultado: Agosto1 de 2012. Disponible desde la web, <URL:

<http://geospasial.blogspot.com/2010/12/pengantar-astronomi.html> >

Gelves, Omar. Transferencia de calor, Pág. 29. Ediciones UIS. Consultado: Junio 16 de 2012

GLAZING CALCULATED DATA, Consultado: 15 Agosto de 2012. Disponible desde la web, <URL:

http://www.designbuilder.co.uk/programhelp/glazing_calculated_data.htm >

Google Earth. Consultado: 15 Agosto de 2012. Disponible para su descarga en <URL:

<http://www.google.es/intl/es/earth/index.html> >

Guía de Ayuda de EnergyPlus, Auxiliary EnergyPlus Programs. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la

web <URL: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/auxiliaryprograms.pdf> >

GUIA DE CONSTRUCCION SOSTENIBLE. Documento descargado en formato PDF. Fecha: 14-03-2012. Disponible

desde la web: <URL: <http://www.ecohabitar.org/PDF/CCConsSost.pdf> >

GUIA DE LA CONSTRUCCION SOSTENIBLE. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL:

<http://es.scribd.com/doc/28555172/Guia-de-Construccion-Sostenible> >

HACIENDO MÁS CÓMODA LA “UNCOMFORTABLE TRUTH”. . Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL:

<http://www.centralenergia.cl/2010/08/20/haciendo-mas-comoda-la-%E2%80%9Cuncomfortable-truth%E2%80%9D/> >

Humidificación. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL:

<http://www.supercontrols.com.ar/humidificacion/> >

HVAC Heating, Ventilating and Air Conditioning, Consultado: 15 Agosto de 2012. Disponible desde la web, <URL:

http://es.wikipedia.org/wiki/Heating,_Ventilating_and_Air_Conditioning >

IDEAM, Boletín informativo sobre el monitoreo de los Fenómenos de variabilidad climática "El Niño" y "La

Niña" (18 de Julio de 2012). Pág. 3 / Capítulo 4 / Mapa No 2 y 3. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible desde la web, <URL:

http://www.pronosticosyalertas.gov.co/descargas?com=pya&name=pubFile10136&downloadname=IFN_12_JULIO_2012.pdf >

ILUMINACIÓN NATURAL – DESIGNBUILDER. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL:

<http://www.designbuilder.es/productos/caracteristicas-de-designbuilder/iluminacion-natural> >

IMPORTACION DE MODELOS CAD 3D (GBXML). Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL:

<http://www.designbuilder.es/productos/caracteristicas-de-designbuilder/importacion-3d-gbxml> >

La ventana: Análisis y Estrategias respecto a la Energía Solar. Consultado 1 de Octubre de 2012. Disponible en la web <URL: <http://www.heliodon.net/downloads/Alfredo%20Turriaga%20La%20Ventana.pdf> >

LEED Baseline Building Envelope and Systems. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://energy-models.com/training/leed/baseline-building-envelope-and-system> >

LEED On-line. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.spaingbc.org/leedon-line.php> >

LEED para nuevas edificaciones o pequeñas remodelaciones. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: www.usgbc.org >

Libro: SOLAR ENGINEERING OF THERMAL PROCESSES. Autores: Jhon A. Duffoe y William A. Beckman. Editorial: John Wiley & Sons, Inc Pág. 7 – 45. Consultado: Agosto 1 de 2012.

Licitación del proceso de modernización del edificio de ingeniería eléctrica. Consultado: Junio 14 de 2012, Disponible en la web <URL: https://www.uis.edu.co/procesos_contratacion/contratacion/detalleProceso.jsp >

LOS CIMIENTOS DE LOS EDIFICIOS VERDES. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.ajuua.com> >

Los limites extremos del cuerpo humano. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.tecnologiahechapalabra.com/salud> >

M. A. Humphreys & J F Nicol, 1998 Understanding the adaptive approach to thermal comfort. ASHRAE Transactions, Vol 104. Consultado: Agosto 1 de 2012.

Man, Climate and architect, Disponible para descarga en formato PDF. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov> >

Manual de arquitectura bioclimática, Guillermo-Nota 2003, pág. 137.

Manual de ayuda ArchiCAD gbXML export. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.gbxml.org/schema/0-37/GreenBuildingXML.xsd> >

Manual de la consola, Vantage Pro2 – Davis. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: http://www.davisnet.com/product_documents/weather/manuals/07395-240_IM_06312.pdf >

Manual DesignBuilder. Consultado 1 de Octubre de 2012. Disponible en la web <URL: http://www.designbuilder.co.uk/component/option.com_docman/task.doc_view/gid,13/Itemid,30/ >

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 1555 de 2005. Descargado en formato PDF. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: http://www.minambiente.gov.co/documentos/res_1555_201005.pdf >

Modelos de Confort. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.sol-arg.com/index.php/modelos-confort/modelos-simples> >

MODULO ENERGYPLUS. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.sol-arg.com/index.php/modulo-energyplus> >

MODULO ILUMINACIÓN NATURAL. Consultado: 15 Agosto de 2012. Disponible desde la web, <URL: <http://www.sol-arg.com/index.php/modulo-iluminacion-natural> >

MONROY, Manuel Martín. Manuales de diseño ICARO de Calidad Ambiental en la Edificación. Descargado en formato PDF. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://editorial.cda.ulpgc.es/ftp/icaro> >

Radiación Solar. Disponible en formato *.doc. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.ecomaipo.cl> >

RAMOS CASTELLANOS, Pedro. Uso eficiente y sostenible de los recursos naturales. Ediciones Universidad de Salamanca.

REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO (RETILAP). Consultado 1 de Octubre de 2012. Disponible en la web <URL: <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/ENERGIA/RETILAP/Propuesta-Modificacion-AnexoRETILAPmodificado-11.pdf> >

RELACIÓN SER HUMANO / AMBIENTE /ARQUITECTURA. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: www.bromyros.com.uy/documentos/ate_02_confort.pdf >

Requisitos mínimos LEED. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=1586> >

SELLO AMBIENTAL COLOMBIANO PARA EDIFICACIONES SOSTENIBLES (SAC-ES). Disponible en internet. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: <http://www.cccs.org.co/construccion-sostenible/certificacion-de-edificaciones> >

SIMULACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS, Autor: Héctor Eduardo Huerta Garza. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://es.scribd.com/doc/80418854/27/Alimentacion-de-datos-del-clima> >

Sistema de certificación LEED. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: www.usgbc.org >

SISTEMAS PASIVOS. Descargado en formato PDF. Fecha: 14-03-2012. Disponible desde la web: <URL: http://c3q6.weebly.com/uploads/2/8/9/6/2896342/sistemas_pasivos.pdf >

Sky Cover. Consultado: Agosto1 de 2012. Disponible desde la web, <URL: <http://www.hpc.ncep.noaa.gov/dailywxmap/plottedwx.html> >

Solsticios y equinoccios. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: http://www.profesorenlinea.cl/geografiagr/Solsticioss_Equinoccios.html >

VARIABLE AIR VOLUME, Consultado: 15 Agosto de 2012. Disponible desde la web, <URL:

http://en.wikipedia.org/wiki/Variable_air_volume >

Weather data, South America / COL - Colombia. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible desde la web, <URL:

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm >

Weather information, Ayuda para el formato de EnergyPlus. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible desde la Web, <URL: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/weatherdatainformation.pdf> >

Wikipedia, La Enciclopedia Libre, Horarios de verano en el mundo. Consultado: Agosto 2 de 2012, Disponible desde la web, <URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Horario_de_verano_en_el_mundo >

WMO, Códigos de la WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION para la región 3, Final Report. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible desde la Web, <URL: <http://www.wmo.int/pages/prog/www/reports/Ra3freport.pdf> >

ANEXOS

Anexo A.

Importación de modelos gbXML

DesignBuilder permite la importación de modelos en *gbXML*, para ello existen varias alternativas de software, algunas especializadas en arquitectura. Para el caso del Edificio de Ingeniería Eléctrica se utilizó *ArchiCAD* debido a que los planos del edificio fueron desarrollados en este software; sin embargo, existen otras opciones como *REVIT* y *Google SketchUp*, ambos permiten exportar o importar este formato, la lista completa de software que soportan *gbXML* se encuentra en la página oficial (www.gbxml.org).

ArchiCAD

Es un software para el diseño de edificaciones, inicialmente en un ámbito 2D (desde planta), basándose en parámetros básicos, tales como altura, largo, espesor y elevación. El uso de este software conlleva un conocimiento básico de términos usados en la arquitectura, puesto que los ámbitos más específicos (puertas, ventanas, escaleras, forjados y techos) se usan parámetros tales como: Alfeizar, Telar, Paso, Contrapaso, etc. Tiene como característica que la vista en planta, no es tomada desde una cámara en el infinito, como es visible en *AutoCAD*, sino que se radica en un corte paralelo al horizonte, este mismo tiene su inicio a una determinada altura y finaliza donde se ubica el forjado o base de piso [1].

Para el caso específico de *ArchiCAD*, no exporta archivos con extensión *gbXML* directamente, depende de terceros que a través de *plugins* permiten esta acción. El *plugin* por defecto para este caso es ***ArchiCAD gbXML export***.

Instalación

Se deberá descargar la opción que se ajuste a la versión de *ArchiCAD* que se dispone, para ello se debe ir a la página de *Encina* (<http://www.encia.co.uk>)

Para el caso de este proyecto se tiene Windows como sistema operativo, funcionando a 32 bits y *ArchiCAD* versión 14. El programa se descarga como un archivo *ZIP*, así que se debe descomprimir; posteriormente, se necesita arrastrar el complemento de nombre *gbXML shipping.apx* a la carpeta *Extensiones ArchiCAD* que está ubicada donde se haya instalado el software [2].

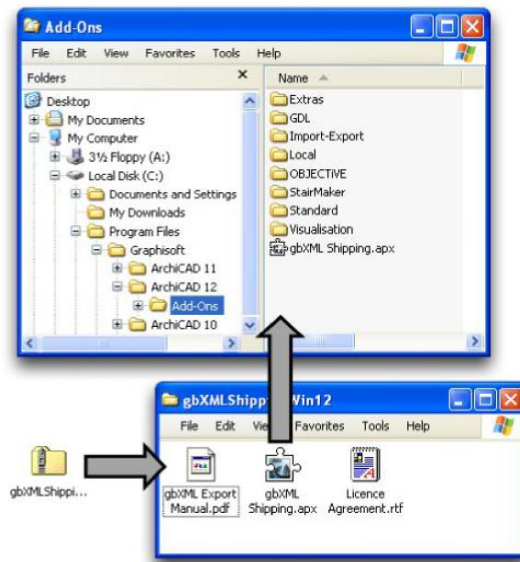


Figura A.1. Instalación ArchiCAD gbXML export

Posteriormente, a la instalación se pide un código de registro para ello se deberá pagar por una licencia, o solicitar un código de prueba en la página web.

Es importante tener en cuenta que un modelo simple es mejor, crear muchos detalles en *ArchiCAD* puede llevar a un mal funcionamiento del *plugin* que hará más complicado el trabajo. Adicionalmente, las formas complejas de espacios o zonas también pueden representar dificultad para el plugin [2].

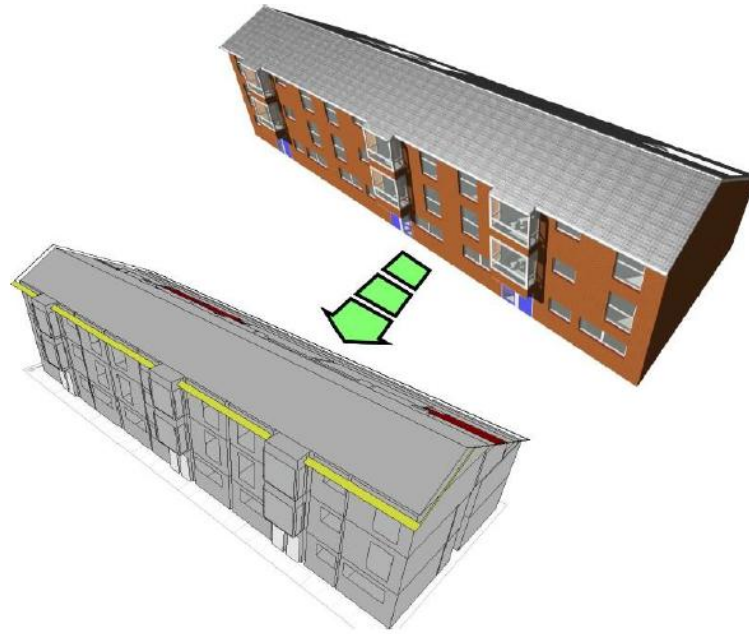


Figura A.2. Simplificación de un modelo [2].

Las habitaciones situadas dentro de una zona se exportarán como *gbXML*, por otro lado las paredes contiguas a una zona serán ignoradas, no hay requisitos especificaciones para la categoría zona, sello o capa, de esta manera se podrá utilizar las zonas creadas para diferentes fines. Adicionalmente, es importante identificar una zona por las caras de los muros internos [2].

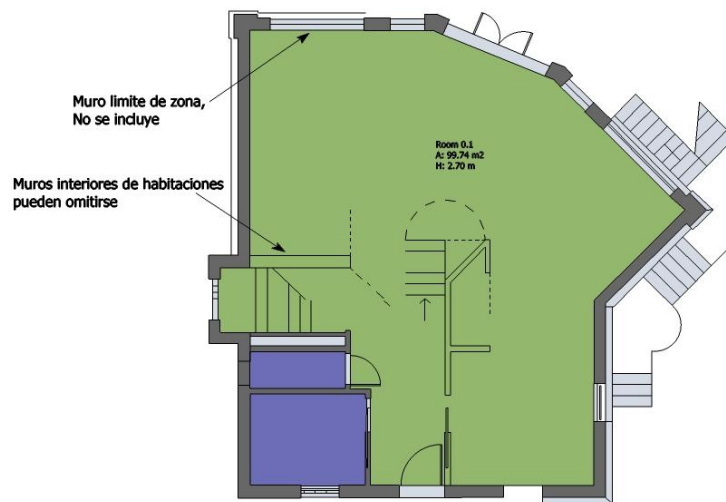


Figura A.3. Zonas de ArchiCAD gbXML export [2]

Las zonas deberán ser independientes por cada planta, inclusive en el caso de escaleras donde el espacio se eleva por encima de una o más plantas. La extensión de *ArchiCAD* puede generar datos erróneos si se basan en una sola zona ascendente a través de varias plantas [2].

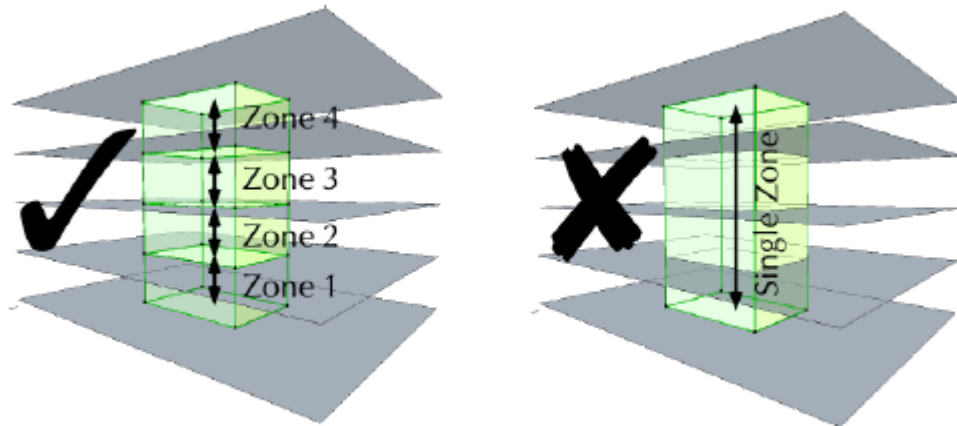


Figura A.4. Forma correcta de limitar las zonas en edificaciones de varias plantas [2].

El nivel de base y la altura de la zona son significantes; sin embargo, no es necesario precisar los techos ni los pisos, el *plugin* automáticamente limita las zonas con la intersección de las plantas.

El *plugin* también requiere una zona que delimite el exterior del edificio, esto permitirá calcular la relación entre las superficies, espacios y actividades al aire libre. Para el caso de la zona exterior, si es necesario incluir los muros que la delimitan dentro de la zona.

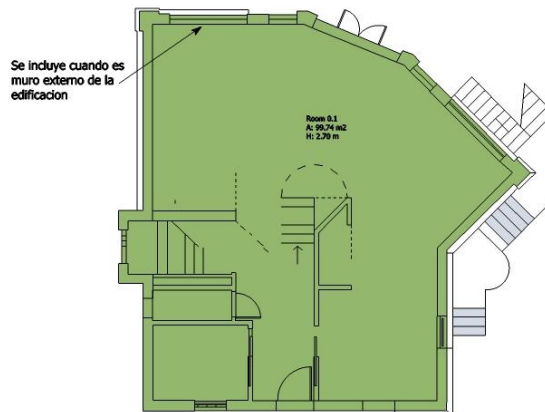


Figura A.5. Forma correcta de limitar las zonas externas ArchiCAD [2].

Una opción para no realizar el perímetro de las zonas, consiste en seleccionar *place zones* en el menú *Design extras* posteriormente aparecerá una ventana donde que permitirá editar datos referentes a la ubicación de la zona [2].

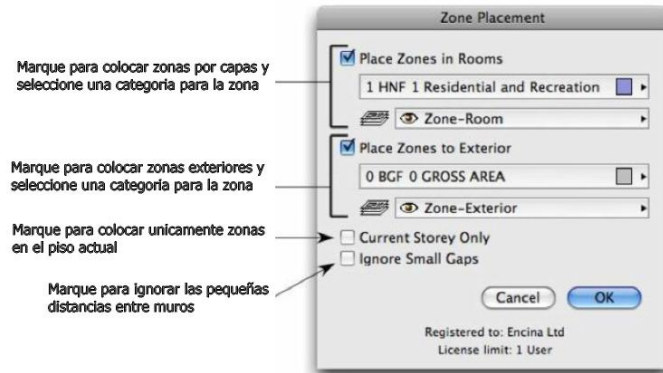


Figura A.6. Ventana para datos de ubicación de zona

Finalmente, se podrá guardar el modelo como *gbXML*, para ello bastará con elegir en el menú *archivo*, la opción *guardar como* elegir el formato *gbXML*, el nombre del archivo y la ubicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Características de ArchiCAD 14. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL:<http://www.graphisoft.es/producto/archicad/ac10/ac10nc.html>>
- [2] Manual de ayuda ArchiCAD gbXML export. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL:<http://www.gbxml.org/schema/0-37/GreenBuildingXML.xsd>>

Anexo B.

Créditos *LEED* susceptibles de evaluarse mediante *DesignBuilder*

Los sistemas de clasificación de edificios sostenibles *LEED* están diseñados con la finalidad de categorizar diferentes tipos de edificaciones, basados en principios energéticos y medioambientales establecidos previamente, que determinan un equilibrio entre conocidas prácticas y conceptos emergentes. Cada sistema de clasificación está organizado en cinco categorías medioambientales: parcelas sostenibles, eficiencia en agua, Energía y atmosfera, materiales y recursos y calidad medioambiental interior [1].

Existe la categoría adicional, “Innovación en el diseño”, que está dirigida a expertos en construcción sostenible y busca enfocarse en medidas de diseño no cubiertas bajo las cinco categorías medioambientales. Finalmente, existe una característica de *LEED* establecida como reconocimiento de la importancia de las condiciones locales para determinar las mejores prácticas de diseño y construcción medioambiental, esta característica son los puntos regionales.

Cada categoría tiene unos prerrequisitos y unos créditos puntuables. Los prerrequisitos son obligaciones que deberán ser aprobadas por las edificaciones para iniciar el proceso de certificación, mientras que los créditos son un sistema *checklist* que busca otorgar una puntuación a las estructuras y de esta forma establecer el nivel de compromiso con la sostenibilidad.

Al ser *DesignBuilder* un software de simulación energética permite realizar una evaluación de algunos de estos prerrequisitos y créditos *LEED*. En el caso concreto del crédito 8.1 de ***LEED – Luz natural y vistas – Luz natural***, el software estará en condiciones de evaluar y finalmente en una ventana emergente establecer su aprobación [2].

LEED NC 2.2 Credit 8.1

The aim of the daylighting credit is to encourage and recognize designs that provide appropriate levels of daylight for building users.

A pass requires at least 75% of net lettable area in occupied spaces to be adequately ~~daylit~~, having illuminance over the minimum threshold value.

Daylighting data	
Project file	C:\Users\AndyT\Documents\DesignBuilderData\Daylight demo.dsb
Calculated at	20/04/2011 08:45:08
Sky model	CIE overcast day (10000 Lux)
Location	LONDON/GATWICKARPT
Working plane height (m)	0.750
Max Grid Size (m)	0.100
Min Grid Size (m)	0.100
Illuminance threshold (lux)	269.098
Summary Results	
Total area (m2)	2417.0
Total area above threshold (m2)	328.6
% Area above illuminance threshold	13.6
LEED NC 2.2 Credit 8.1 Status	FAIL

Eligible zones for daylighting

Zone	Block	Floor area (m2)	Min Illumination (lux)	Working plane area > Threshold (%)
Zone 2	Block 1	344.0	0.0	14.8
Zone 1	Block 1	885.7	0.0	12.3
Zone 4	Block 2	161.7	0.0	16.6
Zone 3	Block 2	517.9	0.0	10.8
Zone 1	Block 2	345.9	0.0	16.4
Zone 2	Block 2	161.8	0.0	17.8
Total		2417.0	0.0	13.6

Figura B.1. Reporte de evaluación LEED NC 2.2 Crédito 8.1 mediante DesignBuilder [2].

Los créditos susceptibles a ser evaluados por *DesignBuilder* son cinco (ver Tabla B.1), de los cuales dos, están en la categoría de **Energía y atmosfera (EYA)**, y los restantes en **calidad ambiental interior (CAI)**.

Tabla B.1. Créditos LEED susceptibles de evaluarse mediante DesignBuilder [1].

Energía y atmosfera (EYA)		
Tipo	Propósito	Puntos posibles
Prerrequisito 2	Establecer el mínimo nivel de eficiencia energética para los sistemas y el edificio propuesto con el fin de reducir los impactos medioambientales y económicos asociados con el consumo excesivo de energía.	-
Crédito 1	Conseguir un incremento en los niveles de eficiencia energética por encima de la norma del prerrequisito para reducir los impactos económicos y medioambientales asociados con un consumo excesivo de energía.	(1-19)
Calidad ambiental interior (CAI)		
Tipo	Propósito	Puntos posibles
Prerrequisito 1	Establecer una eficiencia mínima de calidad del aire interior (CAI) para aumentar la calidad del aire interior en los edificios, contribuyendo así al confort y al bienestar de los ocupantes.	-
Crédito 2	Proporcionar una ventilación con aire fresco exterior para mejorar la calidad del aire interior y conseguir así un mayor confort, bienestar y productividad de los ocupantes	1
Crédito 8.1	Proporcionar a los ocupantes del edificio una conexión entre los espacios interiores y los exteriores a través de la introducción de luz natural y vistas en las áreas habitualmente ocupadas del edificio.	1

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LEED para nuevas edificaciones o pequeñas remodelaciones. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: www.usgbc.org >
- [2] DESIGNBUILDER DESCRIPCION Y CAPACIDADES. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.designbuilder.es/pdf/DesignBuilder.pdf>>

Anexo C. Confort Térmico

Según la *American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers*, más conocida como *ASHRAE*, el confort es definido como aquellas condiciones de la mente, que expresan satisfacción del ambiente. Esta sensación tiene delimitaciones fundamentadas fisiológicamente y que están determinadas por un conjunto de condiciones para las que los mecanismos termorreguladores se encuentran en un estado de mínima actividad, a su vez estas delimitaciones se regirán por condiciones climáticas externas [1].

Consideraciones del clima

Se entiende por clima los valores estadísticos que representan las condiciones atmosféricas que caracterizan una región. Estos datos son obtenidos de estaciones meteorológicas durante largos periodos, dependiendo directamente al lugar de necesidad, ya sea el mundo, una zona, una región, o una localidad concreta [2].

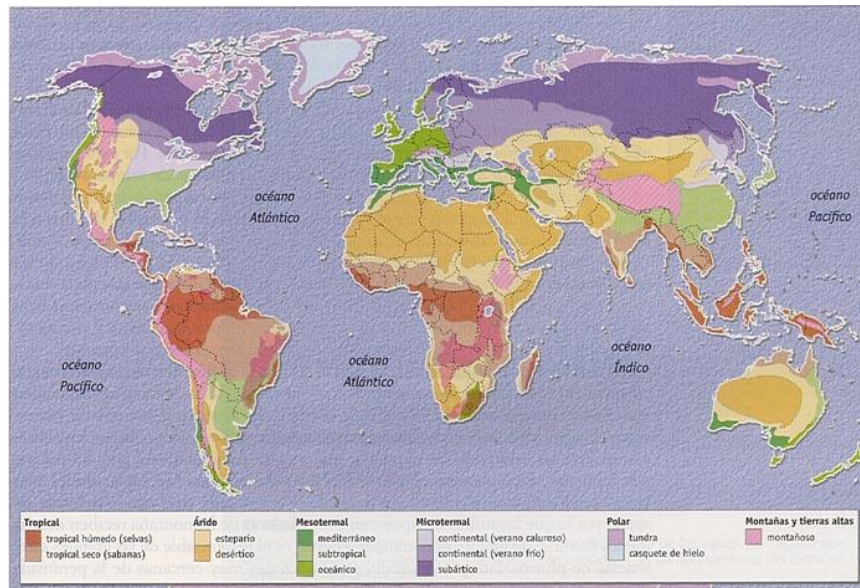


Figura C.1. Climas a nivel mundial [2].

Para el caso de Bucaramanga, el clima que caracteriza el comportamiento de la región es el tropical. Este clima se ve afectado por variables como la temperatura del aire, la humedad relativa, la radiación solar, los movimientos de aire. Sin embargo, también dependerá de factores de ubicación de la zona, como son la latitud, la altitud.

Clima tropical

El clima tropical o cálido-húmedo, abarca las latitudes entre los 0° latitud (Ecuador) y los 23° latitud norte y sur, o lo que es igual a ubicar la zona tropical entre los trópicos de cáncer y capricornio, respectivamente [3].

Este clima es el resultado de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), que corresponde a un cinturón de baja presión que abarca el globo terrestre en la región ecuatorial. Y se forma por la convergencia de aire cálido y húmedo de latitudes por encima y por debajo del Ecuador [3].

En estas zonas las precipitaciones están directamente relacionadas con la insolación solar, por esta razón, disminuyen a medida que el Sol ilumina otras latitudes. Los cambios de posición de la *ZCIT* determinan las precipitaciones en los países ecuatoriales, produciendo de esta manera estaciones secas y húmedas en lugar de frías y cálidas como en las latitudes superiores [3].

Características del clima tropical

En el clima tropical las temperaturas medias son altas en su mayoría superiores a los 18°C, con pequeñas variaciones entre día y noche, y entre las diferentes estaciones del año. La humedad relativa en promedio es alta, frecuente nebulosidad y fuertes precipitaciones de naturaleza irregular [3].

Relación Clima – Confort

El medio ambiente y el confort tienen una relación directa, debido a que los efectos de este inciden sobre el hombre a través de los parámetros térmicos,

acústicos, lumínicos, y afectan constantemente y de manera proporcional los sentidos encargados de su percepción.

El cuerpo humano tiene internamente una temperatura que puede oscilar entre los 36°C y 37°C [4]. El equilibrio térmico consistirá mantener el cuerpo humano dentro de esos límites, aunque existan cuerpos capaces de soportar temperaturas internas desde 24°C hasta los 42 °C, pueden tener complicaciones graves para la salud [4]. Sin embargo, el mismo cuerpo con el fin de mantenerse en la temperatura ideal realiza varios procesos por los cuales gana o pierde calor. Según la siguiente ecuación [5]:

$$O = M \pm R \pm Conv \pm Cond \pm E$$

Siendo M , el calor generado por procesos metabólicos, R el intercambio de calor por radiación; $Conv$ el intercambio de calor por convección, $Cond$ el intercambio de calor por conducción, y finalmente E , que corresponderá a las pérdidas de calor por evaporación.

De esta manera cuando la suma total da cero el cuerpo estará en equilibrio térmico. En caso contrario actuarán mecanismos autorreguladores como el aumento de flujo sanguíneo y dilatación de los vasos capilares [4].

Este balance en cero significara un equilibrio térmico, pero no es la única condición para alcanzar el confort. Para actividades donde la persona está en un estado sedentario, También es necesaria la uniformidad térmica (Figura C.2), que implica controlar corrientes de aire frías y gradientes de temperatura (Figura C.3) [5].

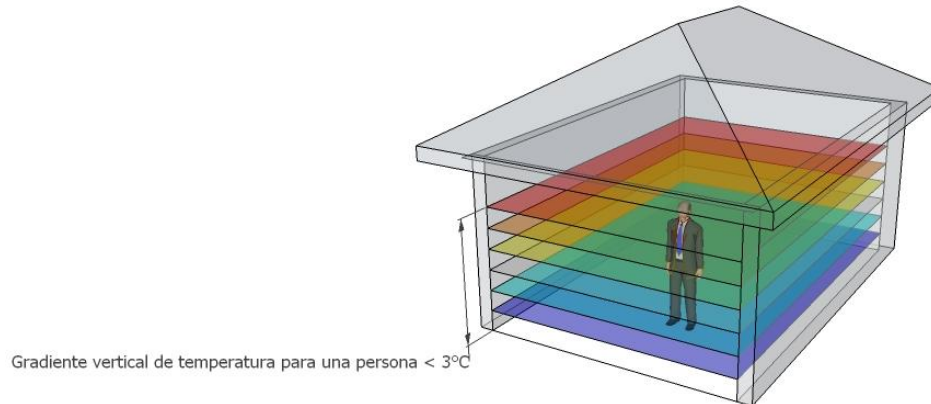


Figura C.2. Uniformidad térmica, gradiente de temperatura.

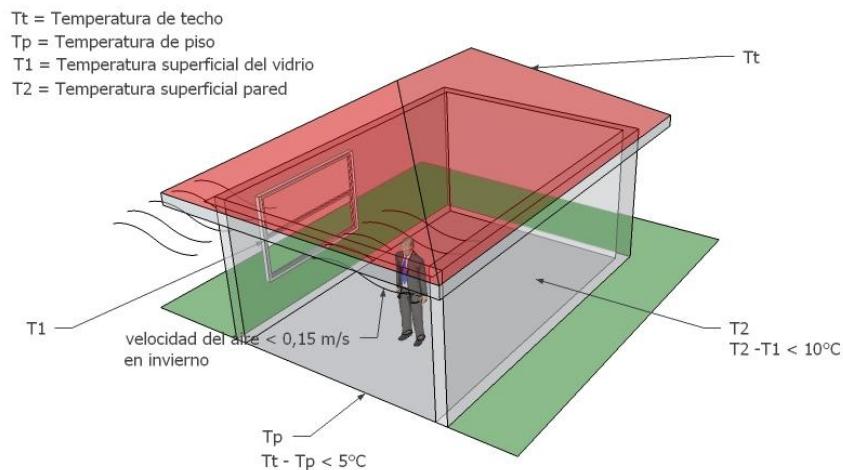


Figura C.3. Gradiente de temperaturas entre superficies, corrientes de aire.

El calor producido por la actividad deberá ser evacuado por las formas de la transmisión de calor: conducción, radiación, convección y evaporación.

Adicionalmente, al metabolismo basal que consiste en el calor producido por una persona realizando funciones vitales de subsistencia (respirar, movimiento del corazón, etc.), se mide el flujo térmico cedido por metro cuadrado de superficie de piel (W/m^2), como un factor de la actividad que se encuentra realizando el individuo [2]. Este factor también puede ser medido en *met*, que es la relación

entre la potencia térmica (W o kcal/h) y la superficie corporal. La relación entre el *met* y el W/m^2 estará dada por la siguiente expresión [5].

$$1 \text{ met} = 58,15 \text{ W/m}^2 = 50 \text{ kcal/h-m}^2$$

Tabla C.1. Valores medios de generación de calor según actividad para una persona con 1,8 m² de piel aprox. [6].

Producción de energía metabólica			
Actividad	Valor		
	met	W/m ²	kcal/h-m ²
Acostado y en reposo	0,8	46,5	40
Sentado y en reposo	1	58,2	50
Actividad ligera, sentado (oficina, hogar, escuela)	1,2	69,8	60
Actividad ligera de pie (de compras, laboratorio, industria ligera)	1,6	93	80
Actividad media, de pie(vendedor, tareas domésticas, trabajo con máquinas)	2	116,3	100
Marcha en plano a 2 km/h	1,9	110,5	95
Marcha en plano a 3 km/h	2,4	139,6	120
Marcha en plano a 4 km/h	2,8	162,8	140
Marcha en plano a 5 km/h	3,4	197,7	170

El área de piel o superficie corporal para una persona promedio se conoce como área de Dubois y puede ser calculada de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$A_p = 0,202 \text{ m}^{0,425} \text{ h}^{0,725}$$

Siendo *m* la masa (kg) y *h* la altura (m), de esta manera se tendrá que una persona de 70 kg y de 1,7 m de altura, tendrá un área de piel aproximadamente de 1,8 m².

Tabla C.2. Calor generado y agua evaporada por unidad de tiempo para un hombre de 1,8 m² de área de piel [6].

Actividad	Calor generado	Agua evaporada
	W	g/h
Dormir	85	40
Reposo – sentado	110	50
Tareas de escritorio	140	80
Trabajos livianos	230	200
Trabajos medianos	330	300
Trabajos pesados	440	Sin datos

Todo esto visto desde el factor humano de la conformidad sin embargo existe otra variable, el aire, que se convierte en el principal factor climático que influye en la sensación térmica, debido a que encierra 3 de los 4 parámetros que condicionan el confort, estos son la temperatura, la humedad, y el movimiento del aire. El único factor independiente del aire es la radiación solar [3].

Temperatura del aire: La temperatura del aire vista como la cantidad de calor del ambiente, en un instante determinado, puede depender de algunos factores implícitos con la medición, como son la ubicación del receptor o termómetro, en una lectura general, tomada de una estación meteorológica y con unas condiciones predeterminadas, se puede presentar una rango mayor de temperatura entre el día y la noche, dependiendo de la nubosidad que exista durante el día, en días nublados dicho margen es menor. Debido a este tipo de factores que alteran la temperatura drásticamente, se determinará para las condiciones de confort los valores medios. Sin embargo, también los valores máximos y mínimos serán necesarios para establecer límites de operación [3].

Humedad relativa: La humedad relativa es la cantidad de vapor de agua que se encuentra presente en el aire; éste determina de forma directa el potencial de evaporación, por esta razón desempeña un factor primordial en las altas temperaturas; sin embargo, existen límites extremos que pueden generar efectos adversos al bienestar, por debajo del 20% de humedad relativa aumenta el peligro de infección por la sequedad de las mucosas; con temperaturas bajas, el aire muy seco aumenta el disconfort y en situaciones cálidas cuando la humedad sobrepasa el 80% la sensación de calor aumenta debido a que se produce sudor mas no ahí evaporación [7].

Tabla C.3. Sensación térmica en función de la humedad relativa del aire [7].

Temperatura °C	Humedad relativa en %					
	30	50	70	80	90	100
20	20	21,1	22,2	22,8	23,4	23,9
25	25	26,7	27,8	28,9	30	31,1

30	30	32,2	35	37,2	37,8	39,4
35	35	38,8	42,2	44,4	46,7	48,9
40	40	45	50			

En condiciones de humedades altas, como el caso de Bucaramanga y de los climas tropicales, la comodidad térmica resulta más difícil, produciendo desde la sensación bochorno a la incomodidad del frío, sin estar en puntos confortables intermedios. Sin embargo, en el caso de una humedad baja, resultan molestias por la sequedad del aire, que dificulta respirar, por lo que lo ideal para un clima cálido es una humedad intermedia-baja, que permite una adecuada sudoración, sin entrar al rango de la sequedad del aire [7].

Movimiento del aire: Si bien el movimiento del aire no modifica la temperatura del aire, si provoca una sensación de frescor que es producida por la pérdida de calor por convección y aumento de la evaporación del cuerpo. Para la medición del viento debe tenerse en cuenta el hecho que la velocidad disminuye en niveles cercanos al suelo, ya que las mediciones hechas por algunas estaciones meteorológicas son normalmente tomadas a nivel de cubierta o a nivel de suelo, por lo que el aire se encuentra en un estado casi de reposo; además la topografía también influye en el movimiento de los vientos; por esta razón, se debe tener cuidado con la evaluación de confort provocada por los vientos, ya que pueden ir desde brisas agradables hasta vientos indeseados a alturas mayores [3].

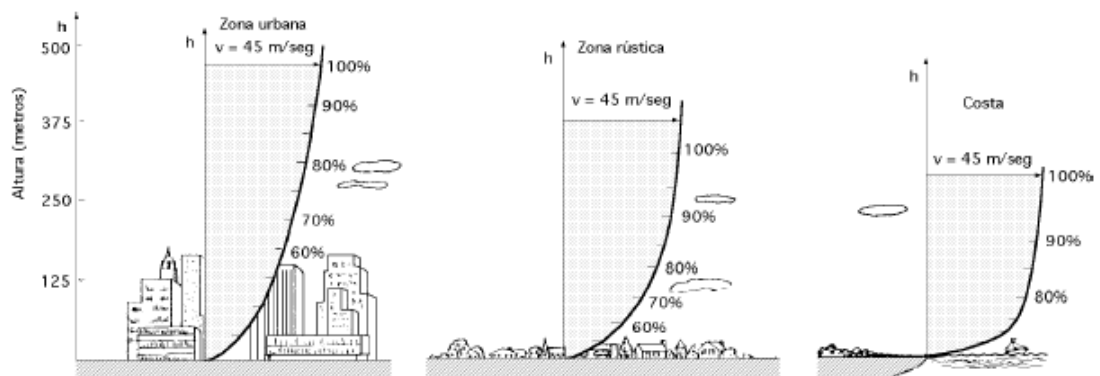


Figura C.4.Velocidad del viento vs altura, para diferentes zonas [<http://www.energiasargentinas.com.ar>].

Radiación solar

La energía procedente del Sol incide sobre la superficie de la Tierra, convirtiéndolo en el principal factor del clima en el planeta. Por lo que incidirá sobre la superficie exterior de los edificios; ya sea directamente, difuminada por la atmosfera o reflejada por el entorno, generando de esta manera algunos flujos de calor con magnitudes considerables [8].

La magnitud del calentamiento está directamente relacionada con la posición del Sol, la intensidad de la radiación, el estado de la atmósfera y otro parámetros ambientales; sin embargo también influyen parámetros propios de la superficie absorbente como son la orientación, inclinación, absorción de los cerramientos y el entorno [9].

Movimiento aparente del Sol

A pesar de existir algunas ideas claras del comportamiento del Sol, como son el hecho de salir por el oriente, ocultarse en el occidente y posicionarse en el medio durante el medio día, estos movimientos no son exactos y constantes durante el año. Una aproximación al movimiento real se puede determinar mediante gráficas o cartas solares estereográficas. Para la elaboración de la carta solar correspondiente a la ciudad de Bucaramanga se tuvieron en cuenta los resultados del software SOLEA-2 (ver Figura C.5).

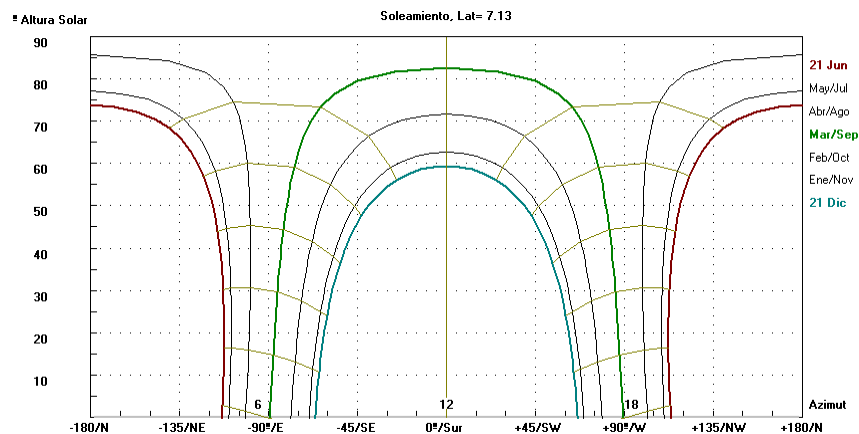


Figura C.5. Comportamiento solar anual, para la latitud 7.13, SOLEA-2.

Los grados correspondientes al punto de salida y de puesta del Sol en los solsticios y equinoccios se pueden determinar de los resultados gráficos realizados en SOLEA-2, estos se encuentran en el eje horizontal de la Figura C.5, mientras que el eje vertical determinará el grado de altura a la cual se encuentra el sol, con respecto al eje horizontal. De esta manera y con la ayuda de la pagina web www.gaisma.com se puede crear la carta solar para la ciudad de Bucaramanga con el movimiento aparente del Sol.

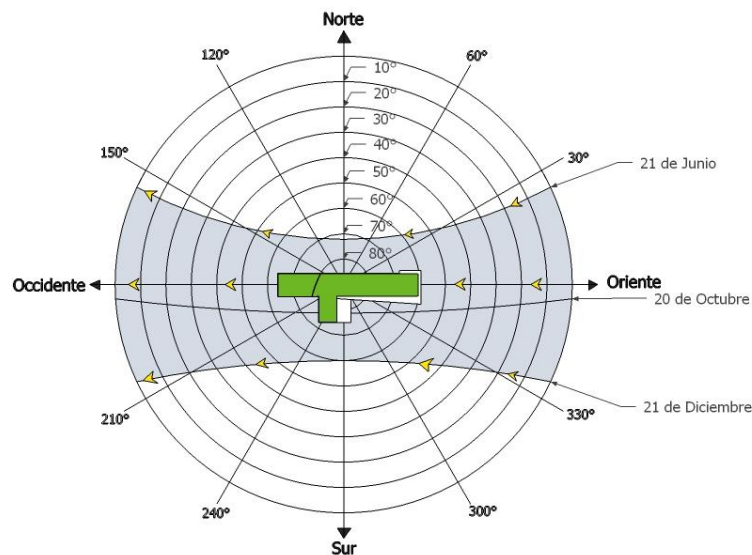


Figura C.6. Proyección horizontal del recorrido solar para la ciudad de Bucaramanga [adaptado de www.gaisma.com].

Solsticios y equinoccios

La radiación solar depende de muchos más factores; sin embargo, las horas de Sol siguen un patrón definido por los parámetros mencionados anteriormente: longitud y latitud, que se repite cada 365 días. Dependiendo de en qué zona se encuentre el edificio, el patrón será diferente; sin embargo, existen varios hechos que son los mismos sin importar el lugar de ubicación en el planeta, estos hechos son los siguientes [10]:

- **Equinoccio:** ocurre dos veces por año (el 20 o 21 de marzo y el 22 o 23 de septiembre), estos días las noches y los días tienen igual duración en todos los lugares del planeta.
- **Solsticio:** hay uno en verano y otro en invierno (el 20 o el 21 de junio y el 21 o el 22 de diciembre de cada año), es la máxima o la mínima duración del día, en función de en qué hemisferio nos encontremos.

El movimiento de rotación y traslación combinado da lugar a que la Tierra tenga diferentes grados de inclinación respecto al Sol, ello da lugar a que el *cenit* vaya variando pasando de forma periódica por los siguientes momentos [10].

- **Solsticio de invierno:** el Sol alcanza su cenit al mediodía en el *Trópico de Capricornio* (el del hemisferio Sur), máxima duración del día en el hemisferio Sur y mínima duración en el hemisferio Norte.
- **Equinoccio de primavera:** el Sol alcanza su cenit en el Ecuador. Igual duración del día en todo el planeta.
- **Solsticio de verano:** el Sol alcanza su cenit al mediodía en el *Trópico de Cáncer* (el del hemisferio Norte), máxima duración del día en el hemisferio Norte y mínima duración en el hemisferio Sur.
- **Equinoccio de otoño:** el Sol alcanza su cenit en el Ecuador. Igual duración del día en todo el planeta.

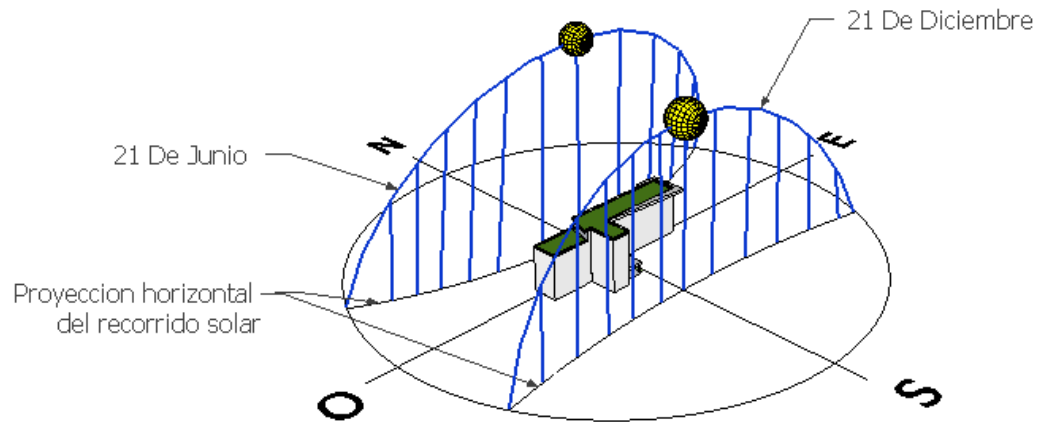


Figura C.7. Trayectoria del sol para el Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Índice ASHRAE

Handbook of Fundamentals, ASHRAE 1997, clasifica los índices que predicen el comportamiento humano frente a las distintas acciones a las que esté sometido por su entorno. Esta clasificación se realiza en tres grupos; el primero son los índices directos, que consiste en variables como la temperatura de bulbo seco y húmedo, humedad relativa, etc.; el segundo grupo son los índices racionales, que se derivan de la ecuación general de balance térmico, estas son la temperatura media radiante y la temperatura operativa; por último, están los índices empíricos basados en respuestas subjetivas, siendo el índice de temperatura efectiva uno de los principales [11].

El índice de temperatura efectiva (ET) fue desarrollado por *Houghten, Yaglou and Miller* de ASHRAE. Los factores que influyen directamente sobre este índice son temperatura, humedad y velocidad del aire [12]. Se puede definir como la temperatura de un aire quieto y saturado que produce la misma sensación subjetiva térmica que el aire considerado. Relaciona la temperatura de bulbo húmedo y de bulbo seco con la respuesta humana [1].

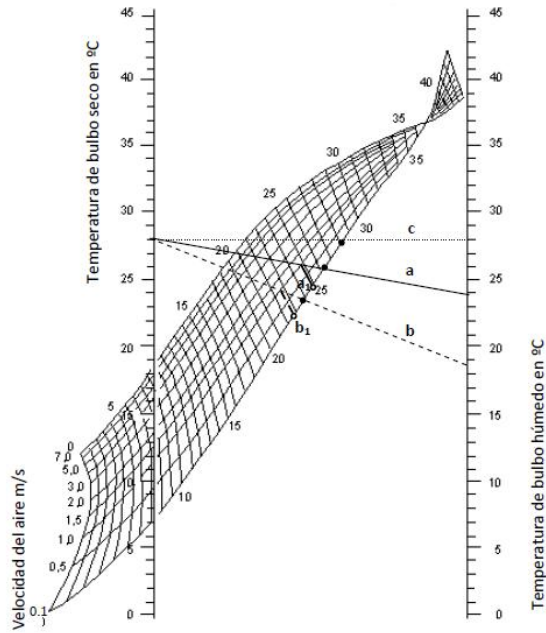


Figura C.8. Temperatura efectiva corregida [ASHRAE 55-1992]

Diagrama bioclimático

Los diagramas bioclimáticos integran en un mismo gráfico dos o más variables, en relación a las cuales se establecen unas zonas de confort, definidas por unos límites de temperatura, de humedad y/o de viento. Los dos principales diagramas bioclimáticos son el de *Olgay* y el de *Givoni*. El diagrama de *Olgay* se utiliza para determinar características climáticas de espacios abiertos [3]; por otro lado, el diagrama bioclimático de *Givoni* se utiliza para espacios cerrados donde se desea analizar la confortabilidad.

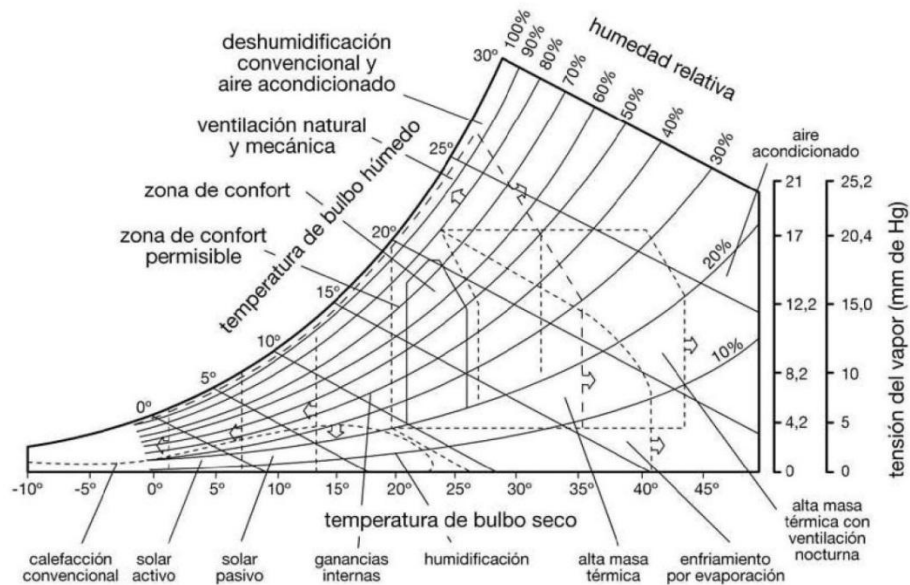


Figura C.9. Diagrama bioclimático para edificios de Givoni [3].

Para la elaboración del diagrama bioclimático correspondiente a Bucaramanga se utilizará el software *climate consultant* versión 5.4. Para la elaboración del diagrama es necesario disponer del archivo de extensión *EPW* correspondiente al lugar donde se desea elaborar el diagrama bioclimático, en éste se realizará el diagrama de la Figura C.10.

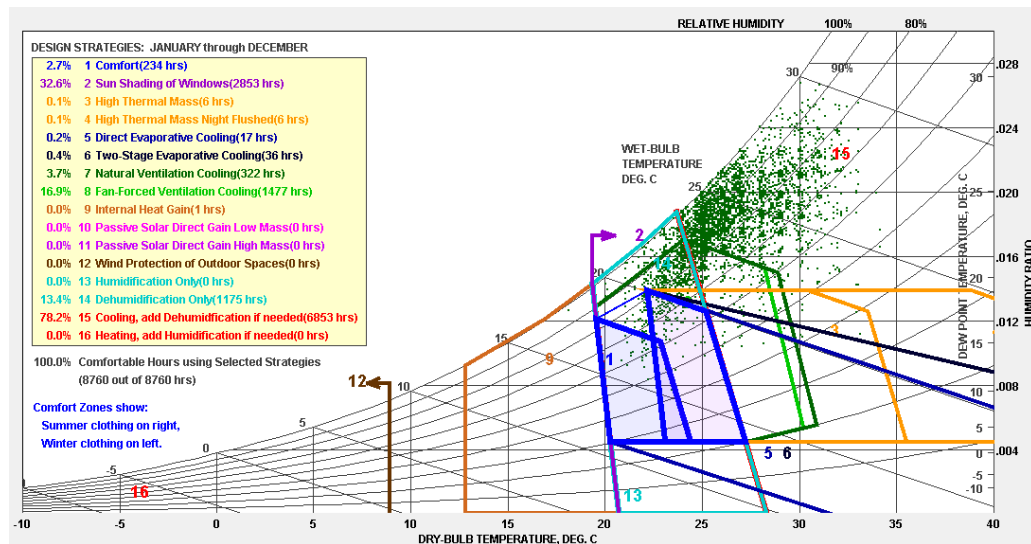


Figura C.10. Diagrama bioclimático para Bucaramanga

Los puntos verdes de la Figura C.10, representan la ubicación de las mediciones de la estación climática, la zona azul representa la zona de confort. Debido a la humedad alta era de esperar que la temperatura de confort sea baja.

Modelos de confort

Actualmente, existen dos pilares básicos sobre los cuales convergen las teorías referentes al confort térmico, estas son el confort estático (Fanger 1972) y el adaptable (Auliciems 1989, Nicol 1993, De Dear 1997) [13].

Confort estático

El modelo estático considera a las personas como receptoras pasivas de estímulos térmicos. Centra sus fundamentos en suponer que los efectos de un ambiente térmico dado son mediados exclusivamente por la física de la termodinámica y por los intercambios de masa en la superficie del cuerpo. A pesar de necesitar los cuerpos unas respuestas fisiológicas frente a temperaturas internas constantes, esta lógica se basa en los modelos de balance térmico, de esta manera el equilibrio térmico solo dependerá de la poca necesidad que tenga una persona de autorregular su temperatura [13].

Neutralidad térmica (tn)

También conocido como *termopreferéndum*, se basa en una fórmula de uso genérico propuesta por Auliciems & de Dear, la cual pone en relación la sensación de confort con la temperatura exterior de bulbo seco de la siguiente manera [13]:

$$T_n = 17,6 + (T_{prom} * 0,31)$$

Dónde:

T_n = Temperatura de neutralidad térmica (*termopreferéndum*)

T_{prom} = Temperatura promedio exterior de bulbo seco

Como ejemplo de aplicación, se empleará esta fórmula para determinar las temperaturas de confort en la ciudad de Bucaramanga, Colombia, según el método de neutralidad térmica. En la Tabla C.4 se muestran las temperaturas exteriores de bulbo seco típicas de esa ciudad, incluyendo las temperaturas promedio mensuales. A partir de éstas últimas, mediante la fórmula de neutralidad térmica, se han calculado las temperaturas de confort para los doce meses del año. En la parte inferior de la Tabla C.4 se indican las temperaturas que definirían la zona de confort, en este caso considerando un rango de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ respecto a las temperaturas de confort. Debajo de la Tabla C.4 se incluye una gráfica basada en los mismos datos, con la cual es posible visualizar los resultados en forma más intuitiva.

Tabla C.4. Temperaturas de confort – neutralidad térmica

Temperaturas de confort - neutralidad térmica - Bucaramanga, Colombia [°C]												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Max. Media mensual	23,16	23,17	22,87	23,17	23,17	23,18	23,18	23,28	23,18	23,19	23,09	23,05
Min. Media mensual	23,05	23,05	22,05	23,05	23,06	23,06	22,6	23,06	22,47	22,57	22,07	21,68
Temperatura Externa	23,11	23,11	22,46	23,11	23,12	23,12	22,89	23,17	22,83	22,88	22,58	22,37
Temperatura de confort	24,76	24,76	24,56	24,76	24,77	24,77	24,7	24,78	24,68	24,69	24,6	24,53
Zona-límite superior	26,76	26,76	26,56	26,76	26,77	26,77	26,7	26,78	26,68	26,69	26,6	26,53
Zona-límite inferior	22,76	22,76	22,56	22,76	22,77	22,77	22,7	22,78	22,68	22,69	22,6	22,53

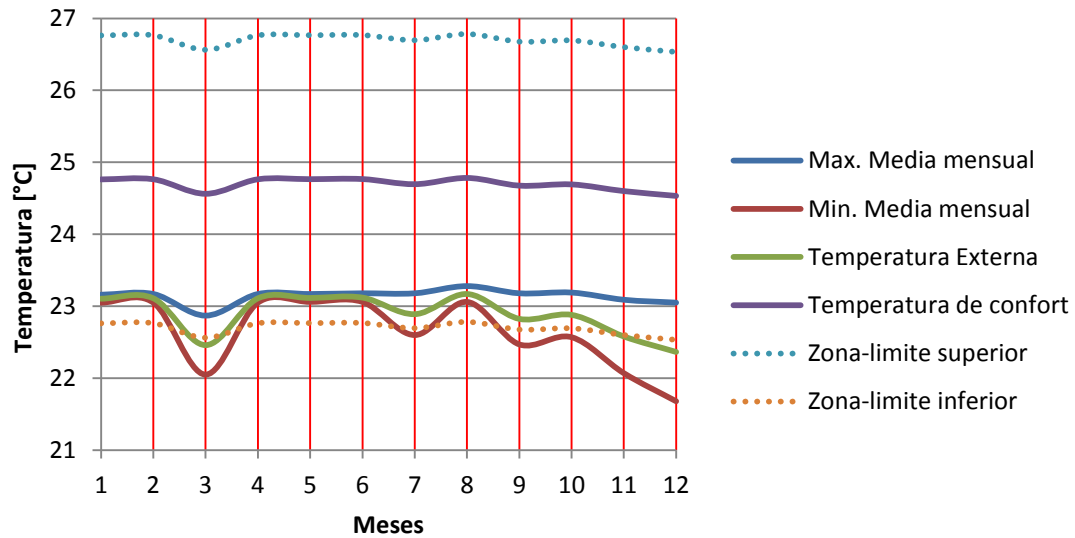


Figura C.11. Zona de confort, modelo neutralidad térmica

En términos generales, el modelo de neutralidad térmica tiende a generar rangos que incluyen a los valores de temperatura promedio, esto se debe a la uniformidad del clima en la zona ecuatorial, si se realizará este modelo en lugares con estaciones climáticas, cuyo rango de variación de temperatura es muy alto durante el año, complicaría desarrollar edificios en modo pasivo que cumplan con los estándares de confort calculados, debido principalmente al hecho que las temperaturas promedio estarían por fuera de la zona de confort durante buena parte del año.

Modelo Adaptativo

Desarrollado con metodologías similares al modelo de confort estático, el modelo de confort adaptable plantea, en primera instancia, que las exigencias de confort no son las mismas para personas acostumbradas a edificios climatizados artificialmente y para aquellas que habitan regularmente edificios que funcionan en modo pasivo. Asimismo, plantea que existen diferencias importantes en los estándares de confort derivadas de aspectos socioculturales [13].

El modelo de confort adaptable se desarrolló con el objetivo de generar índices que tomaran en cuenta la capacidad de las personas para incidir en su propia sensación de confort. Estos modelos asumen que las personas, cuando empiezan a sentirse en disconfort, suelen realizar acciones como ponerse o quitarse ropa, disminuir o aumentar sus niveles de actividad e incluso abrir o cerrar las ventanas del espacio en el que se encuentran. Diversas investigaciones han demostrado que, si se les brinda la posibilidad de controlar su ambiente, los ocupantes de los edificios tienden a sentirse más cómodos y toleran con mayor facilidad periodos relativamente cortos cuyas condiciones ambientales son claramente desfavorables [13].

Por otro lado, este modelo también asume que las personas que habitan de manera regular edificios permanentemente climatizados por medios artificiales, suelen volverse menos tolerantes a las variaciones de las condiciones ambientales. En otras palabras, los edificios climatizados artificialmente suelen generar mayores exigencias de acondicionamiento para mantener niveles óptimos de confort.

En síntesis, los modelos de confort adaptable suele reducir las exigencias de climatización de los edificios que funcionan en modo pasivo; especialmente, en aquellos con ventilación natural, en los que sus ocupantes tienen un buen nivel de control de su ambiente térmico, mientras, que las amplían en edificios climatizados artificialmente.

El termino **adaptación** hace énfasis a los mecanismos de adaptación fisiológica de aclimatación y los procesos conductuales y psicológicos que sufren los ocupantes de un edificio, con el fin de mejorar y ajustar las condiciones ambientales a las necesidades personales [14].

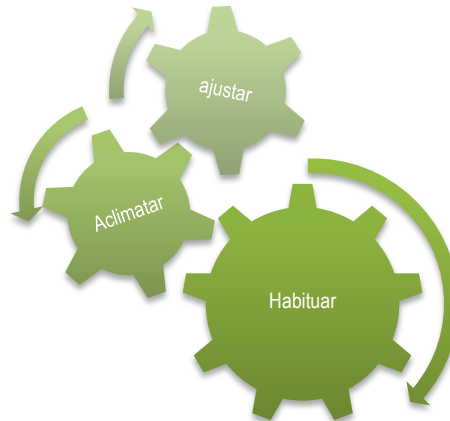


Figura C.12. Adaptación al clima interior [14].

A partir de la definición de adaptación, es posible distinguir claramente tres categorías, (i) ajuste de conducta, (ii) aclimatar o adaptación al clima, (iii) habituar o adaptación psicosocial, proceso relacionado con las expectativas [14].

Ajuste de conducta. Consistirá en como una persona administra el equilibrio térmico. Esto incluye los cambios que dicha persona realizará de manera consciente o inconsciente para cambiar los flujos de calor y masa entre el cuerpo y el ambiente [14].



Figura C.12. Factores incidentes en el comportamiento [14].

Adaptación fisiológica. Hace referencia a todos los cambios en las respuestas fisiológicas que resultan de la exposición a factores ambientales térmicos, y que conllevan a una disminución gradual en la tensión inducida por la exposición [14].



Figura C.13. Factores incidentes en la climatización [14].

Adaptación Psicológica. Hace referencia a la percepción de las condiciones ambientales interiores y a la reacción que se tiene sobre la información sensorial, la percepción térmica está directamente relacionada por las experiencias y expectativas (variables cognitivas y culturales) [14].



Figura C.14. Factores incidentes en la habituación [14].

Existe una gran cantidad de modelos de confort adaptable, tres de ellos fueron desarrollados por *Humphreys & Nicol*, dos de los investigadores más destacados en este campo. El primero de ellos aplica para edificios en modo pasivo, el segundo para edificios en modo mecánico y el tercero para edificios que no se sabe con certeza si funcionarán en modo pasivo o mecánico [14].

Además del planteamiento de las ecuaciones correspondientes a los tres modelos, también se determinará las temperaturas de confort en la ciudad de Bucaramanga. Eso permitirá hacer una comparación más detallada, no solo de los tres modelos de confort adaptable entre sí, sino de éstos con el modelo de neutralidad térmica.

Confort adaptable: modo pasivo [15].

$$T_c = 12,9 + 0,54 T_{prom} [^{\circ}C]$$

Dónde:

T_c = Temperatura de confort

T_{prom} = Temperatura promedio exterior de bulbo seco.

Tabla C.5. Temperaturas de confort-modo pasivo-Bucaramanga.

Temperaturas de confort - modo pasivo - Bucaramanga, Colombia [°C]												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Max. Media mensual	23,16	23,17	22,87	23,17	23,17	23,18	23,18	23,28	23,18	23,19	23,09	23,05
Min. Media mensual	23,05	23,05	22,05	23,05	23,06	23,06	22,6	23,06	22,47	22,57	22,07	21,68
Temperatura Externa	23,11	23,11	22,46	23,11	23,12	23,12	22,89	23,17	22,83	22,88	22,58	22,37
Temperatura de confort	25,38	25,38	25,03	25,38	25,38	25,38	25,26	25,41	25,23	25,26	25,09	24,98
Zona-límite superior	27,38	27,38	27,03	27,38	27,38	27,38	27,26	27,41	27,23	27,26	27,09	26,98
Zona-límite inferior	23,38	23,38	23,03	23,38	23,38	23,38	23,26	23,41	23,23	23,26	23,09	22,98

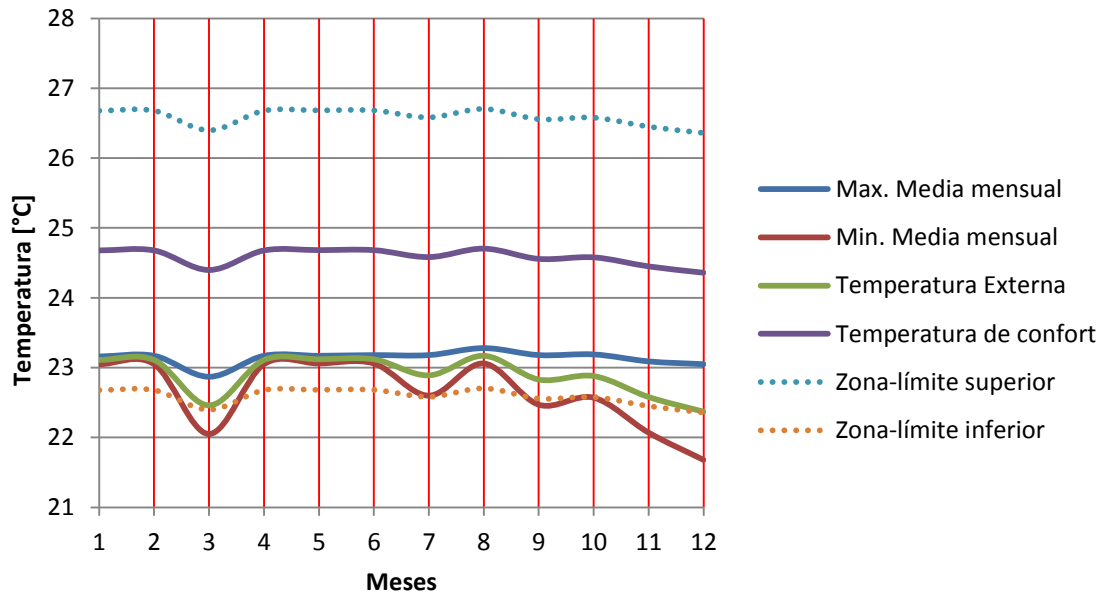


Figura C.15. Temperaturas de confort-modo pasivo-Bucaramanga.

Una de las ventajas de este modelo con respecto al de neutralidad térmica, es en el caso nuevamente de estaciones climáticas, gracias a que el factor que multiplica a la temperatura promedio es mayor, Las zonas límites alcanzarán significativamente valores mayores para verano y valores menores en invierno. En otras palabras, al emplear el modelo adaptable para edificios en modo pasivo se asume que las personas pueden tolerar temperaturas más elevadas en verano y más bajas en invierno.

Sin embargo, para el caso ciudades donde la variación del clima a lo largo del año es mínima, no resulta muy representativo, porque se maximiza los valores de conformidad, de esta manera en lugares con temperaturas altas, la zona de confort deberá ser mayor a la temperatura promedio, lo cual resulta contradictorio.

Confort adaptable: modo mecánico [15]

$$T_c = 23,9 + 0,295 \cdot (T_{PROM} - 22) \cdot e^{-\left[\frac{(T_{PROM} - 22)}{33,94}\right]^2} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Dónde:

T_c = Temperatura de confort.

T_{prom} = Temperatura promedio exterior de bulbo seco.

Tabla C.6. Temperaturas de confort-modo mecánico-Bucaramanga.

Temperaturas de confort - modo mecánico - Bucaramanga, Colombia [°C]												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Max. Media mensual	23,16	23,17	22,87	23,17	23,17	23,18	23,18	23,28	23,18	23,19	23,09	23,05
Min. Media mensual	23,05	23,05	22,05	23,05	23,06	23,06	22,6	23,06	22,47	22,57	22,07	21,68
Temperatura Promedio	23,11	23,11	22,46	23,11	23,12	23,12	22,89	23,17	22,83	22,88	22,58	22,37
Temperatura de confort	24,23	24,23	24,04	24,23	24,23	24,23	24,16	24,25	24,14	24,16	24,07	24,01
Zona-límite superior	26,23	26,23	26,04	26,23	26,23	26,23	26,16	26,25	26,14	26,16	26,07	26,01
Zona-límite inferior	22,23	22,23	22,04	22,23	22,23	22,23	22,16	22,25	22,14	22,16	22,07	22,01

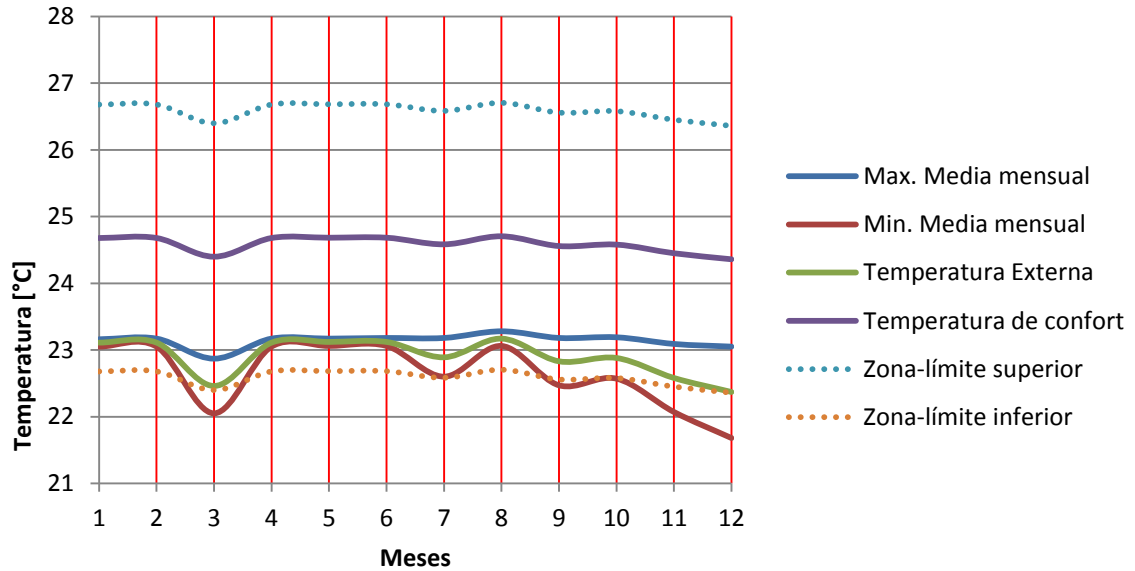


Figura C.16. Temperaturas de confort-modo mecánico-Bucaramanga

Si se compara este modelo con el anterior (el de edificios en modo pasivo) nos percatamos de que las exigencias de confort vuelven a ampliarse. De hecho los resultados, son bastante similares a los del modelo de neutralidad térmica.

Confort adaptable: funcionamiento desconocido [15].

$$T_c = 24,2 + 0,43 \cdot (T_{PROM} - 22) \cdot e^{-\left[\frac{(T_{PROM} - 22)}{28,28}\right]^2} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Dónde:

T_c = Temperatura de confort.

T_{prom} = Temperatura promedio exterior de bulbo seco.

Tabla C.7. Temperaturas de confort-modo mecánico-Bucaramanga.

Temperaturas de confort - funcionamiento desconocido - Bucaramanga, Colombia [°C]												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Max. Media mensual	23,16	23,17	22,87	23,17	23,17	23,18	23,18	23,28	23,18	23,19	23,09	23,05
Min. Media mensual	23,05	23,05	22,05	23,05	23,06	23,06	22,6	23,06	22,47	22,57	22,07	21,68
Temperatura Externa	23,11	23,11	22,46	23,11	23,12	23,12	22,89	23,17	22,83	22,88	22,58	22,37

Temperatura de confort	24,68	24,68	24,4	24,68	24,68	24,68	24,58	24,7	24,56	24,58	24,45	24,36
Zona-límite superior	26,68	26,68	26,4	26,68	26,68	26,68	26,58	26,7	26,56	26,58	26,45	26,36
Zona-límite inferior	22,68	22,68	22,4	22,68	22,68	22,68	22,58	22,7	22,56	22,58	22,45	22,36

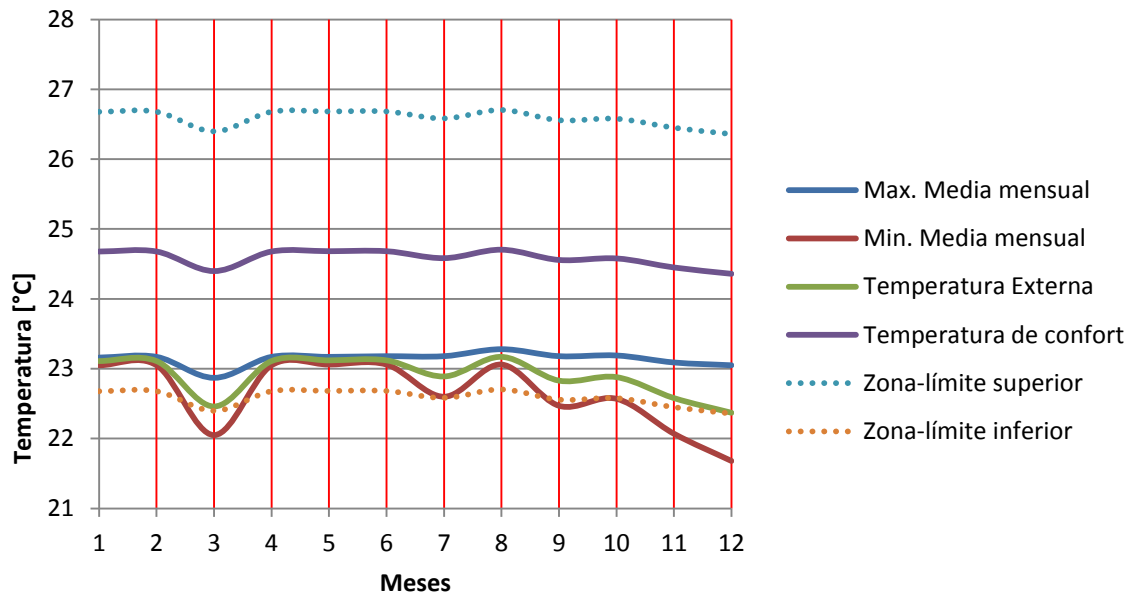


Figura C.17. Temperaturas de confort-modo mecánico-Bucaramanga

Los resultados con este modelo se pueden considerar una situación intermedia entre el modelo para edificios en modo pasivo y el modelo para edificios en modo mecánico, sobre todo para lugares con periodos de verano.

Elección del modelo

Los modelos de confort que se analizaron anteriormente arrojan resultados distintos entre sí, lo que deja dudas sobre la elección del mejor; sin embargo, no es posible establecer uno de los modelos como el más adecuado. Su uso depende más bien del tipo de estudio que se está realizando y del nivel de precisión requerido. En el caso de estar realizando un estudio con edificios que no se sabe a ciencia cierta si van a funcionar en modo pasivo o mecánico, o que podrían funcionar de manera indistinta en cualquiera de esos dos modos, el modelo de

confort adaptable correspondiente puede ser bastante útil. Si se tiene la certeza de que el edificio va a funcionar en modo pasivo, lo más adecuado quizá sería utilizar el modelo de confort adaptable correspondiente. Cuando se sabe que el edificio funcionará en modo mecánico, tanto el modelo de neutralidad térmica como el modelo de confort adaptable correspondiente podrán ser útiles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASHRAE 2009 *Handbook Fundamentals*. Descargado en formato PDF. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: www.ashrae.org >
- [2] Atmosfera. Descargado en formato PDF. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: www.fhuc.unl.edu.ar >
- [3] Confort Térmico y Tipología Arquitectónica en clima Cálido-Húmedo. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: www.mastersuniversitaris.upc.edu >
- [4] Los límites extremos del cuerpo humano. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.tecnologiahechapalabra.com/salud> >
- [5] Determinación del Nivel de confort e indicadores de calor. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.reitoria.uri.br.htm> >
- [6] El método de Fanger. Norma UNE-EN ISO 7730. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.ucm.es/info/fisatom> >
- [7] Humidificación. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.supercontrols.com.ar/humidificacion/>>
- [8] Clima y confortabilidad humana. Aspectos metodológicos. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://dspace.uah.es>>
- [9] Radiación Solar. Disponible en formato *.doc. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.ecomaipo.cl>>
- [10] Solsticios y equinoccios. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: http://www.profesorenlinea.cl/geografiagra/Solsticios_Equinoccios.html>
- [11] Manual de arquitectura bioclimática, Guillermo-Nota 2003, pág. 137
- [12] Man, Climate and arquitectura, Disponible para descarga en formato PDF. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>>
- [13] Modelos de Confort. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.sol-arg.com/index.php/modelos-confort/modelos-simples>>
- [14] Confort Térmico. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: [http://www.farg.edu.uy/joomla/images/stories/termico/Cap1_confort%20Térmico\(1\).pdf](http://www.farg.edu.uy/joomla/images/stories/termico/Cap1_confort%20Térmico(1).pdf)>
- [15] M. A. Humphreys & J F Nicol, 1998 Understanding the adaptive approach to thermal comfort. *ASHRAE Transactions*, Vol 104. Consultado: Agosto 1 de 2012.

Anexo D. Confort Visual

La luz es un recurso de difícil manipulación y más cuando lo que se quiere controlar es la focalización de la luz natural a una superficie en específico. La luz tiene básicamente dos fuentes aprovechables en una construcción: la primera es el Sol (luz natural) y la segunda es la luz artificial proveniente de luminarias alimentadas por energía eléctrica.

La luz natural proveniente del Sol es el recurso menos contaminante, encontrar métodos adecuados para que la luz fluya eficientemente dentro de una edificación se ha vuelto un desafío. Un adecuado aprovechamiento de la luz solar representa un ahorro energético; por esta razón, las estrategias para utilizar este recurso son importantes cuando se piensa en una construcción verde [1].

Para el confort visual se debe tener en cuenta la comodidad visual de los ocupantes dependiendo de la tarea que estén realizando en el lugar, ya que algunas requieren precisión y detalle, debiendo utilizar un flujo luminoso superior al de zonas como pasillos en los cuales las tareas que se realizan allí son de menos relevancia [1].

El confort visual depende de la geometría del lugar, las aberturas, el color y las texturas de las superficies, la iluminación natural; y finalmente la iluminación artificial. Cada una de estas interviene en las estrategias a aplicar en un diseño arquitectónico e influyen tanto física como psicológicamente en los ocupantes ya que también depende de su percepción del lugar [1].

Ajuste luminoso en el diseño arquitectónico

La adecuación de un lugar para el confort visual puede provenir de una fuente artificial y/o natural; las fuentes artificiales son las más sencillas de controlar en el

interior de una edificación; sin embargo, la estrategia natural, tiene un tiempo limitado para su utilización y su manejo es complejo para dirigirla a un lugar específico al interior de las construcciones; esta dificultad aumenta cuando la edificación cuenta con varias plantas o está rodeada de objetos elevados a su alrededor. Teniendo en cuenta estas dos fuentes luminosas se puede lograr una integración entre ellas, donde una sea el apoyo de la otra, de esta forma la luz artificial podría utilizarse sólo cuando la luz natural no esté en capacidad de hacerlo [1].

Conceptos de iluminación

A continuación se darán unos conceptos a considerar para observar algunas estrategias visuales del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Intensidad luminosa

Es la cantidad de flujo luminoso emitido por una fuente en una sola dirección. Está determinado por el cociente entre el flujo luminoso y el ángulo sólido y su unidad es la candela que es una unidad fundamental del S.I. [1].

Flujo luminoso

Corresponde a la cantidad luminosa emitida por una fuente en forma de radiación luminosa sensible al ojo humano, su unidad es el lumen (lm), un lumen corresponderá a un foco con intensidad de una (1) candela (cd) en un ángulo sólido de un (1) estereorradián [1].

Iluminancia o nivel de iluminación

Hace referencia al flujo luminoso recibido por una superficie, su unidad es el lux (lx), que corresponde a un lumen por metro cuadrado (Lumen/m²) [1].

Luminancia o brillo

Es la relación entre la intensidad luminosa y una superficie aparente a la vista por el ojo en una dirección determinada, de forma simplificada será el flujo de luz emitido por una unidad de superficie. Sus unidades son el *Stilb* y el *Lambert* [1].

Rendimiento luminoso

Es el cociente entre el flujo luminoso emitido y la potencia eléctrica consumida. (Lm/W) [1].

Luz y calor

Lo que puede ver el ojo humano son las longitudes de onda que están entre 0,38 μm y 0,78 μm , las otras longitudes de onda más bajas y altas se perciben como calor; a razón de esto, se busca que la iluminación artificial tenga estos intervalos de onda para no perder energía en forma de calor o que no genere incomodidad térmica; para la iluminación natural se busca que estas longitudes de onda de calor no penetren los interiores de la construcción [1].

Reflectancia y superficies

La reflectancia está relacionada con los colores, ya que cada uno emite un rango de longitudes de onda, absorbiendo o reflejando radiaciones. Los colores claros tienen una buena reflectividad, mientras que los colores oscuros no. Si se quiere tener una buena iluminación en interiores se recomienda el uso de colores claros [1].

Básicamente, hay dos superficies, las *opacas* que absorben y/o reflejan la luz y las *traslucidas* que no solo absorbe y refleja la luz sino que también la transmite. Hay una sub-clasificación para estas superficies, las *especulares* que re-emite la

luz en la misma dirección, las *difusas* que re-emiten en todas las direcciones, las *transparentes* que son atravesadas por la luz y las *opalinas* que transmiten la luz en todas las direcciones. Estas propiedades de las superficies de los materiales se utilizan para el diseño interior y para el cristal de las ventanas [1].

Comodidad

En la visión humana la *agudeza visual* está sectorizada por *campos visuales* de distinto enfoque; el que tiene mayor resolución es el *campo focal* el cual tiene un diámetro de 1° y el máximo detalle se logra en la línea central; después de éste se encuentra el *campo de trabajo* que tiene un diámetro de 30° y presenta una agudeza visual buena, percibiendo la profundidad mediante la visión estereoscópica; el siguiente es el *campo estereoscópico* y tiene alrededor de 60° en donde percibe el entorno con agudeza visual media; y por último, está el *campo periférico* que cubre un cono de 90° exceptuando la parte superior que está limitado por unos 60° para la protección de fuentes intensas de luz como el Sol, de ahí la formación anatómica de las cejas y pestañas que protegen el ojo; este campo está sensibilizado por los reflejos y tiene alta sensibilidad a los movimientos [1]. En la Figura D.1 se aprecian los campos visuales anteriormente descritos.

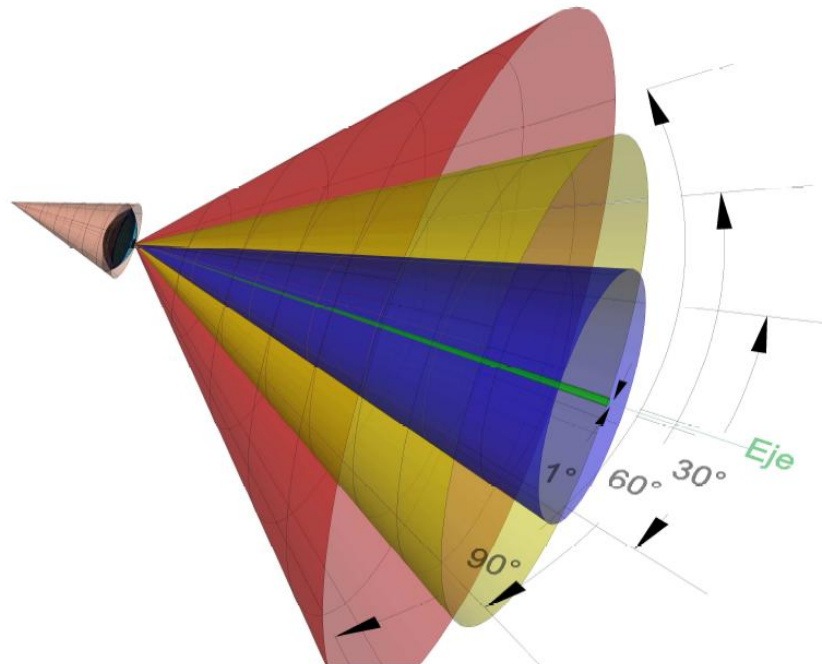


Figura D.1. Campos visuales [1].

Los ojos son sensibles a la luminancia, es decir a la intensidad de luz reflejada o a la proveniente de fuentes de luz. El brillo o luminancia depende del nivel de iluminancia (E) incidente y el porcentaje de luz reflejado (r : coeficiente de reflexión), estas reflexiones los ojos la perciben como colores mate (reflexión difusa) y los colores brillantes o espejados (reflexión especular) [1].

Colores reales

Para que los objetos emitan su color real es necesario tener una fuente de luz que emita toda la gama de colores, ya que como el ojo percibe es la luminancia (reflexión de la iluminación); si la fuente luminosa tiene carencias cromáticas los colores no se percibirán reales; esta clase de características las tiene la luz natural, la cual es perfecta para que el ojo humano perciba tal y como son los colores. Para la iluminación artificial se debe tener en cuenta que la luminaria tenga la tonalidad rojo-azul para ver los colores reales y tener una percepción exacta de los colores o iluminar para disminuir riesgos [1].

Para tareas de fidelidad cromática se debe utilizar temperaturas de color similares a la luz de día, es decir 5 500 K para niveles de iluminación altos, de lo contrario se deben utilizar temperaturas de color entre 3 000 K y 4 000 K, también se debe tener un índice de rendimiento del color mayor al 90% [1].

A partir de cada sector del edificio se especifica la tarea visual que realizan los ocupantes y con esto se aplica un nivel de iluminancia recomendado. La Tabla D.1 presenta los niveles de iluminación recomendados, en azul los niveles de iluminación adecuados para planteles educativos según el RETILAP [1], [3].

Rango de niveles de iluminación:

Tabla D.1. Niveles de iluminación para planteles educativos según RETILAP [3].

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	UGR (L)	NIVELES DE ILUMINANCIA [lux]		
		Mínimo	Medio	Máximo
<i>ÁREAS GENERALES EN LAS EDIFICACIONES</i>				
Áreas de circulación, corredores	28	50	100	150
Escaleras, escaleras mecánicas	25	100	150	200
Vestidores, baños	25	100	150	200
Almacenes, bodegas	25	100	150	200
<i>OFICINAS</i>				
Oficinas de tipo general, mecanografía y computación	19	300	500	750
Oficinas abiertas	19	500	750	1 000
Oficinas de dibujo	16	500	750	1 000
Salas de conferencia	19	300	500	750
<i>COLEGIOS Y CENTROS EDUCATIVOS</i>				
<i>Salones de clase</i>				
Iluminación general	19	300	500	750
Tableros	19	300	500	750
Elaboración de planos	16	500	750	1 000
<i>Salas de conferencia</i>				
Iluminación general	22	300	500	750
Tableros	19	500	750	1 000

Bancos de demostración	19	500	750	1 000
Laboratorios	19	300	500	750
Salas de arte	19	300	500	750
Talleres	19	300	500	750
Salas de asamblea	22	150	200	300

UGR(l): Deslumbramiento

Coefficiente de luz diurna (CLD)

El *coeficiente de luz diurna (CLD)* o también llamado *Factor de Iluminación Natural (FIN)* compara el nivel de iluminación externo (natural) con el interno (natural + artificial); este coeficiente se calcula para el periodo de niveles de iluminación desde las 9 am hasta las 5 pm, entre mayor sea el *CLD* quiere decir que tendrá un contraste menor con el nivel de iluminación exterior, la ecuación (D.1) expresa matemáticamente el comportamiento del *coeficiente de luz diurna* [1], [3].

Según el *RETILAP* para tareas comunes de oficina se puede trabajar con el 2% de la iluminación externa [3].

$$CLD = \frac{E_i}{E_e} 100\% \quad (D.1)$$

Dónde:

E_i: nivel de iluminación interior.

E_e: nivel de iluminación difusa horizontal al exterior del espacio.

Pantallas de luminarias

El contraste de luz intensa produce deslumbramiento, para evitar esto y tener una buena iluminación en un recinto con luces artificiales conviene ocultar la fuente del ojo, para que solo la luz difusa sea la que haga un ambiente luminoso agradable. Para ello se aconseja situar difusores o pantallas que bloqueen la

fuente de luz intensa, la Figura D.2 muestra un ejemplo de una luminaria con pantalla en forma de rejilla [1].



Figura D.2. Pantallas para protección [6].

Configuración del entorno

La luz natural que atraviesa las aberturas de una edificación está relacionada con la radiación solar directa, ya que es la fuente de la radiación solar difusa (CSdf) y de la reflejada por obstáculos (CRO) y el terreno (CRT) (ver Figura D.3). La radiación solar directa depende de la trayectoria solar, para saber su comportamiento es necesario simular la intensidad y los ángulos de incidencia anuales por medio de ecuaciones. Para analizar los impactos sobre una ventana, *Solea-2* simula el comportamiento de la radiación solar donde también es posible introducir datos del cielo (despejado o cubierto) y de los obstáculos que producen sombra [1].

Cuando la edificación tiene muchas obstrucciones alrededor, la estrategia es buscar aprovechar la radiación difusa, colocando superficies que favorezcan la iluminación en los interiores de la construcción, en el caso del Edificio de Ingeniería Eléctrica sería de gran ayuda sembrar frente a esta fachada una vegetación que tenga buenas propiedades de reflectancia [4].

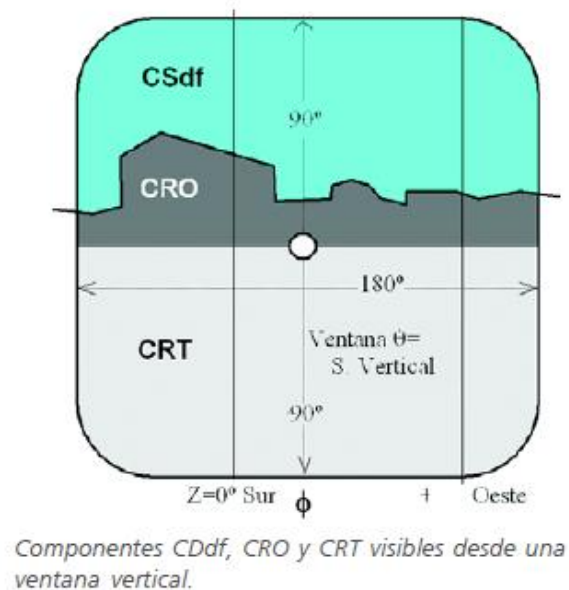


Figura D.3. Fuentes de luz natural de los alrededores que inciden sobre la ventana. Sacado de [1].

Nubes en la bóveda celeste

El comportamiento del cielo (bóveda celeste) y la nubosidad afectan el clima luminoso de un lugar, ya que gran parte de la radiación difusa reflejada en este es la que crea una luz cómoda en el interior de una construcción [1].

Las estimaciones del cielo que se elaboran están basadas en estudios estadísticos y dependen de cada localidad, así que si no se elabora un registro histórico fotográfico o de observaciones del firmamento no será posible predecir su comportamiento [1].

La importancia de simular el comportamiento del cielo es tener más herramientas para aprovechar la iluminación natural en los interiores de un proyecto arquitectónico [1].

Reflectancia del entorno

Los materiales, la grama y los colores que están dispuestos en el entorno pueden tener una reflectancia que mejoren la iluminación que entra por las

aberturas hacia el interior de la construcción. Tener un terreno con una buena reflectancia resulta de un beneficio relativo, ya que si se eligen superficies artificiales o inertes que tengan colores blanquecinos como la arena o pinturas, se puede producir gran reflectancia e incidir negativamente en el confort térmico; contrario a lo que pasaría si se opta por una vegetación de flor amarilla que conserva la humedad y en algunas estaciones producirá una excelente reflectancia [1].

Criterios arquitectónicos

Un parámetro para el diseño de la construcción es que los cerramientos tengan acceso a una fuente de iluminación natural, con el fin de reducir el consumo diario de iluminación artificial teniendo en cuenta que la red eléctrica que alimenta las luminarias proviene en general de una fuente no renovable [1].

Otro parámetro de diseño es el aprovechamiento de la iluminación cenital; éste es posible con cubiertas en materiales traslucidos o tubos solares que a través de una cúpula en el tejado y un tubo transmisor reflectante conduce la luz natural difuminándola hacia el interior [1].

Estrategias de confort visual

Evitar la luz directa del Sol regulando el exceso en el interior de la edificación mediante sistemas de protección solar [1], para evitar la radiación directa y aprovechar la radiación difusa se puede utilizar parasoles, rejillas en las aberturas que evite el exceso y la incidencia directa de los rayos solares, también se puede aplicar una polarización controlada en los cristales de las ventanas. En el Edificio de Ingeniería Eléctrica se optó por los Aerobrises en las ventanas y el parasol en la fachada en *superboard*, como se ve en la Figura D.4 [1] y [4].

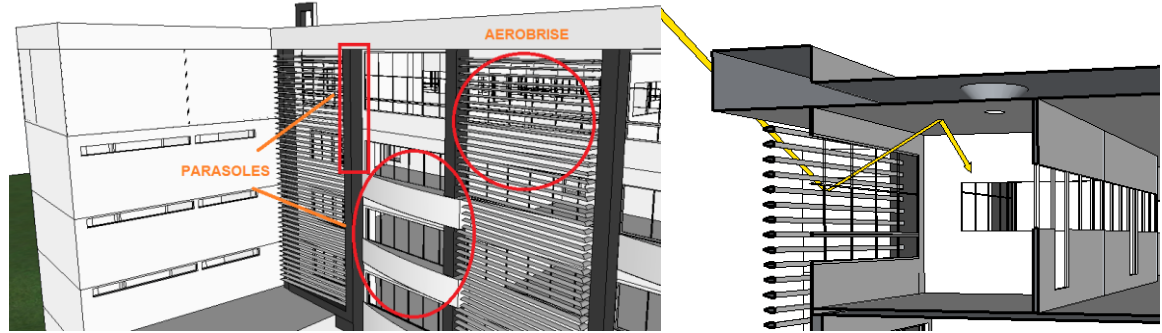


Figura D.4. Bloqueo de la luz directa del Sol.

Los tubos solares son otra estrategia para dirigir la luz hacia el interior de la edificación, este método brinda una solución a la hora de requerir cierta intensidad luminosa en una habitación en particular. En el Edificio de la E3T se colocaron veintitrés (23) tubos solares para aprovechar la luz diurna en el cuarto y quinto piso, en la Figura D.2 se muestra la captación de los rayos solares y como se difuminan en el interior de los cerramientos [1], [4]. En la Figura D.5 se aprecia la incidencia de luz y la dispersión en el interior del cerramiento a través del tubo solar.

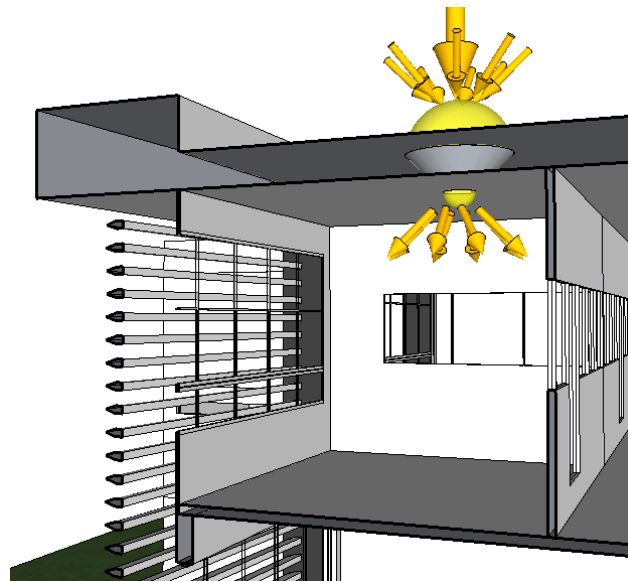


Figura D.5. Tubos solares.

Como se había mencionado la radiación solar tiene un amplio rango de longitudes de onda (λ), el ojo humano percibe aproximadamente de 0,4 [μm] a 0,8 [μm]; para tener solo una comodidad visual y controlar el calor en los interiores de la edificación se hace necesario utilizar ventanas que aíslen o filtren estas radiaciones que elevan la temperatura interior en climas tropicales y aberturas que hagan más cálido los cerramientos en climas fríos [1], [2]. En la Figura D.6 se ilustra el intercambio de calor que se realiza a través de los cristales de la ventana.

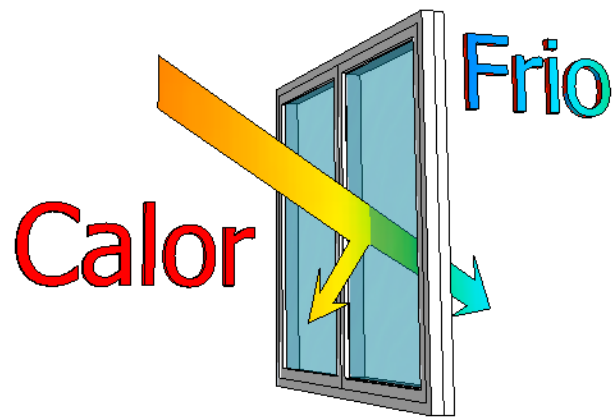


Figura D.6. Intercambio de calor e iluminación a través de la ventana [5].

Para dejar el calor afuera de la edificación se puede utilizar ventanas con capas de gas o de doble cristal que disminuyen la transferencia de calor. En la Figura D.7 se muestra las convecciones de calor realizadas a través de una ventana de doble cristal [2].

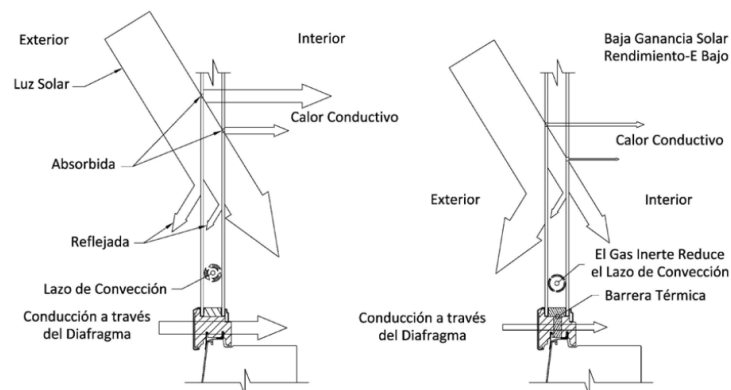


Figura D.7. Convecciones de calor a través de la ventana [2].

Una estrategia sencilla consiste en escoger los colores y las superficies en el interior de la construcción, para esto, utilizar colores claros hace que la luz tenga un mayor recorrido (reflectancia) en los cerramientos aprovechando más las luminarias e iluminación natural. En el Edificio de Ingeniería Eléctrica se optó por un color crema claro, aprovechando mejor la luz de las luminarias, los tubos solares y de las ventanas [1].

Las luminarias utilizadas en esta edificación ocultan la fuente para tener un ambiente luminoso de calidad y aproximarse a la sensación de luz natural, además se pueden ajustar manualmente en un nivel de iluminación de 3 pasos para ahorrar energía con el aprovechamiento de la luz diurna (ver Capítulo 7.3.4) [1]. En la Tabla D.2 se muestran los tipos de luminarias utilizadas. Las Tabla D.2 y D.3 muestran los tipos de luminarias y la potencia utilizadas en áreas de estudio y pasillos.

Tabla D.2. Luminarias de tipo pantalla utilizadas en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.






Símbolo	Tipo
	Lámpara fluorescente
	Lámpara fluorescente
	Lámpara fluorescente
	Lámpara fluorescente
	Lámpara fluorescente

Tabla D.3. Potencia instalada en el edificio de Ingeniería Eléctrica.

	POTENCIA INSTALADA EN EL EDIFICIO		
	Potencia por piso [W]	Área [m ²]	[W/m ²]
Sótano	1 788	244	7,33

Piso 1	3 890	549	7,09
Piso 2	4 282	554	7,73
Piso 3	4 226	559	7,56
Piso 4	4 738	459	10,32
Piso 5	3 576	335	10,67
Total	22 500	2 700	8,33

Las aberturas del Edificio de Ingeniería Eléctrica brindan la entrada de la luz natural al interior, con el programa *Solea-2* es posible simular y observar los resultados de la radiación solar directa incidente en las fachadas, para este ejemplo se le introducen los datos de la fachada A del edificio, estas aberturas miran hacia el Sur, es decir a 0° y uno de los obstáculos de mayor obstrucción se encuentra a 17° , la latitud es $7,13^\circ$ y el día es 8 de octubre. Los datos suministrados son para ubicar la edificación globalmente ya que el Sol no aparece todos los días del año en el mismo lugar [1].

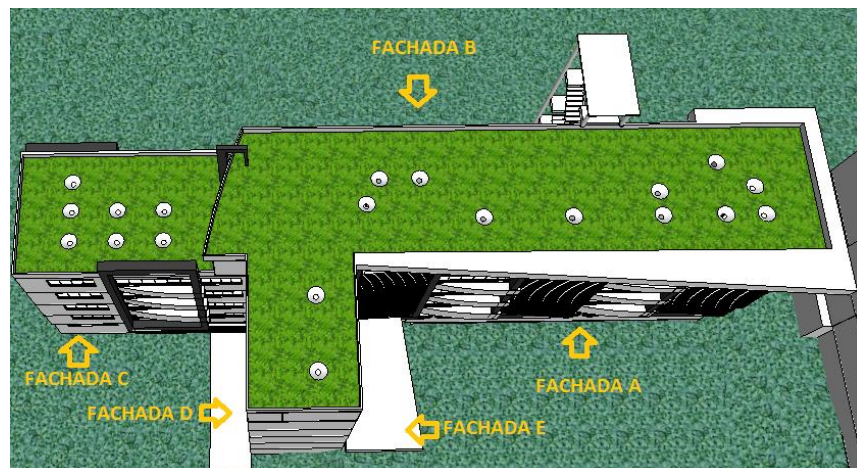


Figura D.8. Fachadas del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Las Figuras D.9 y D.10 exponen los resultados del programa *Solea-2*.

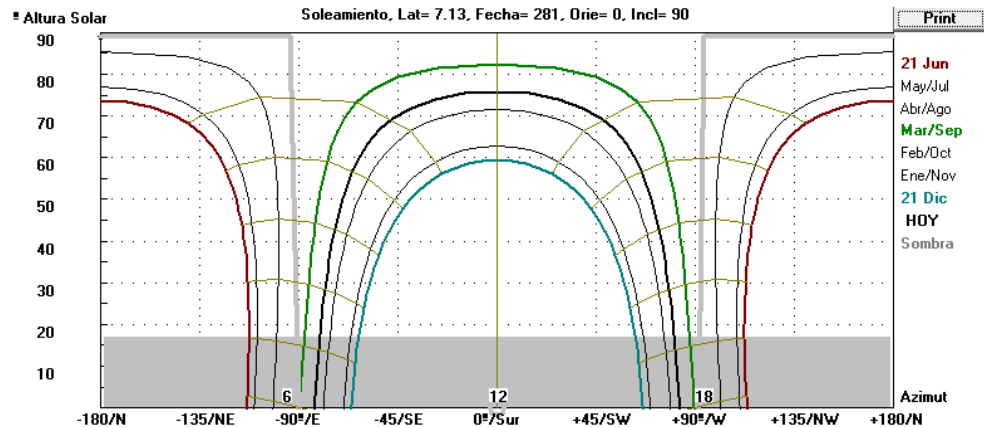


Figura D.9. Carta solar de la fachada A del programa de Solea-2 sacado del manual ICARO.

La Figura D.9 muestra para la fachada A la incidencia del Sol anual en la abertura especificada (línea negra gruesa llamada **HOY**), la zona gris hace referencia a la ausencia de luz directa (sombra) a causa del obstáculo a 17°, las líneas de colores muestran algunas fechas del año y su curvatura depende de la altura solar y la orientación de la fachada (N, S, E u O), las líneas horizontales son los ángulos de altura solar $[\alpha]$ (Ver Anexo E) y las verticales es la variación del ángulo azimutal $[\varphi]$ relacionado con la orientación.

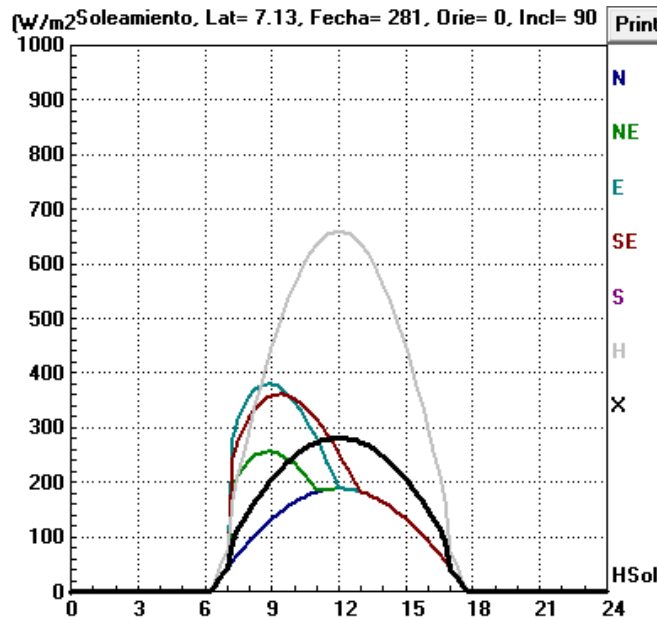


Figura D.10. Soleamiento de la fachada A del programa de Solea-2 sacado del manual ICARO.

La Figura D.10 describe las horas Sol durante el día 8 de octubre y representa también la intensidad recibida en esa fachada, las otras curvas la radiación de ese día de las otras fachadas diferentes a la fachada A.

Para el proyecto arquitectónico es posible utilizar varios programas para analizar el comportamiento luminoso diurno y así tener mejores estrategias a aplicar en una construcción. Otro programa es el *Solar Tool* que simula las sombras con el modelo tridimensional de la edificación, aquí se puede observar de una forma más detallada y global de la influencia de las sombras procedentes de los obstáculos sobre la edificación y también verificar si las aberturas satisfacen la iluminación del interior. Una muestra del potencial de este programa se muestra en las Figuras D.11 y D.12 [5].

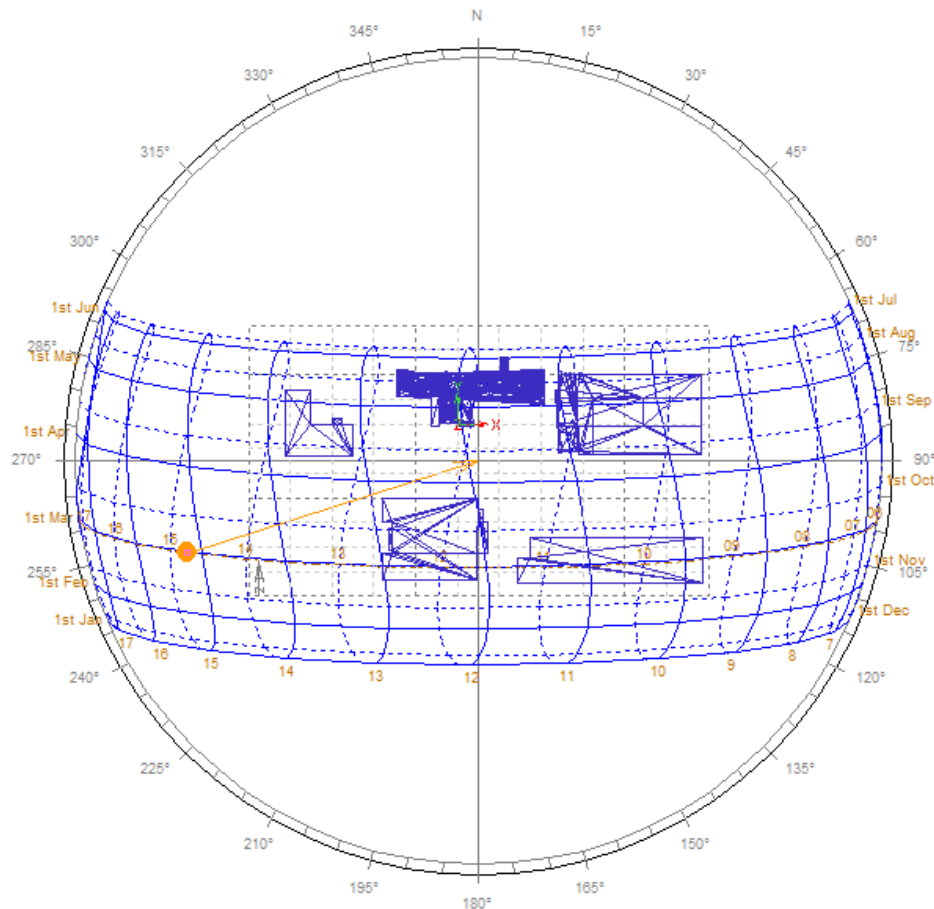


Figura D.11. Carta solar para el Edificio de Ingeniería Eléctrica [5].

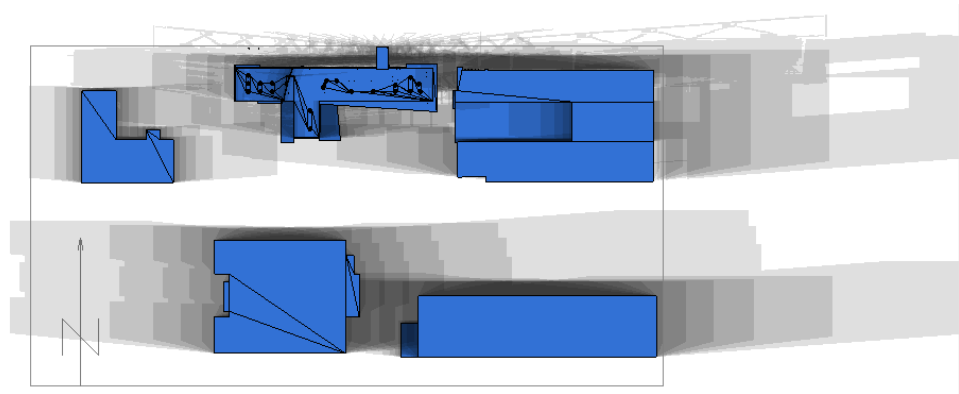


Figura D.12. Sombras producidas por los edificios aledaños al Edificio de Ingeniería Eléctrica [5].

La Figura D.11 muestra la carta solar del sector de las edificaciones aledañas a la E3T y la Figura D.11 ilustra la ubicación de las sombras desde las 7:00 horas hasta las 17:00 horas en pasos de 60 minutos para el día 1 de Octubre [5], con estas Figuras es posible ver el impacto del Sol en términos de iluminación sobre la E3T.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MONROY, Manuel Martín. Manuales de diseño ICARO de Calidad Ambiental en la Edificación. Descargado en formato PDF. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL:http://editorial.dca.ulpgc.es/ftp/ambiente/Fundamentos%20de%20CAE_ICARO.pdf >
- [2] Capítulo 6: Puertas y ventanas. Consultado 1 de Octubre de 2012. Disponible en la web <URL: http://www.bae.uky.edu/energy/residential/guide/spanish/CAPITULO_6.pdf >
- [3] REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO (RETILAP). Consultado 1 de Octubre de 2012. Disponible en la web <URL: <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/ENERGIA/RETILAP/Propuesta-Modificacion-AnexoRETILAPmodificado-11.pdf> >
- [4] La ventana: Análisis y Estrategias respecto a la Energía Solar. Consultado 1 de Octubre de 2012. Disponible en la web <URL:<http://www.heliodon.net/downloads/Alfredo%20turriaga%20La%20Ventana.pdf> >
- [5] Electrical Services – Lighting. Consultado 1 de Octubre de 2012. Disponible en la web <URL:<http://www.arch.mcgill.ca/prof/reinhart/arch447/fall2006/LectureNotes/LightingSimulation-Ecotect.pdf> >
- [6] El Salón Virtual de la Arquitectura. Consultado 1 de Octubre de 2012. Disponible en la web <URL: <http://www.archiexpo.es/producto-fabricante/luminaria-fluorescente-thorn-6962-310.html> >

Anexo E.

Descripción para la elaboración del formato EPW

El formato *EPW* es el tipo de archivo utilizado por *EnergyPlus* para organizar las variables climáticas, a su vez *EnergyPlus* es el motor de cálculo del software *DesignBuilder*, de ahí su importancia para este trabajo de investigación.

Para la elaboración del formato se deberá organizar la información de la estación climática de acuerdo a las Tabla E.2, sin embargo, la mayoría de formatos climáticos basan su organización de acuerdo al *ASHRAE Handbook Fundamentals*, por ende también se mostrará su distribución de variables a través de la Tabla E.1.

Tabla E.1. Formato *ASHRAE 2009 Handbook Fundamentals* [1].

Formato <i>ASHRAE 2009 Handbook Fundamentals</i>
LOCATION,A1,A2,A3,A4,N1,N2,N3,N4,N5
DESIGN CONDITIONS,N1,A1,A2,N2, ... , N16,A3,N17, ... ,N48,A4,N49, ... ,N54,N56, ... , N65
TYPICAL/EXTREME PERIODS,N1,A1,A2,N2,N3,A3,A4,N4,N5
GROUND TEMPERATURES,N1,N2, ... ,N16,N17
HOLIDAYS / DAYLIGHT SAVINGS,A1,N1,N2,N3,A2,N4
COMMENTS 1,A1
COMMENTS 2,A2
DATA PERIODS ,N1,N2,A1,A2,N3,N4
N1,N2,N3,N4,N5,A1,N6,N7, ... ,N30,N31

Tabla E.2. Formato *EnergyPlus* [2].

Formato <i>EnergyPlus</i>
LOCATION,A1,A2,A3,A4,N1,N2,N3,N4,N5
DESIGN CONDITIONS,N1,N2,N3, ... ,N26,N27
TYPICAL/EXTREME PERIODS,N1,A1,A2,N2,N3,A3,A4,N4,N5
GROUND TEMPERATURES,N1,N2, ... ,N16,N17
HOLIDAYS / DAYLIGHT SAVINGS,A1,N1,N2,N3,A2,N4

COMMENTS 1,A1
COMMENTS 2,A2
DATA PERIODS ,N1,N2,A1,A2,N3,N4
N1,N2,N3,N4,N5,A1,N6,N7, . . . ,N30,N31

Para el caso de los datos de localidad (*Location*) es igual para ambos formatos y se detallará en la Tabla E.3 cada uno de los ítems mostrados en la línea uno del formato de *EnergyPlus*, es importante resaltar que las variables van separadas por comas (,). Los datos correspondientes a la localidad se deben ubicar exclusivamente en la línea uno del formato.

Tabla E.3 Datos de localidad – *EnergyPlus Weather* [2].

Datos de Localidad		
Abreviatura	Descripción	Tipo
A1	Ciudad, donde fueron tomados los datos	Alfabético
A2	Estado / Provincia / Región	Alfabético
A3	País	Alfabético
A4	Fuente de los datos	Alfabético
N1	Código del clima WMO (World Meteorological Organization)	Numérico
N2	Latitud en grados con decimales, (+) significa Norte y (-) significa Sur [°]	Numérico
N3	Longitud en grados con decimales, (+) significa Oriente y (-) significa Occidente [°]	Numérico
N4	Zona horaria con referencia a GMT	Numérico
N5	Altura sobre el nivel del mar [m]	Numérico

Para el caso de las condiciones de diseño (*Design conditions*) se diferencian los dos formatos. El formato de *ASHRAE 2009 Handbook Fundamentals* [4], mostrado en la Tabla E.4. En la Tabla E.5 se hará referencia al formato explicado en las guías de información de *EnergyPlus*, sobre el formato *EnergyPlus Weather* [6].

Tabla E.4 Datos de condiciones de diseño, formato *ASHRAE 2009* [2].

Datos de condiciones de diseño - <i>ASHRAE 2009 Handbook Fundamentals</i>		
Abreviatura	Descripción	Unidad
N1	Número de condiciones	-
A1	Fuente de los datos	-

-	Espacio de protocolo	-	
A2	Heating: Condiciones de calefacción	-	
N2	Coldest Month: Mes frio	-	
N3	99,6% Altas temperaturas de bulbo húmedo	°C	
N4	99% Altas temperaturas de bulbo húmedo	°C	
N5	99,6% Temperatura de punto de rocío	Humificación	°C
N6	99,6% Humedad relativa		%
N7	99,6% Media coincidente de la temperatura de bulbo húmedo		°C
N8	99% Temperatura de punto de rocío		°C
N9	99% Humedad relativa		%
N10	99% Media coincidente de la temperatura de bulbo húmedo		°C
N11	0,4% velocidad del viento	Refrigeración mensual	m/s
N12	0,4% Media coincidente de la temperatura de bulbo húmedo		°C
N13	1% velocidad del viento		m/s
N14	1% Media coincidente de la temperatura de bulbo húmedo		°C
N15	Media coincidente de la velocidad del viento para el 99,6% de la temperatura de bulbo húmedo	m/s	
N16	Prevalencia coincidente de la dirección del viento para el 99,6% de la temperatura de bulbo húmedo	°	
A3	Cooling: Condiciones de refrigeración	-	
N17	Hottest Month: Mes caliente	-	
N18	Rango de la temperatura de bulbo húmedo mensual	°C	
N19	0,4% Temperatura de bulbo húmedo	Refrigeración	°C
N20	0,4% Media coincidente de la temperatura de bulbo seco		°C
N21	1% Temperatura de bulbo húmedo		°C
N22	1% Media coincidente de la temperatura de bulbo seco		°C
N23	2% Temperatura de bulbo húmedo		°C
N24	2% Media coincidente de la temperatura de bulbo seco		°C
N25	0,4% Temperatura de bulbo seco	Evaporación	°C
N26	0,4% Media coincidente de la temperatura de bulbo húmedo		°C
N27	1% Temperatura de bulbo seco		°C
N28	1% Media coincidente de la temperatura de bulbo húmedo		°C
N29	2% Temperatura de bulbo seco		°C
N30	2% Media coincidente de la temperatura de bulbo húmedo		°C
N31	Media coincidente de la velocidad del viento para el 0,4% de la temperatura de bulbo húmedo	m/s	
N32	Prevalencia coincidente de la dirección del viento para el 0,4% de la temperatura de bulbo húmedo	°	
N33	0,4% Temperatura de punto de rocío	Deshumidificación	°C
N34	0,4% Humedad relativa		%
N35	0,4% Media coincidente de la temperatura de bulbo húmedo		°C
N36	1% Temperatura de punto de rocío		°C

N37	1% Humedad relativa		%
N38	1% Media coincidente de la temperatura de bulbo húmedo		°C
N39	2% Temperatura de punto de rocío		°C
N40	2% Humedad relativa		%
N41	2% Media coincidente de la temperatura de bulbo húmedo		°C
N42	0,4% Entalpía	Entalpia	kJ/kg
N43	0,4% Media coincidente de la temperatura de bulbo húmedo		°C
N44	1% Entalpía		kJ/kg
N45	1% Media coincidente de la temperatura de bulbo húmedo		°C
N46	2% Entalpía		kJ/kg
N47	2% Media coincidente de la temperatura de bulbo húmedo		°C
N48	Número de horas de 8a.m.a 4 p.m. entre temperaturas de 12,8°C y 20,6°C		-
A4	Extrems: Condiciones extremas		-
N49	1% Velocidad del viento extrema anual		m/s
N50	2,5% Velocidad del viento extrema anual		m/s
N51	5% Velocidad del viento extrema anual		m/s
N52	Máxima temperatura de bulbo seco extremo anual		°C
N53	Media de mínimas temperaturas de bulbo húmedo extremo anual		°C
N54	Media de máximas temperaturas de bulbo húmedo extremo anual		°C
N56	Desviación estándar de mínimas temperaturas de bulbo húmedo extremo anual		°C
N57	Desviación estándar de máximas temperaturas de bulbo húmedo extremo anual		°C
N58	Mínima en 5 años	Temperaturas extremas de bulbo húmedo desde hace n - años	°C
N59	Máxima en 5 años		°C
N60	Mínima en 10 años		°C
N61	Máxima en 10 años		°C
N62	Mínima en 20 años		°C
N63	Máxima en 20 años		°C
N64	Mínima en 50 años		°C
N65	Máxima en 50 años		°C

Tabla E.5 Datos de condiciones de diseño, formato *EnergyPlus Weather* [2].

Datos de condiciones de diseño - Energyplus		
Abreviatura	Descripción	Unidad
N1	Máxima temperatura de bulbo seco diaria durante el año.	°C
N2	Mínima temperatura de bulbo seco diaria durante el año.	°C
N3	Desviación estándar de la máxima temperatura de bulbo seco diaria durante el año.	°C
N4	Desviación estándar de la mínima temperatura de bulbo seco diaria durante el año.	°C
N5	99,6% de la temperatura de bulbo seco de calefacción.	°C

N6	99% de la temperatura de bulbo seco de calefacción.	°C
N7	98% de la temperatura de bulbo seco de calefacción.	°C
N8	0,4% de la temperatura de bulbo seco de enfriamiento.	°C
N9	0,4% Media coincidente de la temperatura de bulbo húmedo.	°C
N10	1% de la temperatura de bulbo seco de enfriamiento.	°C
N11	1% Media coincidente de la temperatura de bulbo húmedo.	°C
N12	2% de la temperatura de bulbo seco de enfriamiento.	°C
N13	2% Media coincidente de la temperatura de bulbo húmedo.	°C
N14	0,4% Temperatura de punto de rocío de enfriamiento.	°C
N15	0,4% Media coincidente de temperatura de bulbo seco.	°C
N16	0,4% Humedad relativa.	%
N17	1% Temperatura de punto de rocío de enfriamiento.	°C
N18	1% Media coincidente de la temperatura de bulbo seco.	°C
N19	1% Humedad relativa.	%
N20	2% Temperatura punto de rocío de enfriamiento.	°C
N21	2% Media coincidente de la temperatura de bulbo seco.	°C
N22	2% Humedad relativa.	%
N23	Rango diario de la temperatura de bulbo seco.	°C
N24	Temperatura base diaria de grados de calefacción.	°C
N25	Grados de calefacción diario.	°C
N26	Temperatura base diaria de grados de enfriamiento.	°C
N27	Grados de enfriamiento diario.	°C

A partir de esta línea 3 ambos formatos serán iguales (*EnergyPlus Weather* y *ASHRAE 2009 Handbook Fundamentals*). Para esta línea de datos se describen los periodos típicos y extremos (*Typical/Extreme conditions*), en la Tabla E.6 muestra el orden del formato.

Tabla E.6 Datos de periodos típicos y extremos.

Datos de los periodos típicos y extremos	
Abreviatura	Descripción
N1	Número de periodos típicos y extremos (Máximo 8).
A1	Summer / Winter / Autumn / Spring (Verano / invierno / otoño / primavera) – Comentario del Periodo 1 típico y extremo.
A2	Extreme / Typical: Se pone <i>Extreme</i> o <i>Typical</i> para indicar que las fechas son para el periodo extremo o típico
N2	Fecha del inicio del periodo 1 [Mes/Día]
N3	Fecha de finalización del periodo 1 [Mes/Día]
A3	Periodo 2 típico y extremo.

A4	Extreme / Typical: Se pone <i>Extreme</i> o <i>Typical</i> para indicar que las fechas son para el periodo extremo o típico
N4	Fecha del inicio del periodo 2 [Mes/Día]
N5	Fecha de finalización del periodo 2 [Mes/Día]

Para las líneas de datos del formato que describen la de temperatura de tierra (*grounds temperature*), datos de días festivos (*holidays / daylight savings*), datos de comentarios (*commnets*) e información de los periodos de datos (*data periods*), en las Tablas E.7, E.8, E.9 y E.10 ilustra el orden y significado de cada espacio entre comas.

Tabla E.7 Datos de temperaturas de tierra.

Datos de temperatura de tierra		
Abreviatura	Descripción	Unidad
N1	Número de distintas profundidades del suelo (Máximo 3).	m
N2	Profundidad de la capa 1.	m
N3	Conductividad de la capa 1.	W/m-K
N4	Densidad de la capa 1.	kg/m ³
N5	Calor específico de la capa 1.	J/kg-K
N6	Temperatura media de la tierra en Enero.	°C
N7	Temperatura media de la tierra en Febrero.	°C
N8	Temperatura media de la tierra en Marzo.	°C
N9	Temperatura media de la tierra en Abril.	°C
N10	Temperatura media de la tierra en Mayo.	°C
N11	Temperatura media de la tierra en Junio.	°C
N12	Temperatura media de la tierra en Julio.	°C
N13	Temperatura media de la tierra en Agosto.	°C
N14	Temperatura media de la tierra en Septiembre.	°C
N15	Temperatura media de la tierra en Octubre.	°C
N16	Temperatura media de la tierra en Noviembre.	°C
N17	Temperatura media de la tierra en Diciembre.	°C

Tabla E.8 Datos de días festivos.

Datos de días festivos	
Abreviatura	Descripción
A1	Yes/No es año bisiesto.
N1	Día de inicio de inicio de horario de verano.
N2	Día final del horario de verano.
N3	Número de días festivos en el año (Se definen a partir de las siguientes casillas).
A2	Nombre del día festivo.
N4	Fecha del día festivo Mes/Día.

Tabla E.9. Datos referentes a las casillas de comentarios.

Datos de Comentarios	
Comentario 1	
Abreviatura	Descripción
A1	Comentario con referencia a normas o aclaraciones a tener en cuenta en los datos
Comentario 2	
A1	Comentario con referencia a normas o aclaraciones a tener en cuenta en los datos

Tabla E.10 Información de los periodos de datos.

Información de los periodos de datos	
Abreviatura	Descripción
N1	Número de periodos de datos.
N2	Número de datos en una hora.
A1	Datos para el periodo 1 Nombre/Descripción.
A2	Dato del periodo 1, día de inicio de la semana, se elige un día de la semana (Sunday, Monday, Tuesday, Wednesday, Thursday, Friday y Saturday).
N3	Dato del periodo 1, fecha de inicio del año, Mes/Día.
N4	Dato del periodo 1, fecha de finalización del año, Mes/Día.

Finalmente, los datos referentes a las mediciones realizadas se organizarán de acuerdo al formato descrito en la Tabla E.11. Este formato se obtuvo de la documentación disponible en *EnergyPlus* sobre el formato *EnergyPlus Weather* [5], [6].

Tabla E.11 Datos de medición.

Datos de medición		
Abreviatura	Descripción	Unidad
N1	Año.	-
N2	Mes.	-
N3	Día.	-
N4	Hora.	-
N5	Minuto.	-
A1	Origen de los datos e incertidumbre de banderas. Tabla E.14, Tabla E.15, Tabla E.16, y Tabla E.17.	-
N6	Temperatura de bulbo seco.	°C
N7	Temperatura de punto de rocío.	°C
N8	Humedad relativa.	%
N9	Presión atmosférica.	Pa
N10	Radiación horizontal extraterrestre.	Wh/m ²
N11	Radiación normal directa extraterrestre.	Wh/m ²
N12	Radiación horizontal infrarroja del cielo.	Wh/m ²
N13	Radiación horizontal global.	Wh/m ²
N14	Radiación normal directa.	Wh/m ²
N15	Radiación horizontal difusa.	Wh/m ²
N16	Iluminación horizontal global.	Lux
N17	Iluminación normal directa.	Lux
N18	Iluminación horizontal difusa.	Lux
N19	Iluminación Cenit.	Cd/m ²
N20	Dirección del viento, Figura E.1.	°
N21	Velocidad del viento.	m/s
N22	Cubierta total del cielo, cantidad de nubes en el firmamento, Tabla E.20.	-
N23	Cubierta del cielo opaco, nubosidad en el firmamento, Tabla E.20.	-
N24	Visibilidad.	km
N25	Altura de techo.	m
N26	Observación del clima actual, Tabla E.21.	-
N27	Códigos del clima actual, Tabla E.22.	-
N28	Precipitación del agua.	mm
N29	Espesor óptico de aerosoles.	milésimas
N30	Espesor de la nieve.	cm
N31	Días desde la última nevada.	-

La línea referente a los datos de medición representa la mayor parte de la información, para el caso explícito del modelo del Edificio de Ingeniería Eléctrica estas variables se obtuvieron de una estación meteorológica *Vantage Pro2 – Davis* [1].

Los datos poseen rangos dentro de los cuales debe estar la información. En la Tabla E.12 se describen el rango permitido para cada uno de los ítems.

Tabla E.12 Rango de limitación de los datos de medición.

Rango posible de los datos de medición				
Abreviatura	Descripción	Rango posible	Valor por defecto	Dato ignorado
N1	Año	-	-	X
N2	Mes	1-12	-	
N3	Día	01-31	-	
N4	Hora	1-24	-	
N5	Minuto	0 - 60	-	
N6	Origen de datos / Incertidumbre de banderas	Tabla E.14,E.15, E.16 y E.17	-	
N7	Temperatura de bulbo seco [°C]	-70 a 70	99,9	
N8	Temperatura Punto de Rocío [°C]	-70 a 70	99,9	
N9	Humedad Relativa [%]	0 - 110	999	
N10	Presión [Pa]	31 000 – 120 000	999999	
N11	Radiación Horizontal Extraterrestre [Wh/m ²]	Mínimo 0	9999	X
N12	Radiación Normal Directa Extraterrestre [Wh/m ²]	Mínimo 0	9999	X
N13	Radiación Horizontal Infrarroja del cielo [Wh/m ²]	Mínimo 0	9999	
N14	Radiación Horizontal global [Wh/m ²]	Mínimo 0	9999	X
N15	Radiación Normal Directa [Wh/m ²]	Mínimo 0	9 999 < Val o Val < 0	
N16	Radiación Horizontal Difusa [Wh/m ²]	Mínimo 0	9 999 < Val o Val < 1	
N17	Iluminación Horizontal Global [lux]	Mínimo 0	> 999900	X
N18	Iluminación Normal Directa [lux]	Mínimo 0	> 999900	X
N19	Iluminación horizontal difusa [lux]	Mínimo 0	> 999900	X
N20	Cenit de Luminancia [Cd/m ²]	Mínimo 0	9999	X
N21	Dirección del viento [°]	0 - 360 (Figura E.1)	999	
N22	Velocidad del viento [m/s]	0 - 40	999	
N23	Cubierta total del cielo	0 - 10 (Tabla E.20)	99	
N24	Cubierta del cielo opaco	0 - 10 (Tabla E.20)	99	

N25	Visibilidad [Km]	-	9999	X
N26	Altura de techo [m]	-	99999	X
N27	Observación del clima actual	0 ó 9 (Tabla E.21)	9	
N28	Códigos del clima actual	9 dígitos (Tabla E.22)	999999999	
N29	Precipitación de agua [mm]	-	999	X
N30	Espesor Óptico de Aerosoles [milésimas]	-	999	X
N31	Espesor de la nieve [cm]	-	0,999	
N32	Días desde la última nevada	-	99	X
N33	Albedo	-	-	X
N34	Espesor de precipitación líquida [mm]	0 – 1,5	0	
N35	Cantidad de precipitación líquida [hr]	-	102	X

Los valores descritos como valores por defecto, describen la cantidad que se debe colocar en el ítem correspondiente en caso de desconocer su valor verdadero. De esta forma *EnergyPlus- DesignBuilder* no tendrán en cuenta esta cantidad, indiferentemente de la casilla **dato ignorado**, que corresponde a un dato que el mismo software no tiene en cuenta y que corresponde simplemente a un dato de protocolo o referencia.

Algunos de estos datos son necesarios para los diferentes formatos que existen como el *DOE-2* o el *BLAST*, sin embargo también corresponden a información con poca relevancia que no se tienen en cuenta para los cálculos, en la Tabla E.13 se comparan los datos de medición requeridos entre los principales formatos existentes a nivel mundial.

Tabla E.13. Diferencia de variables requeridas entre los principales formatos climáticos.

Datos requeridos para los diferentes estándares mundiales				
Dato	DOE 2	Blast	Esp-r	EPW
Localización	X	X	X	X
Nombre				
Latitud				
Longitud				
Altura sobre el nivel del mar				
Zona horaria				
Fuente de los datos				X

Comentarios			X	X
Condiciones de diseño				X
Periodos típicos y extremos			X	X
Datos de los periodos				X
Festivos y horarios de verano		X		X
Ángulos solares y ecuaciones horarias		X		
Grados de los días		X		X
Año	X	X	X	X
Mes	X	X	X	X
Día	X	X	X	X
Hora	X	X	X	X
Minuto				X
Procedencia de los datos e incertidumbre de los medidores				X
Temperatura de bulbo seco	X	X	X	X
Temperatura de bulbo húmedo	X	X		
Temperatura de punto de rocío	X			X
Presión Atmosférica	X	X		X
Radio de humedad	X	X		
Humedad relativa			X	X
Entalpía	X			
Densidad	X			
Velocidad del viento	X	X	X	X
Dirección del viento	X	X	X	X
Temperatura del cielo infrarrojo		X		X
Radiación solar				
<i>Global</i>	X	X	X	X
<i>Normal</i>				
<i>Difusa</i>				
Iluminación				
<i>Global</i>				X
<i>Normal</i>				
<i>Difusa</i>				
Cielo cubierto	X			X
<i>Nubes</i>				
Cielo opaco cubierto				X
Visibilidad				X
Altura de techo				X
Claridad Mensual	X			

Temperatura del suelo mensual	X			X
Observación del clima presente y códigos				
<i>Lluvia</i>		X		X
<i>Nieve</i>				
Precipitación de agua				X
Espesor óptico de aerosoles				X
Espesor de la nieve				X
Ultimo día que nevó				X
Albedo				X
Espesor de la precipitación líquida				X
Cantidad de precipitación líquida				X

Para la alimentación de los datos de medición se tendrán dos tipos de variables. Las primeras serán datos directos. El segundo tipo hace referencia a los datos indirectos.

Datos Directos

Estos datos son los valores que se toman de la estación sin necesidad de utilizar una fórmula, estos son: la *fecha*, el *tiempo* (Hora : Minuto), la *temperatura externa*, la *humedad externa*, la *temperatura de punto de rocío*, la *velocidad del viento*, la *lluvia* y la *radiación solar* [1], [3].

La *fecha* se deberá separar en casillas para obtener por separado en cada una el año, el mes y el día; el *tiempo* se divide en dos casillas, la *hora* y el *minuto*, la fecha y el tiempo indica el día en que los valores de las diferentes variables fueron tomados, los datos de año, mes, día, hora y minuto se utilizan para los datos indirectos en cálculos de radiación ya que estos dependen de la fecha, el tiempo y la posición global [1], [3].

La *temperatura externa* (°C), la *humedad externa* (%) y la *temperatura de punto de rocío* (°C) que mide la estación meteorológica corresponderán a la *temperatura de bulbo seco* (°C), *humedad relativa* (%) y *temperatura de punto de rocío* (°C) respectivamente, estas columnas se toman directamente ya que tiene las mismas unidades [1] y [3].

Para el caso de la *dirección del viento* no será necesaria una fórmula como tal pero si habrá necesidad de hacer una relación de nomenclatura (norte-sur-oriente-occidente) con su respectivo valor en grados, basados en una rosa de los vientos.

La *velocidad del viento* está dada en [m/s], la lluvia es la misma precipitación del agua dada en mm, por lo tanto son los mismos del formato EPW [1] y [3].

La *radiación solar* según el catálogo de la estación climatológica (*Vantage Pro2*) corresponde a la radiación horizontal global y está dada en las mismas unidades requeridas para el archivo de *EnergyPlus*, de esta radiación y de la constante solar se derivan todas las demás radiaciones con el apoyo de fórmulas [3].

Datos indirectos

Los datos indirectos son aquellos que a partir de las variables de la *Vantage Pro2* y mediante unas ecuaciones es posible hallar los valores requeridos en el formato EPW.

Origen de los datos / incertidumbre de banderas

La casilla “Origen de los datos / incertidumbre de banderas” se compone de 44 dígitos, los cuales clasifican la fuente y la incertidumbre de los medidores con que se tomaron los valores, cada medidor tiene un par en esta casilla teniendo 22 pares de dígitos en cada bandera, estos se obtienen de unas tablas. La Tabla E.14 muestra el significado de cada uno de los dígitos con su respectivo rango de valor, estos vienen por pares, el primero indica la fuente o la característica que mide el equipo basado en la Tabla E.15 y subsiguiente la incertidumbre que este tiene [6].

Tabla E.14. Código de clasificación de los medidores del equipo [3].

1	Fuente de los datos de temperatura de bulbo seco Incertidumbre de los datos de temperatura de bulbo seco	A-F 0-9
2	Fuente de los datos de temperatura de punto de rocío Incertidumbre de los datos de temperatura de punto de rocío	A-F 0-9
3	Fuente de datos de la humedad relativa Incertidumbre de los datos de humedad relativa	A-F 0-9

4	Fuente de datos de presión atmosférica de la estación Incertidumbre de los datos de presión atmosférica de la estación	A-F 0-9
5	Fuente de los datos de radiación horizontal infrarroja Incertidumbre de los datos de radiación horizontal infrarroja	A-F 0-9
6	Fuente de los datos de radiación horizontal global Incertidumbre de los datos de radiación horizontal global	A-H,? 0-9
7	Fuente de los datos de radiación normal directa Incertidumbre de los datos de radiación normal directa	A-H, ? 0-9
8	Fuente de los datos de radiación horizontal difusa Incertidumbre de los datos de radiación horizontal difusa	AH, ? 0-9
9	Fuente de los datos de iluminancia horizontal global Incertidumbre de los datos de iluminancia horizontal global	I, ? 0-9
10	Fuente de los datos de iluminancia normal directa Incertidumbre de los datos de iluminancia normal directa	I, ? 0-9
11	Fuente de los datos de iluminancia horizontal difusa Incertidumbre de los datos de iluminancia horizontal difusa	I, ? 0-9
12	Fuente de los datos de Luminancia cenital Incertidumbre de los datos de luminancia cenital	I, ? 0-9
13	Fuente de los datos de dirección del viento Incertidumbre de los datos de dirección del viento	A-F 0-9
14	Fuente de los datos de velocidad del viento Incertidumbre de los datos de velocidad del viento	A-F 0-9
15	Fuente de los datos de cobertura total del cielo Incertidumbre de los datos de cobertura total del cielo	A-F 0-9
16	Fuente de los datos de cubierta opaca del cielo Incertidumbre de los datos de cubierta opaca del cielo	A-F 0-9
17	Fuente de datos de visibilidad Incertidumbre de los datos de visibilidad	A-F 0-9
18	Fuente de los datos de altura de techo Incertidumbre de los datos de altura de techo	A-F 0-9
19	Fuente de los datos de precipitación de agua Incertidumbre de los datos de precipitación de agua	A-F 0-9
20	Fuente de los datos de espesor óptico de aerosoles Incertidumbre de los datos de espesor óptico de aerosoles	A-F 0-9
21	Fuente de los datos de profundidad de la Nieve Incertidumbre de los datos de profundidad de la nieve	A-F, ? 0-9
22	Fuente de los datos de días desde la última nevada Incertidumbre de los datos de días desde la última nevada	A-F, ? 0-9

La Tabla E.15 muestra el código de la fuente de la medición de iluminación y radiación solar, este código se introduce primero en el par de cada medidor indicando si los datos en el aparato se calculan de forma directa o indirecta.

Tabla E.15. Código de clasificación de los medidores según el método de cálculo [3].

Código	Definición
A	Posterior a 1976 los datos de medición de radiación solar se reciben de NCDC o de otro tipo de fuentes
B	Igual que el "A", salvo los datos globales horizontales que se someten a una corrección por calibración
C	Antes de 1976 los datos globales horizontales medidos (directa y difusa, no se obtuvieron antes 1976), se ajustan de acuerdo a la energía solar local, usualmente con una corrección por calibración
D	Los datos derivados de los otros dos elementos de la radiación solar con la relación, global = difusa + coseno (cenit)
E	Modelado de datos de radiación solar que utilizan insumos de nubosidad observada (la cantidad de nubes) y los aerosoles profundidades ópticas derivados de datos normales directos recogidos en el mismo lugar
F	Modelado de datos de radiación solar que utilizan interpolaciones cielo y profundidades ópticas de aerosoles derivados a partir de los datos normales directos recogidos en el mismo lugar
G	Modelado de datos de radiación solar con cubierta de cielo observada y estimada en aerosol profundidades ópticas de las relaciones geográficas
H	Modelado de datos de radiación solar que utilizan interpolaciones cielo y óptica de los aerosoles estimado profundidades
I	Modelados de iluminancia o luminancia datos derivados de la radiación solar mediciones o cálculos de datos
?	Fuente no encaja en ninguna de las categorías anteriores, Se utiliza para los valores nocturnos y falta de datos

La Tabla E.16 se utiliza para la construcción de la casilla correspondiente a la incertidumbre de cada fuente de datos.

Tabla E.16. Código para la incertidumbre.

Bandera	Rango Incertidumbre
0	No se utiliza
1	2 a 4
2	4 a 6
3	6 a 9
4	9 a 13
5	13 a 18
6	18 a 25
7	25 a 35
8	35 a 50
9	No es aplicable

Para calcular la incertidumbre se toma el valor de la precisión dividido en el rango, y se multiplica por el 100%, para esto se necesita el catálogo de cada uno de los equipos con los que se está midiendo, en la Tabla E.17 se encuentran las especificaciones de la estación meteorológica, de aquí se calculan los rangos de incertidumbre [3].

Tabla E.17. Catálogo de las especificaciones de los medidores según el manual VANTAGE PRO2 – DAVIS [3].

Variable	Sensores necesarios	Resolución	Rango	Precisión nominal (+/-)
Presión atmosférica*	Incluida en la consola	0,01" Hg; 0,1 mm; 0,1 hPa; 0,1 mb	26" a 32" Hg; 660 a 810 mm; 880 a 1080 hPa; 880 a 1080 mb**	0,03" Hg; 0,8 mm Hg; 1,0 hPa; 1,0 mb
Tendencia barométrica (3 horas)		Velocidad de variación Rápidamente: $\dot{S}.06"$ H; 1,5 mm Hg; 2 hPa; 2 mb Lentamente: $\dot{S}.02"$ H; 0,5 mm Hg; 0,7 hPa; 0,7 mb	5 posiciones de la flecha: Subiendo rápidamente Subiendo lentamente Estable Bajando lentamente Bajando rápidamente	
Evapotranspiración (ET)	ISS o sensor de radiación solar y	0,01"; 0,25 mm	Diariamente: 99,99"; 999,9 mm: Mensual y anualmente: 199,99"; 1999,9 mm	mayor que 5% ó 0,01"; 0,25 mm
Humedad interior	Incluida en la consola	1%	10 - 90%	5% HR
Humedad exterior	ISS o estación de temp./humedad	1%	0 a 100%	3% HR; 4% sobre 90%
Humedad adicional	ISS o estación de temp./humedad	1%	0 a 100%	3% HR; 4% sobre 90%
Punto de rocío (total)	ISS o estación de temp./humedad	1°F; 1°C	-105° - +130°F; -76° - +54°C	3°F; 1,5°C
Humedad de las hojas	Estación de hojas y suelo	1	0 - 15	5
Humedad del suelo	Estación de hojas y suelo o estación de	1 cb	0 - 200 cb	
Lluvia acumulada diaria y de tormenta	Intensidad de lluvia	0,01"; 0,25mm	a 99,99"; 999,9 mm	mayor que 4% ó 1 vuelco,

Lluvia acumulada mensual y anual:		0,01"; 0,25mm (1mm en totales sobre 2000 mm)	a 199,99"; 19,999 mm	mayor que 4% ó 1 vuelco
Pluviometría		0,01"; 0,25 mm	a 100"/hr; 1999,9 mm/hr	mayor que 5% ó 0,04"/hr; 1 mm/hr
Radiación solar	Sensor de radiación solar	1 W/m2	0 a 1800 W/m2	5% de la escala completa
Temperatura interior	Incluida en la consola	0,1°F; 0,1°C	+32° - +140°F; 0 - +60°C	1°F; 0,5°C
Temperatura exterior***	ISS, estación de temp. o estación de temp./humedad	0,1°F; 0,1°C	-40° - +150°F; -40° - +65°C	1°F; 0,5°C
Temperatura adicional	ISS, estación de temp., estación de temp./hum., estación de hojas/suelo o estación de suelo	1°F; 1°C	-40° - +150°F; -40° - +65°C	1°F (0,5°C)
Índice de calor	ISS o estación de temp./humedad	1°F; 1°C	-40° - +135°F; -40° - +57°C	3°F (1,5°C)
THSW	ISS y radiación solar	1°F; 1°C	-90° - +135°F; -68° - +64°C	4°F (2°C)
Hora	Incluida en la consola	1 min	24 horas	8 s/mon
Fecha		1 día	mes/día	8 s/mon
Índice UV	Radiación UV	Índice 0.1	0 a 16	5% de la escala completa
Dosis de UV		0,1 MED < 20, 1 MED > 20	0 a 199 MEDs	5%
Dirección del viento	Anemómetro	1°	0 a 360°	7°
Compás (rosa de los vientos)		22,5°	16 puntos de compás	03 punto de compás
Velocidad del viento (cazoletas grandes)		1 mph; 1 kt; 0.5 m/s; 1 km/h	2 a 150 mph; 2 a 130 kts 3 a 241 km/h, 1 a 68 m/s	mayor que 2 mph/kts; 1 m/s; 3 km/h ó 5%
Velocidad del viento (cazoletas pequeñas)		1 mph; 1 kt; 0.5 m/s; 1 km/h	3 a 175 mph; 3 a 150 kts 1,5 a 79 m/s 5 a 282 km/h	mayor que 3 mph/kts; 1 m/s; 5km/h ó 5%
Factor de enfriamiento por el viento	ISS	1°F; 1°C	-120° to +130°F -84° to +54°C	2°F; 1°C

Dirección del viento

La dirección del viento de la estación está dada con la rosa de los vientos, esta es necesario convertirla a grados teniendo como guía la Figura E.1.

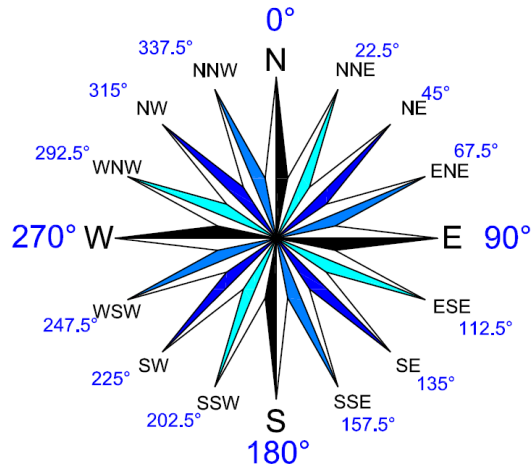


Figura E.1. Rosa de los vientos con grados.

Presión

La presión de la estación *Vantage Pro2* está dada en milímetros de mercurio [mmHg] y es necesario transformarla a Pascales [Pa], para esto se tiene el factor de conversión [3]:

$$760 \text{ [mmHg]} = 101\,325 \text{ [Pa]}$$

Radiación solar

De la radiación solar se derivan varios datos como la radiación horizontal extraterrestre, radiación normal directa extraterrestre, radiación horizontal infrarroja del cielo, radiación horizontal global, radiación normal directa, radiación horizontal difusa, iluminación horizontal global, iluminación normal directa, iluminación horizontal difusa y cenit de luminancia [3].

Antes de entrar en detalles se harán algunas aclaraciones técnicas de la radiación solar que dependen de ecuaciones que modelan el comportamiento de

los ángulos de incidencia del sol según la posición global (latitud y longitud), el día, el mes, el año y la hora.

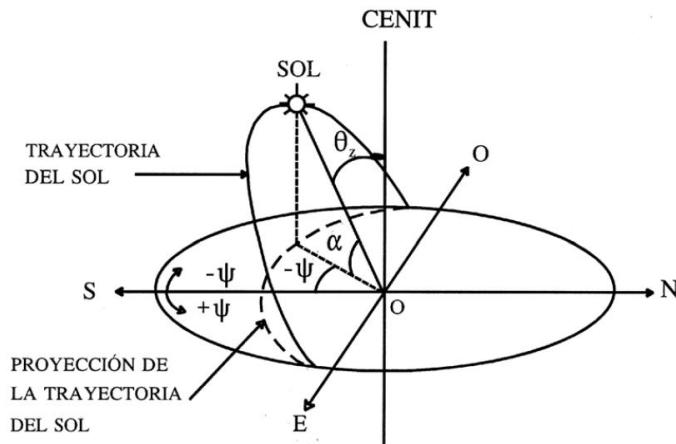


Figura E.2. Ángulos solares vistos desde la tierra [13].

Cenit: Eje perpendicular al plano tangencial de la tierra y este depende de la posición global [7].

Nadir: Parte negativa u opuesta del eje cenit [7].

Meridiano de Greenwich: Este meridiano separa el Este (Oriente o *East*) y Oeste (Occidente o *West*), a partir de este se cuenta el uso horario 0 y también el ángulo de la Longitud [7].

Línea del Ecuador: Esta línea separa el Norte (*North*) del Sur (*Suth*), a partir de ella se cuenta el ángulo de la Latitud [7].

Para calcular las radiaciones a través del año en un día y hora específica es necesario tener las ecuaciones del comportamiento de la trayectoria del sol respecto de la tierra, para esto se tiene en cuenta la oscilación de inclinación solar, el ángulo horario, la posición global y el día del año. A partir de estas ecuaciones se procede a obtener los resultados de las radiaciones horizontales y normales [8].

Las correspondientes ecuaciones se pueden obtener o deducir de las Figuras E.2 y E.3.

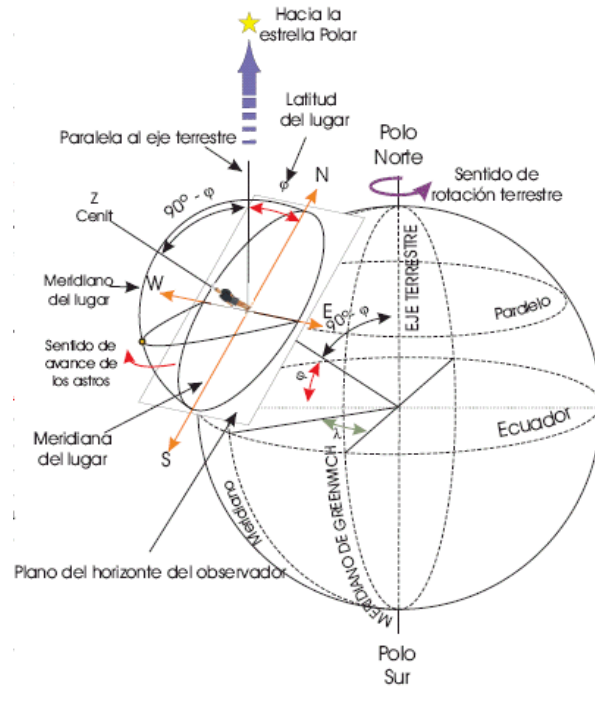


Figura E.3. Ejes y convención de ángulos respecto de ubicación del observador [9]

La ecuación (E.1) calcula el ángulo respecto del eje cenit conociendo la latitud, la inclinación que depende del día y el ángulo horario que depende de la hora del día [8].

$$\cos(\theta_z) = \cos(\phi)\cos(\delta)\cos(\omega) + \text{sen}(\phi)\text{sen}(\delta) = \text{sen}(\alpha) \quad (\text{E.1})$$

La inclinación de la tierra oscila entre 23.45° y -23.45°, la ecuación (E.2) es la ecuación de Cooper que modela respecto del día el ángulo [7].

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen}\left(360 \frac{284 + n}{365}\right) \quad [^\circ] \quad (\text{E.2})$$

La ecuación (E.3) describe la radiación solar para una superficie horizontal para cualquier tiempo entre la salida y la puesta del sol [7].

$$G_0 = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right) \cos(\theta_z) \quad (E.3)$$

Remplazando la ecuación (E.1) en la ecuación (E.3) se tendrá.

$$G_0 = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right) (\cos(\phi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \text{sen}(\phi) \text{sen}(\delta)) \quad (E.4)$$

Finalmente la radiación solar diaria extraterrestre sobre una superficie horizontal H_0 corresponderá a la ecuación (E.5) [7].

$$H_0 = \frac{24 \cdot (3\,600) \cdot G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right) \left(\cos(\phi) \cos(\delta) \text{sen}(\omega_s) + \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \text{sen}(\phi) \text{sen}(\delta) \right) \left[\frac{J}{m^2} \right] \quad (E.5)$$

Para pasarlo a Wh/m² se tiene que multiplicar por 1 / (3 600)

$$H_0 = \frac{G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right) \left(\cos(\phi) \cos(\delta) \text{sen}(\omega) + \frac{\pi \cdot \omega}{180} \text{sen}(\phi) \text{sen}(\delta) \right) \left[\frac{Wh}{m^2} \right] \quad (E.6)$$

Para el ángulo horario de puesta del sol (ω_s) que ocurre cuando $\theta_z = 90^\circ$ [7].

Remplazando en la ecuación (E.1)

$$\cos(90^\circ) = \cos(\phi) \cos(\delta) \cos(\omega_s) + \text{sen}(\phi) \text{sen}(\delta)$$

Despejando $\cos(\omega_s)$ se tiene:

$$\cos(\omega_s) = -\frac{\text{sen}(\phi) \text{sen}(\delta)}{\cos(\phi) \cos(\delta)} = -\tan(\phi) \tan(\delta) \quad (E.7)$$

También el ángulo horario se puede calcular a partir de la hora teniendo presente la Figura E.4.

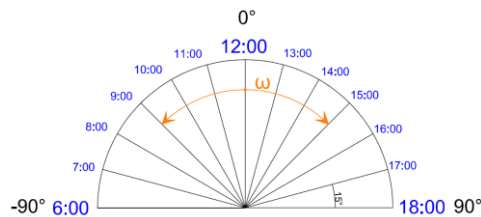


Figura E.4. Ángulos horarios respecto del horizonte.

De la Figura E.4 se deduce la ecuación (E.8) y posteriormente la (E.9) mostradas a continuación.

$$\omega = (h - 6) \cdot 15 + \min \cdot 0,25 - 90 \text{ [}^\circ\text{]} \quad (\text{E.8})$$

h : min

$$\omega = (H - 12) \cdot 15 \text{ [}^\circ\text{]} \quad (\text{E.9})$$

H: Hora

Radiación horizontal extraterrestre (H_0) y Radiación normal directa extraterrestre (G_{sc})

Para el cálculo de la radiación horizontal extraterrestre (H_0) se utilizaron las ecuación (E.6) y para la radiación normal directa extraterrestre (G_{sc}) se utilizó la constante solar de $1\,367 \text{ [Wh/m}^2\text{]} [7]$.

En la radiación global normal, normal directa y la horizontal difusa se utilizaron ecuaciones deducibles de la Figura E.6.

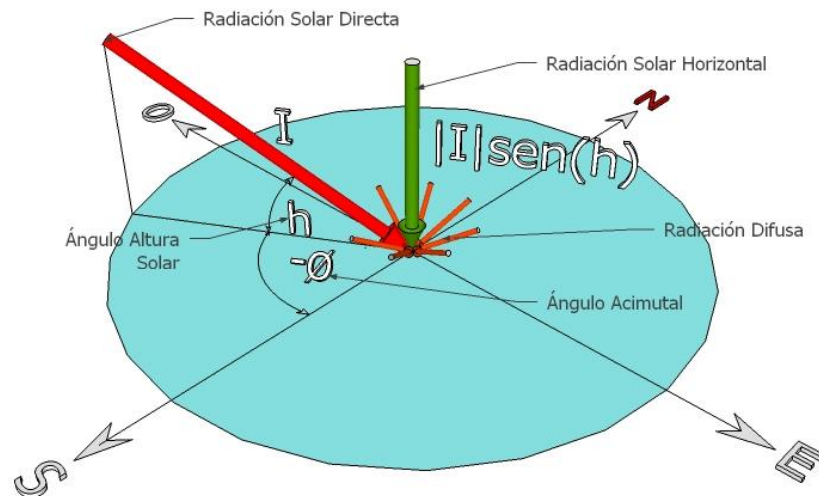


Figura E.5. Ángulos de incidencia de la radiación solar.

La radiación solar directa se define como la radiación que incide en un lugar después de haber sido atenuada por los efectos de dispersión y absorción de las

capas atmosféricas de la tierra. Esta radiación está relacionada con la radiación normal directa, mientras que la radiación difusa es aquella que es reflejada por la atmosfera y por todos los gases y superficies, a causa de esto proviene de todas direcciones sobre el lugar de medición [11].

La Radiación horizontal global es la suma de la componente en dirección de la gravedad (ortogonal al plano horizontal) de la radiación solar directa y la radiación difusa. Estas dos componentes se denominan radiación horizontal directa y radiación horizontal difusa [11].

La Radiación normal directa es la energía recibida sobre una superficie perpendicular a la dirección en que proviene el vector solar [11].

Radiación horizontal difusa (H_d)

Teniendo en cuenta que la radiación horizontal difusa (H_d) es una parte de la radiación horizontal global (H), se debe calcular el valor de la porción que esta tiene de difusa respecto de la (H), para esto se debe aplicar el método de Collares-Pereira mostrado en la ecuación (E.11), en esta ecuación se define K_T como el cociente entre H y H_0 (E.10), según este valor se aplica la ecuación correspondiente a la región y el resultado finalmente se multiplica por la radiación horizontal global (H) para obtener la radiación horizontal difusa (H_d) [7].

$$\frac{H}{H_0} = K_T \quad (\text{E.10})$$

$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 0,99 & \text{si } K_T \leq 0,17 \\ 1,188 - 0,272K_T + 9,472 \cdot K_T^2 - 21,865 \cdot K_T^3 + 14,648 \cdot K_T^4 & \text{si } 0,17 < K_T < 0,75 \\ -0,54 \cdot K_T + 0,632 & \text{si } 0,75 < K_T < 0,80 \\ 0,2 & \text{si } K_T \geq 0,8 \end{cases} \quad (\text{E.11})$$

Para la elaboración de este método es necesario conocer la radiación horizontal global (H obtenida directamente de la estación) y la radiación horizontal

extraterrestre (H_0 obtenida anteriormente), con estos dos datos y las fórmulas (E.10) y (E.11) se halla la radiación horizontal difusa [10].

Radiación normal directa (I_{dc})

Para hallar la radiación normal global (H) se parte del hecho que son la suma de la radiación horizontal difusa (H_d anteriormente hallada) y la radiación horizontal directa (H_{Dc} : componente vertical de la radiación normal directa I_{Dc}). Se despeja las siguientes dos ecuaciones, deducidas de la Figura E.6 [8].

$$H = H_d + H_{Dc}; \text{ Donde } H_{Dc} = I_{Dc} \cdot \cos(\theta_z)$$

De aquí se obtendrá la ecuación (E.12), donde se utiliza las radiaciones ya halladas.

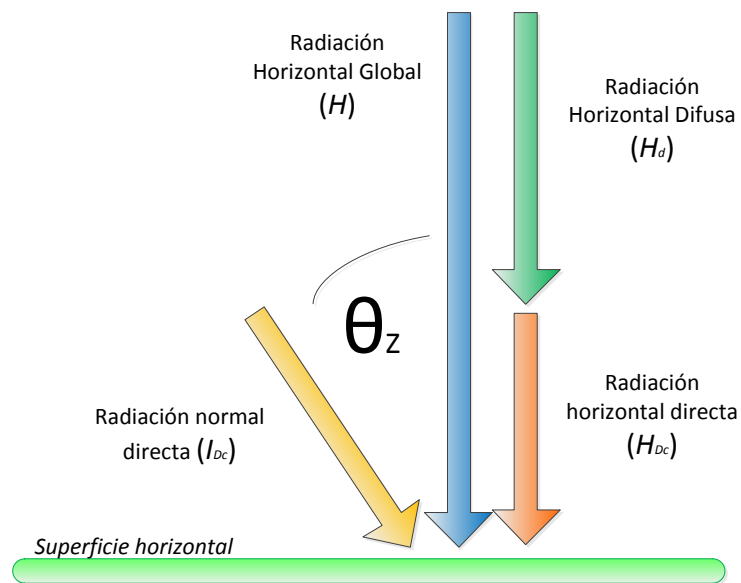


Figura E.6. Incidencia de radiaciones sobre una superficie horizontal.

$$I_{NDc} = \frac{H - H_d}{\cos(\theta_z)} \quad (E.12)$$

Radiación horizontal infrarroja del cielo

Para la radiación infrarroja se utilizará el espectro de la energía solar, que nos muestra que aproximadamente el 53% de los rayos solares incidentes en la tierra son de radiación infrarroja, de esta forma se extraerá esta porción de la radiación horizontal global para obtener la radiación horizontal infrarroja del cielo [12].

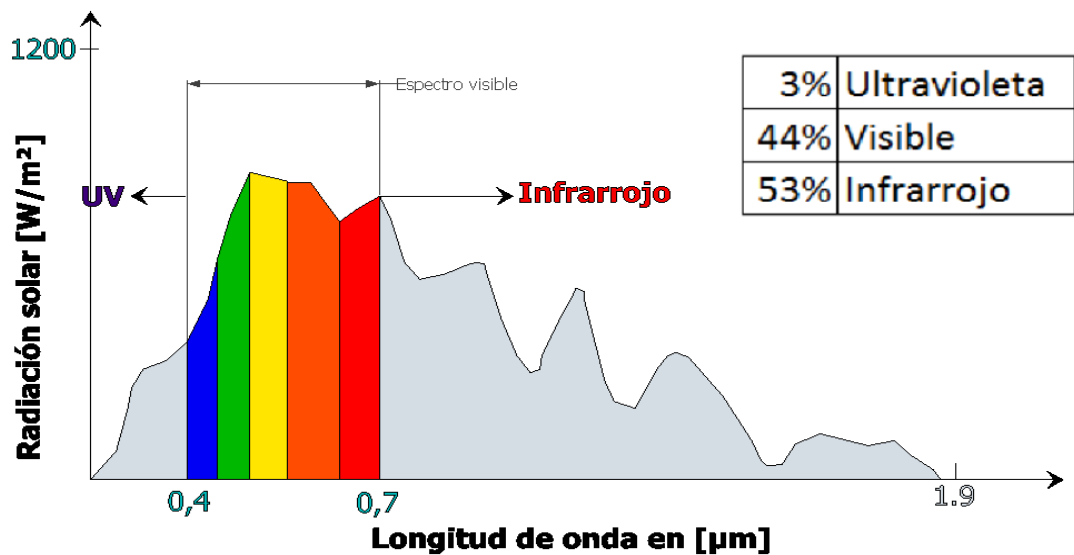


Figura E.7. Espectro de la energía solar [12].

De la Figura entonces se deduce la siguiente ecuación

$$H_{IR} = 0,53 \cdot H \quad (E.13)$$

Iluminación

Para la iluminación global, difusa y directa se utilizará el ángulo de altura solar, estas ecuaciones se han deducido de captura de datos en superficies horizontales.

Iluminación global

La iluminancia global se obtendrá de la ecuación (E.14), esta depende del ángulo de altura solar Figura E.2, el ángulo varía a través de los días del año

teniendo L_g su máximo en $\alpha = 90^\circ$. El punto máximo ocurre solo en algunas partes del mundo (latitud y longitud) ya que dependen de los movimientos de rotación y traslación [13].

$$L_g = 150,07 \cdot 10^3 \cdot \text{sen}(\alpha)^{1,301} \cdot e^{-0,005 \cdot \alpha} \text{ [Lux]} \quad (\text{E.14})$$

Iluminación difusa

Para la iluminancia difusa pasa el mismo caso de la iluminación global, la máxima incidencia de los rayos ocurre cuando el sol está totalmente perpendicular al plano horizontal y/o en una superficie perpendicular al ángulo de incidencia [13].

$$L_d = 16,48 \cdot 10^3 \cdot \text{sen}(\alpha)^{0,578} \text{ [Lux]} \quad (\text{E.15})$$

Iluminación directa

Partiendo de la iluminación global como la suma de las iluminaciones difusa y directa, se halla esta última con la diferencia de las dos iluminaciones. Con esto se deduce la ecuación (E.16) [13].

$$L_{Dc} = L_g - L_d \text{ [Lux]} \quad (\text{E.16})$$

Luminancia cenital

La *luminancia cenital* es el brillo proveniente del cielo y este valor depende de la cubierta del cielo y del ángulo de altura solar (α). Con la ayuda de las ecuaciones de Nakamura y Oki se puede calcular este valor según el nivel de nubosidad y la altura solar. Las siguientes fórmulas se aplican según el índice de nubosidad o del código de la Tabla E.18 [14].

Tabla E.18. Ecuaciones de luminancia cenital según el tipo de cielo [14].

Tipo de cielo	Código cubierta del cielo	luminancia cenital (Lz)
Cubierto	7-9	$L_z = 90 + 9630(\text{sen}(\alpha))^{1,19} \text{ [cd / m}^2\text{]}$

Cubierto Intermedio	5-6	$L_z = 100 + 7\,580(\text{sen}(\alpha))^{1,36} \text{ [cd / m}^2\text{]}$
Medio cubierto	3-4	$L_z = 100 + 5\,290(\tan(\alpha))^{1,19} \text{ [cd / m}^2\text{]}$
Azul intermedio	1-2	$L_z = 100 + 4\,150(\tan(\alpha))^{1,18} \text{ [cd / m}^2\text{]}$
Azul	0	$L_z = 100 + 600(\tan(\alpha))^{1,1} \text{ [cd / m}^2\text{]}$

Nomenclatura de las variables

La Tabla E.19 muestra el nombre de cada una de las variables utilizadas en este anexo.








Tabla E.19. Nomenclatura de variables.

θ_z	Ángulo cenit.
α	Ángulo de Altura solar.
ϕ	Ángulo de Latitud.
δ	Ángulo de inclinación de la tierra.
ω	Ángulo horario.
G_0	Radiación solar para una superficie horizontal para cualquier tiempo entre la salida y la puesta del sol.
G_{SC}	Constante Solar de 1 367 [Wh/m ²].
n	Número del día del año.
H	Radiación horizontal global.
H_0	Radiación horizontal extraterrestre.
I_{Dc}	Radiación solar directa.
I_{NDc}	Radiación normal directa.
H_d	Radiación horizontal difusa.
H_{Dc}	Radiación horizontal directa.
H_{IR}	Radiación horizontal infrarroja del cielo.
L_g	Iluminación global.
L_d	Iluminación difusa.
L_{Dc}	Iluminación directa.
L_z	Luminancia cenital.

Cubierta total del cielo y cubierta del cielo opaco

La *cubierta total del cielo* al igual que la del *cielo opaco* dependen de observar la cantidad de nubes, para cuantificar lo observado se le asigna un código que indica la opacidad en la bóveda celeste. A partir de este código se puede calcular la luminancia cenital enunciada anteriormente (ver Tabla E.20) [15].

Tabla E.20. Código del nivel de nubosidad [15].

Código	N	Cubierta del cielo
0		Sin nubes
1		Por lo menos una nube
2		Un cuarto del cielo total cubierto por nubes
3		Un poco menos de la mitad del cielo cubierto
4		Medio cielo cubierto
5		Menos de las tres cuartas partes cubiertas
6		Tres cuartas partes cubiertas
7		Un poco de cielo descubierto
8		Completamente cubierto
9		Cielo obscurecido

Visibilidad

La *visibilidad* se mide en kilómetros [km], he indica la distancia horizontal visible a una determinada hora [5].

Altura de techo

La *altura de techo* está relacionada con la visibilidad pero vertical, indica a qué altura hay nubes por encima del lugar de medición. Esta medida se da en metros [5].

Observación del clima actual

Observación del clima actual, se realiza para saber si a esa hora se observó el clima, se llena con un cero (0) en caso de que el proceso se realizó y si no se pone un nueve, en la Tabla E.21 muestra los valores para el índice de observación [5].

Tabla E.21. Código de observación del clima.

Elemento	Valor	Definición
Índice de Observación	0 ó 9	0: La observación del clima se realizó. 9: La observación no se realizó o no existe

Código del clima actual

El *código del clima actual* tiene la misma convención TMY2 donde se utilizan 9 dígitos para describir el clima en la zona con un número del 0 al 9, estos códigos se llenan de izquierda a derecha y se utilizan para la precipitación líquida sobre las superficies. La Tabla E.22 describe la nomenclatura necesaria para llenar este ítem [5].

Tabla E.22. Tabla de códigos del clima [5].

Dígito	Descripción del elemento	Valores posibles	Definición	
1	Ocurrencia de tormenta eléctrica, tornado o tempestad	0-2,4,6-9	0	Tormenta rayos y truenos. Ráfagas de viento inferiores a 25,7 m/s, y el granizo menor a un diámetro de 1,9 cm.
			1	Tormentas pesadas o severas - Intensa frecuencia de rayos y truenos. Ráfagas de viento mayores a 25,7 m/s y granizo mayor a un diámetro de 1,9 cm.
			2	Reportes de tornado
			4	Tempestad moderada - Repentino incremento de la velocidad del viento cercano a 8,2 m/s

			6	El agua del surtidor
			7	Nubes aglomeradas
			8	Tornado
			9	No ocurrió nada de esto o es desconocido
2	Ocurrencia de lluvia, aguacero o lluvias heladas	0-9	0	Llovizna ligera
			1	Llovizna moderada
			2	Aguacero
			3	Lluvia con relámpagos
			4	Aguacero moderado
			5	Aguacero pesado
			6	Lluvias heladas con relámpagos
			7	Lluvia helada moderada
			8	Lluvia pesada helada
			9	No ocurrió nada de esto o es desconocido
3	Ocurrencia de lluvia tempestuosa, llovizna o llovizna helada	0,1,3-9	0	Tempestad ligera
			1	Tempestad moderada
			3	Llovizna ligera
			4	Llovizna moderada
			5	Llovizna pesada
			6	Llovizna helada ligera
			7	Llovizna helada moderada
			8	Llovizna helada pesada
			9	No ocurrió nada de esto o es desconocido
			4	Ocurrencia de nieve, cristales de hielo
1	Nieve moderada			
2	Nieve pesada			
3	Nieve granulada ligera			
4	Nieve granulada moderada			
5	Nieve granulada pesada			
6	Hielo ligero			
7	Hielo moderado			
8	Hielo pesado			
9	No ocurrió nada de esto o es desconocido			
5	Ocurrencia de nevada, tormentas de nieve, granos de nieve	0-7,9	0	Nevada ligera
			1	Nevada moderada
			2	Nevada pesada
			3	Tormenta de nieve ligera
			4	Tormenta de nieve moderada
			5	Tormenta de nieve pesada

			6	Granizada ligera
			7	Granizada moderada
			9	No ocurrió nada de esto o es desconocido
6	Ocurrencia de aguanieve, baños de aguanieve o granizo	0-2,4,9	0	Aguanieve ligeros
			1	Aguanieve moderados
			2	Aguanieve pesados
			4	Granizo
			9	No ocurrió nada de esto o es desconocido
7	Aparición de niebla, polvo y arena	0-9	0	Niebla
			1	Niebla helada
			2	Niebla con tierra
			3	Polvo
			4	Polvo y arena
			5	Niebla pesada
			6	Glaseado
			7	Niebla helada pesada
			8	Niebla con tierra pesada
			9	No ocurrió nada de esto o es desconocido
8	Presencia de humo, niebla y neblina, ventiscas de nieve y ventiscas de polvo	0-7,9	0	Humo granulado
			1	Bruma
			2	Humo y neblina
			3	Polvo
			4	Viento con nieve
			5	Ventisca de nieve
			6	Tormenta de polvo
			7	Humo volcánico
			9	No ocurrió nada de esto o es desconocido
9	Presencia de hielo granulado	0-2,9	0	Hielo granulado ligero
			1	Hielo granulado moderado
			2	Hielo granulado pesado
			9	No ocurrió nada de esto o es desconocido

Espesor óptico de aerosoles

El *espesor óptico de aerosoles* hace referencia al espesor de las capas de gases que rodean el lugar [5].

Espesor de la nieve

El *espesor de la nieve* corresponde al espesor que tuvo la nieve sobre la superficie, está medida se da en [cm], sirve para saber la reflectancia ya que el color de la nieve que a su vez depende del espesor hace que la luz se disperse con mayor o menor facilidad. [1].

Último día que nevó

Los días desde la última nevada se debe llenar con la cantidad de días desde la última vez que nevó [1].

Albedo

El *albedo* corresponde al radio de irradiación solar reflejado a la irradiación horizontal global [5].

Espesor de la precipitación líquida

El *espesor de la precipitación líquida* describe el espesor de la caída de la lluvia dado en [mm] [5].

Cantidad de precipitación líquida

La *precipitación líquida* describe el periodo de precipitación en horas [hr] [1] y [5].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Guía de Ayuda de *EnergyPlus*, *Auxiliary EnergyPlus Programs*. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/auxiliaryprograms.pdf>>
- [2] *SIMULACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS*, Autor: Héctor Eduardo Huerta Garza. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://es.scribd.com/doc/80418854/27/Alimentacion-de-datos-del-clima>>
- [3] Manual de la consola, Vantage Pro2 – Davis. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible en la web <URL: http://www.davisnet.com/product_documents/weather/manuals/07395-240_IM_06312.pdf >
- [4] *2009 ASHRAE Handbook fundamentals, STATIONS and SI*, Capítulo 14 y 802220_s.pdf. Algunas estaciones del *2005 ASHRAE Handbook fundamentals*. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible desde la web, <URL: <http://millerengr.com/download/Code/ASHRAE/STATIONS/> >
- [5] *Weather data, South America / COL - Colombia*. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible desde la web, <URL: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm >

- [6] *Weather information*, Ayuda para el formato de *EnergyPlus*. Consultado: Agosto 1 de 2012, Disponible desde la Web, <URL: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/weatherdatainformation.pdf> >
- [7] *Caracterización y evaluación de la radiación solar*, Universidad Internacional de Andalucía Autores: Llanos Mora López y Lourdes Ramírez Santigosa. Tema 1, 2, 3, 4 y 5. Consultado: Agosto 1 de 2012. Disponible desde la web, <URL: <http://ocw.unia.es/ciencias-de-la-ingenieria/caracterizacion-y-evaluacion-de-la-radiacion-solar/materiales-de-estudio> >
- [8] *Apuntes Radiación Solar*, *Apuntes-Radiación-Solar-oct-2003.doc*. Consultado: Agosto1 de 2012. Disponible desde la web, <URL: <http://www.ecomaipo.cl/solar/documentos/> >
- [9] Figuras. Consultado: Agosto1 de 2012. Disponible desde la web, <URL: <http://geospasial.blogspot.com/2010/12/pengantar-astronomi.html> >
- [10] Libro: *SOLAR ENGINEERING OF THERMAL PROCESSES*. Autores: Jhon A. Duffoe y William A. Beckman. Editorial: John Wiley & Sons, Inc Pág. 7 – 45. Consultado: Agosto 1 de 2012.
- [11] *EXPLORADOR DEL RECURSO SOLAR EN CHILE*. 2.2 Medición de la Radiación, pág. 12. Consultado: Agosto1 de 2012. Disponible desde la web, <URL: <http://ernc.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar2/info/> >
- [12] *Efectos del sol*. Consultado: Agosto1 de 2012. Disponible desde la web, <URL: http://www.huperoptik.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=15 >
- [13] *EFICACIA LUMINOSA EN SUPERFICIES HORIZONTALES EN LA ESTACIÓN DE RADIACIÓN SOLAR E ILUMINACIÓN DE ALTA CALIDAD DEL IDMP EN MADRID*. Ecuaciones (4) y (11). Consultado: Agosto1 de 2012. Disponible desde la web, <URL: <http://www.fisica.uh.cu/biblioteca/revcubfi/2011/Vol.28-No.1E/RCF-28-1E-2011-18.pdf> >
- [14] *Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*. Anexo A3 / A3.3.2 / A3.3.3 / A3.3.4 Consultado: Agosto1 de 2012. Disponible desde la web, <URL: http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10055_GT_aprovechamiento_luz_natural_05_ff12ae5a.pdf >
- [15] *Sky Cover*. Consultado: Agosto1 de 2012. Disponible desde la web, <URL: <http://www.hpc.ncep.noaa.gov/dailywxmap/plottedwx.html> >

Anexo F.

Aberturas: Edificio de Ingeniería Eléctrica

Para el caso del Edificio de Ingeniería Eléctrica se utilizaron 15 tipos de puertas diferentes, tanto en material como en medidas. Por eso se realizará una descripción de cada puerta, con el fin de alimentar correctamente el software y permitir su fácil ubicación en caso de requerirse modificar una medida en la fase de calibración. Para el caso de los materiales influirán directamente en la plantilla de cerramientos al necesitar definir algunas propiedades térmicas de las puertas. La ubicación y las medidas determinaran el flujo de calor entre bloques o zonas aledañas entre sí.

Las puertas tipo P6 y P7 no se describen debido a que son las correspondientes a los separadores de los baños y no se tienen en cuenta para la simulación, por no crear zonas cerradas.

Tabla F.1 Descripción de las puertas Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Descripción puertas del edificio de Ingeniería Eléctrica						
Tipo	Alto [m]	Ancho [m]	Cantidad	Derechas	Izquierdas	Material
P1	2,2	1,16	23	14	9	Madera-cedro, Marco metálico
P2	2,2	0,7	11	4	7	Madera-cedro, Marco metálico
P3	2,2	0,9	12	7	5	Madera-cedro, Marco metálico
P4	2,2	0,95	6	6	0	Madera-cedro, Marco metálico
P5	2,2	0,94	2	2	0	Vidrio esmerilado, Marco Aluminio
P6	1,5	0,7	20	-	-	-
P7	1,5	0,9	8	-	-	-
P8	2,27	1,18	1	1		Tubular de aluminio, permite flujo aire
P9	2,2	2	4	4		Tubular de aluminio , vidrio esmerilado
P10	2,2	1,5	1	1		Lamina de aluminio
P11	2,2	1,05	1	0	1	Lamina de aluminio
P12	2,4	0,9	1	0	1	Lamina de aluminio

P13	2,1	1,6	2	1	1	Tubular metálico, permite flujo aire
P14	2,1	2,5	2	1	1	Lamina Cold Rolled calibre 18
P15	2	0,8	10	6	4	Perfil de aluminio

En el caso de las ventanas un dato importante para llenar la plantilla de aberturas consiste en determinar la cantidad de divisores que tiene cada ventana, tanto horizontal como vertical. Por esta razón, se detallan las medidas y la cantidad de divisores de cada tipo de ventana.

Tabla F.2 Descripción de las ventanas y rejillas, Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Tipos de ventanas				
Tipo	Alto [m]	Ancho [m]	Cantidad total	Descripción
V1	1,03	2	4	Rejilla interna
V2	1,5	0,4	1	Rejilla externa
V3	2,65	2,6	1	Divisiones (3 Hor- 14 Vert)
V4	0,54	1,44	1	Sin divisiones
V5	1,5	3,32	11	Divisiones 3 Verticales
V6	1,5	5,5	18	Divisiones 5 Verticales
V7	1,1	5,5	5	Divisiones 5 Verticales
V8	0,4	1,15	8	Rejilla interna
V9	0,4	2	27	Rejilla interna
V10	0,4	4	2	Rejilla interna
V11	0,4	5,5	2	Rejilla interna
V12	0,5	4,6	3	Rejilla externa
V13	0,5	3,16	3	Rejilla externa
V14	1,95	5,5	2	Divisiones 5 Verticales
V15	0,5	5,5	5	Divisiones 5 Verticales
V16	1,64	5,5	3	Divisiones 5 Verticales
V17	2	3,72	6	Divisiones 3 Verticales
V18	0,5	3,72	6	Divisiones 3 Verticales
V19	2	2,79	1	Divisiones 2 Verticales
V20	0,5	2,79	1	Divisiones 2 Verticales
V21	0,48	1,5	2	Sin divisiones
V22	1,9	0,83	6	azotea 5 piso
V23	0,38	0,83	6	azotea 5 piso
VR1	1,5	1,5	20	Ventana redonda

VR2	0,3	0,3	34	Ventana redonda
VC1	1,5	5,07	1	Ventana compuesta
VC2	1,9	4,19	1	Ventana compuesta
VC3	1,16	3,81	4	Ventana compuesta
VC4	1,16	1,84	3	Ventana compuesta
R1	2,16	5,5	1	Rejilla
R2	2,16	5,5	1	Rejilla

Las ventanas que aparecen como compuestas (VC1, VC2, VC3 y VC4) se harán como la unión de varias ventanas para evitar extender la tabla demasiado, por ello resulta más practico representar como una sola ventana, para motivos de descripción. Sin embargo, en el modelo de *DesignBuilder* se realiza cada ventana por separado.

La geometría de las 4 ventanas compuestas se detallara en las Figuras F.1, F.2, F.3 y F.4.

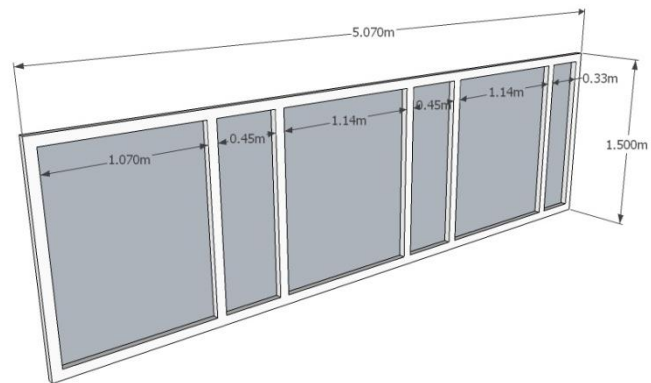


Figura F.1. Ventana compuesta VC1. Primer piso, Fachada Norte.

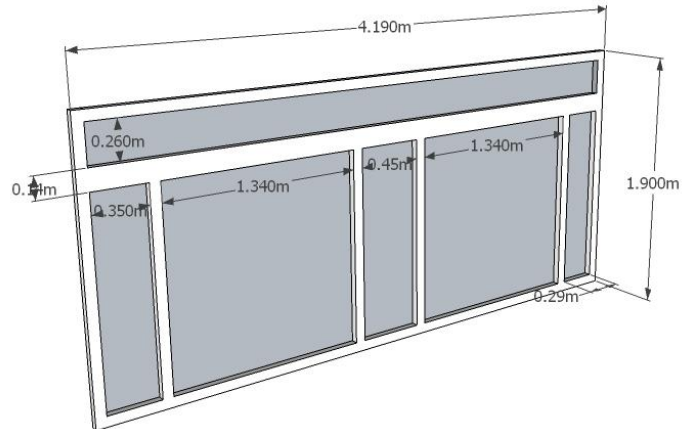


Figura F.2. Ventana compuesta VC2. Primer piso, Fachada Norte.

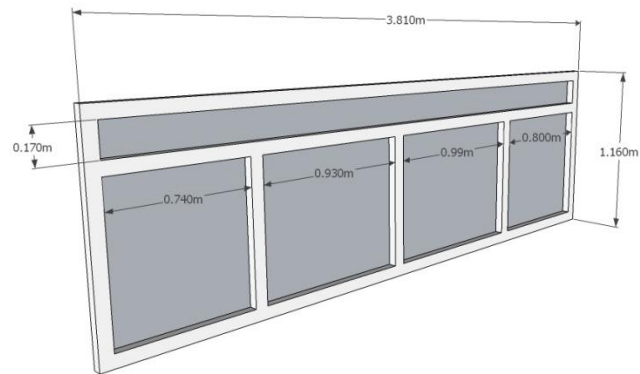


Figura F.3. Ventana compuesta VC3. Primer piso, Fachada Norte.

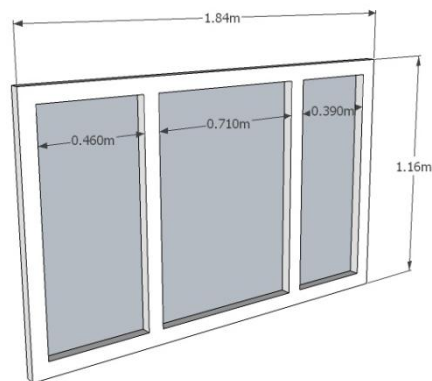


Figura F.4. Ventana compuesta VC4. Primer piso, Fachada Norte.

Sótano

Para determinar la ubicación de los diferentes tipos de aberturas se realizan tablas especificando el tipo y la cantidad de aberturas por cada piso. Adicionalmente, basándose en planos se establece la ubicación de cada una de ellas. Para el caso del sótano, se tienen 10 puertas, 4 ventanas rectangulares (V), 8 ventanas redondas (VR) y 2 Rejillas (R).

Tabla F.3 Descripción de las aberturas, sótano - Edificio de Ingeniería Eléctrica.

	Puertas		Ventanas	
	Tipo	Cantidad	Tipo	Cantidad
Sótano	P1	2	V2	1
	P2	3	V9	3
	P3	2	VR1	8
	P10	1	R1	1
	P14	2	R2	1

Su ubicación dentro del bloque destinado para el sótano se describe en la Figura F.5, donde se especifica la ubicación y el tipo de abertura.

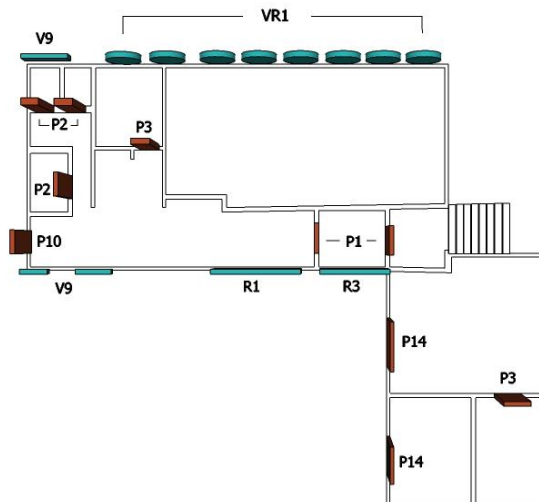


Figura F.5. Ubicación de las aberturas - Sótano

Primer piso

Para el caso del primer piso se tienen tres niveles diferentes; sin embargo, se unifica la información y se condensa en la Tabla F.4.

Tabla F.4. Descripción de las aberturas, primer piso - Edificio de Ingeniería Eléctrica.

	Ventanas		Puertas	
	Tipo	Cantidad	Tipo	Cantidad
Piso 1	V1	4	P1	5
	V3	1	P3	2
	V4	1	P4	1
	V5	2	P5	1
	V6	1	P6	5
	V7	1	P7	2
	VC1	1	P9	1
	VC2	1	P13	2
	VC3	4		
	VC4	3		
	VR1	12		
	VR2	8		

Las ventanas compuestas no se considera necesario especificar bien su geometría en los dibujos, debido a que fueron anteriormente detalladas; por esta razón, se dibujan como rectángulos en la Figura F.6.

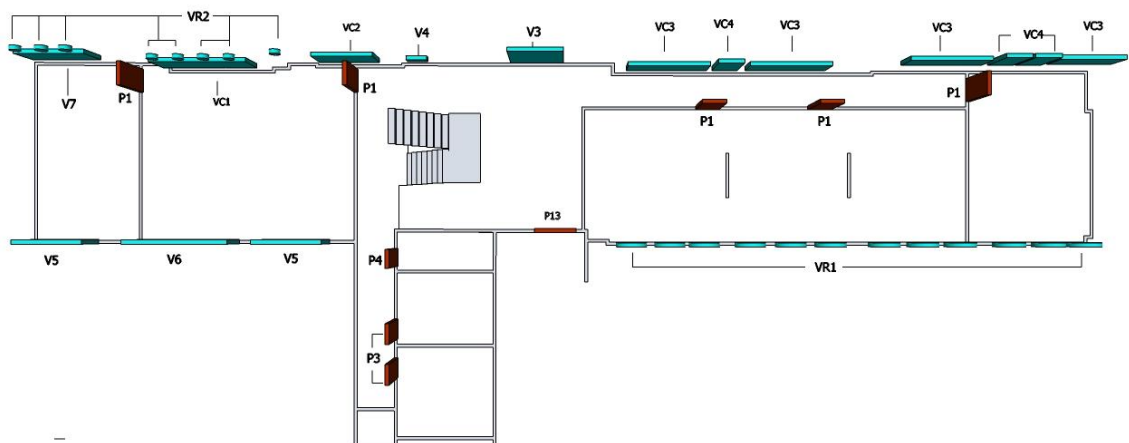


Figura F.6. Ubicación de las aberturas – primer piso

Segundo, tercer y cuarto piso

Para el segundo y tercer piso la ubicación de las aberturas será muy similar, la única diferencia radica en una puerta menos por parte del tercer piso, debido a que el espacio correspondiente al aula 5 y 6 del segundo piso, se unifica para formar el aula 11 en el tercer piso, el resto de los detalles de los dos pisos son idénticos. La puerta en cuestión es una de tipo P1.

Tabla F.5. Descripción de las aberturas, segundo piso - Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Ventanas			Puertas	
Piso 2	Tipo	Cantidad	Tipo	Cantidad
	V5	3	P1	6
	V6	5	P2	1
	V7	2	P3	2
	V8	3	P4	1
	V9	12	P6	5
	V10	1	P7	2
	V11	1	P9	1
	V12	1		
	V13	1		
	VR2	6		

La Figura F.7 representa la ubicación de las aberturas del segundo piso. El muro definido con líneas discontinuas está presente únicamente para el segundo piso. De igual forma la puerta de color blanco se encuentra únicamente en el segundo piso.

Tabla F.6. Descripción de las aberturas, cuarto piso - edificio de Ingeniería Eléctrica.

Ventanas			Puertas	
Piso 4	Tipo	Cantidad	Tipo	Cantidad
	V5	3	P1	5
	V6	7	P2	1
	V8	3	P3	2
	V12	1	P4	1

	V13	1	P6	5
	VR2	14	P7	2
			P9	1

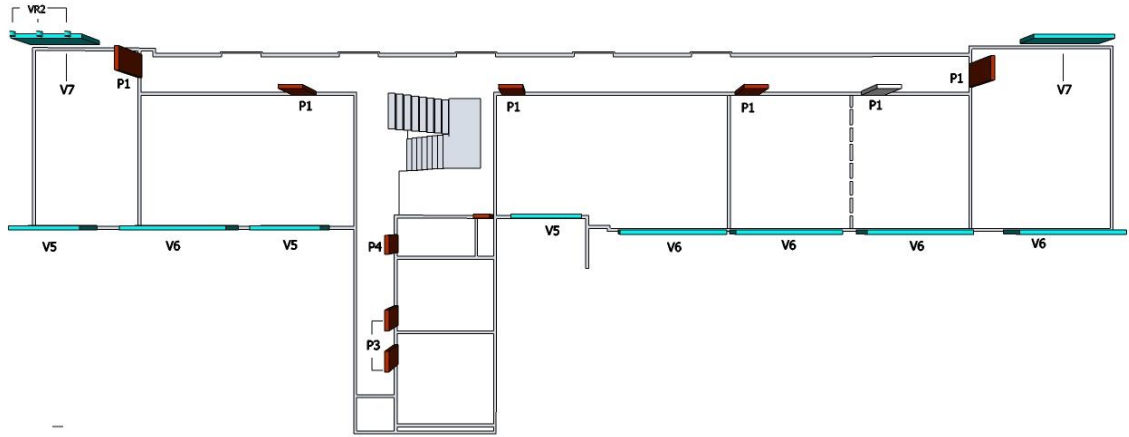


Figura F.7. Ubicación de las aberturas – segundo piso

En cuanto a los *huecos* pertenecientes al mirador de la fachada norte, la mayoría tendrán las mismas medidas mostradas en la Figura F.8, con la excepción de la primera abertura del lado occidental del segundo, tercer y cuarto piso del edificio cuyas medidas se detallan en la Figura F.9.

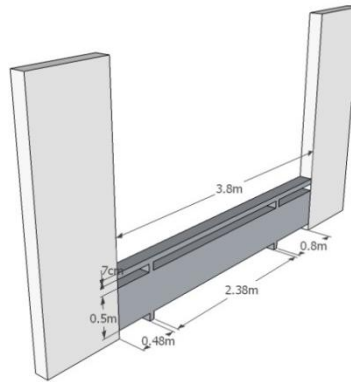


Figura F.8. Abertura miradores fachada norte. Piso segundo tercero y cuarto

Para el caso de *DesignBuilder* no hay necesidad de expresar el fondo de las aberturas ya que simplemente corresponderá al ancho del muro previamente

dibujado. Por esta razón, no se muestra medidas del fondo de las puertas, rejillas y huecos.

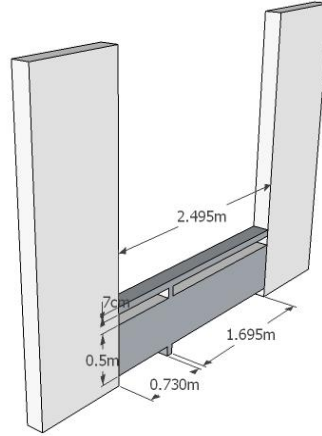


Figura F.9. Abertura miradores fachada norte lado occidental. Piso segundo tercero y cuarto

Quinto piso

Para el quinto piso es necesario hacer algunas adaptaciones, la primera de ellas consiste en la ventana que da contra el techo verde del cuarto piso, debido a que *DesignBuilder* ubica las ventanas sobre superficies y donde estará ubicada ya viene dividida por segmentos, se utilizarán estos mismos segmentos como marcos de la ventana. Adicionalmente, cuando *DesignBuilder* no permite hacer aberturas donde hay muros internos, es necesario dividir la ventana en dos partes, con separación igual al ancho del muro interno.

Tabla F.7. Descripción de las aberturas, Quinto piso - Edificio de Ingeniería Eléctrica.

	Ventanas		Puertas	
	Tipo	Cantidad	Tipo	Cantidad
Piso 5	V14	2	P2	5
	V15	5	P3	2
	V16	3	P4	2
	V17	6	P5	1
	V18	6	P8	1
	V19	1	P11	1
	V20	1	P12	1

Para los miradores de la fachada occidental que están ubicados en frente de los baños del segundo, tercer y cuarto piso se creará un hueco en las superficies correspondientes de acuerdo a las medidas de la Figura F.12. Todas las medidas fueron sacadas de los planos CAD suministrados por la escuela.

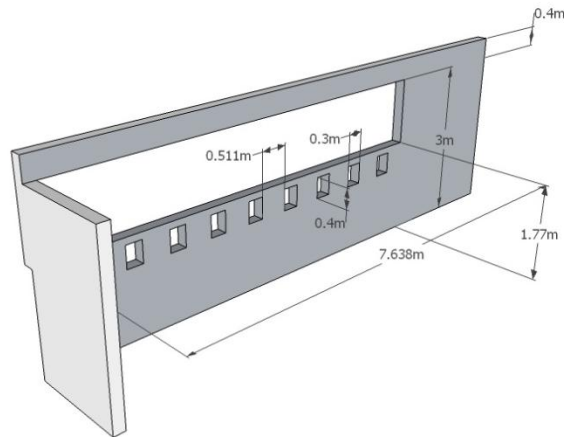


Figura F.12. Mirador de la fachada occidental

Finalmente, el detalle de la entrada principal se realizará como una rejilla, debido a que la puerta tiene una rejilla que no es posible de crear con la herramienta puerta, por lo que se debe recurrir a utilizar una rejilla. Las medidas de la entrada principal se describen en la Figura F.13.

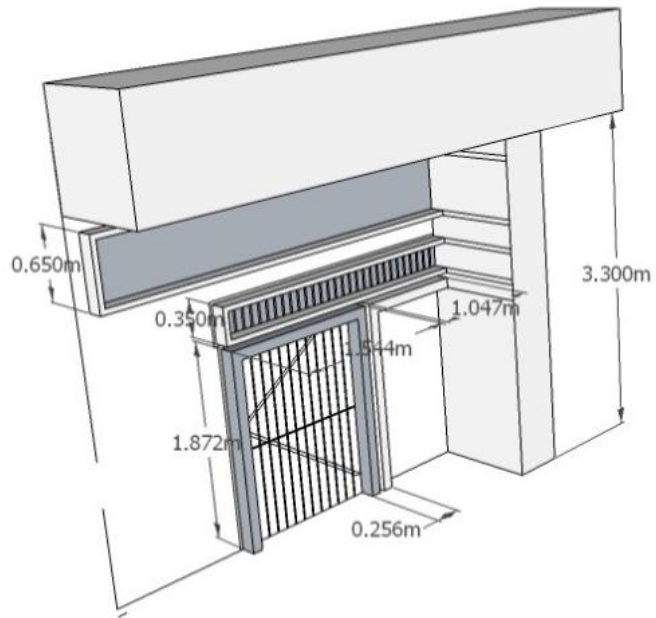


Figura F.13. Entrada principal Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Anexo G.

Detalles arquitectónicos del Edificio de Ingeniería Eléctrica

Los detalles permitirán darle un mayor realismo al comportamiento térmico de la edificación, al establecer superficies con diferentes propiedades que afectan el flujo de energía de las fachadas del edificio.

Muro - Superboard

Se utilizó la herramienta *Bloques de componente – Estándar*, para ello se debió ubicar en el segundo piso (que corresponde a la base de los muros), posteriormente se creó la forma rectangular y extruirá dependiendo del ancho de los muros, en la mayoría será de un (0,6) metros, a continuación se creó la forma cuadrada de las “columnas” y se extruyó hasta el último piso, adicionalmente con la herramienta *Booleana* se unió las partes del muro para obtener un objeto completo y facilitar su manipulación e incluso simplificarla, de ser necesario, su ubicación durante la etapa de resultados.

Se elaboró los seis pares de muros “columnas”, de las cuales cuatro (4) pares están en la fachada sur y las restantes en la fachada norte, los cuatro pares de muros se detallan con sus respectivas medidas en la Figura G.1.

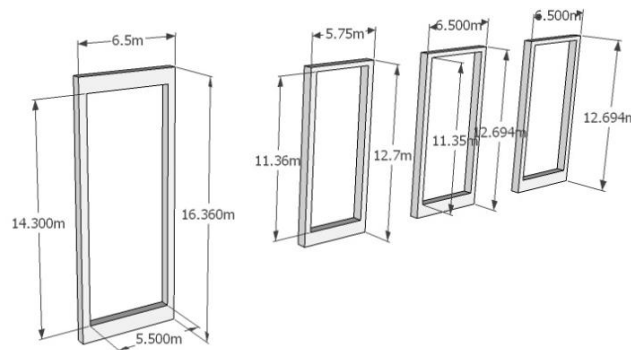


Figura G.1. Ubicación de los muros – Superboard, fachada sur

De ser necesario con ayuda de líneas auxiliares se puede establecer con mayor facilidad la ubicación y diseño de todos los elementos. Para borrar las líneas auxiliares basta con dar clic derecho y seleccionar la opción **borrar todas las líneas auxiliares**.

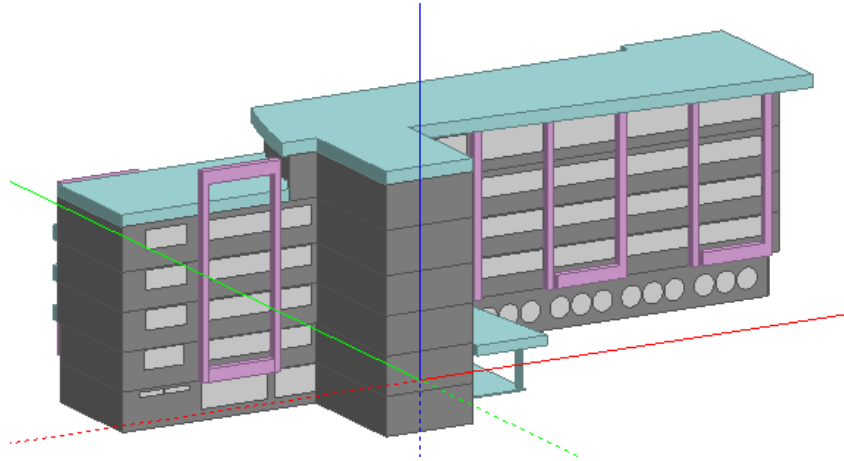


Figura G.2. Ubicación de los muros – Superboard, fachada sur, *DesignBuilder*.

Nota: Para el caso de la herramienta *booleana* solo permite unir 3 de las 4 partes de las columnas, *DesignBuilder* no permite unir un bloque a otro que esté haciendo contacto en dos partes alejadas entre sí, por esta razón el objeto completo de la columna máximo podrá quedar resumido a dos partes.

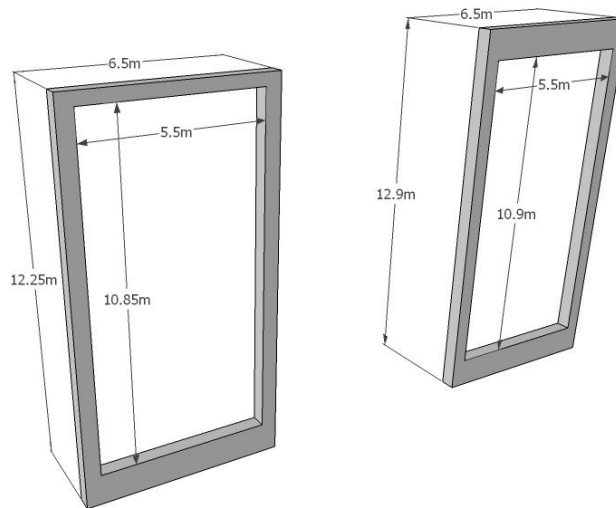


Figura G.3. Detalle de los muros – Superboard, fachada norte – *DesignBuilder*

Parasol -Superboard

Para el edificio se utilizaron varios parasoles – *superboard*, tanto en la fachada norte como en la fachada sur. La superboard aparte de las facilidades de rapidez de construcción y rigidez, proporciona un aislamiento térmico, acústico y en fachadas protegerá las aulas de la radiación directa del sol [1].

En el Edificio de Ingeniería Eléctrica se hicieron once parasoles para la fachada sur y cinco para la norte, las características térmicas se describirán en la plantilla de cerramientos, y los detalles referentes a medidas se detallarán en la Figura G.4

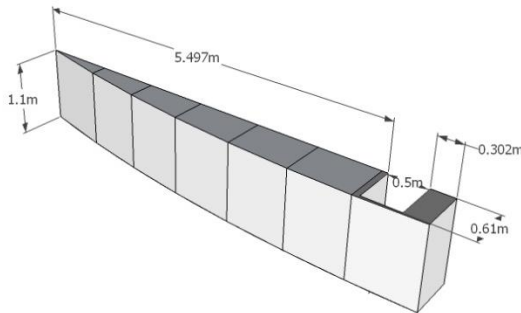


Figura G.4. Parasol - Superboard para las fachas norte y sur.

Detalle terraza - Superboard

La terraza tendrá un elemento exterior, que por motivos de realismo del edificio se realizará, de igual manera se desconoce cómo puede afectar al edificio térmicamente. Por ende, se buscará observar como cada elemento puede mejorar o afectar el ambiente de confort dentro de la edificación.

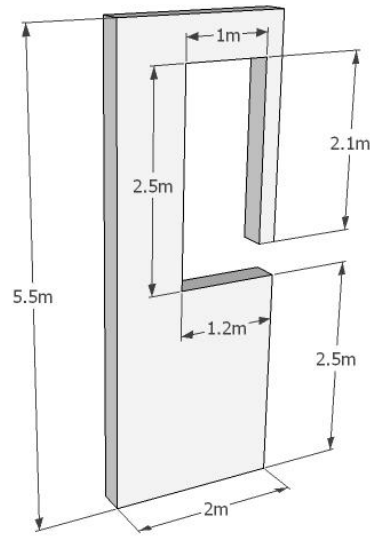


Figura G.5. Detalle externo terraza – quinto piso

Aerobrise

Los aerobrise buscan dar una protección solar especialmente en fachadas cuyas ventanas son bastante grandes y se encuentran muy expuestas a la radiación solar directa.

Para la elaboración de los aerobrise en el modelo de *DesignBuilder* se tomaron cuatro diferentes modelos. Las especificaciones de materiales se harán en la plantilla de cerramientos y Los tipos de aerobrise utilizados se describen en la plantilla de aberturas.

El primer tipo de *aerobrise* es el considerado en la fachada sur del sotano. Cuyas medidas se describen en la Figura G.6.

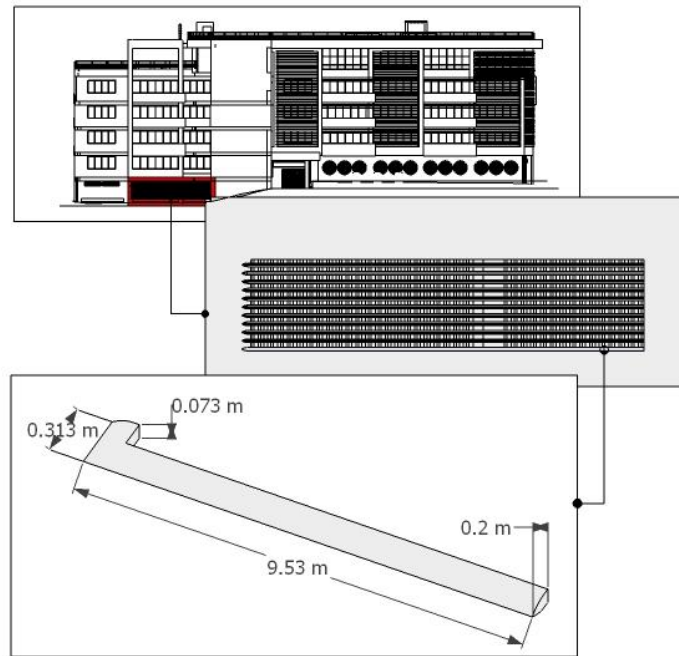


Figura G.6. Aerobrises fachada sur - sótano

El segundo y tercer tipo de aerobrises a considerar, a pesar de tener las mismas medidas se encuentran en direcciones opuestas. En la Figura G.7 se detalla uno de los dos, el otro será el opuesto con respecto al eje vertical.

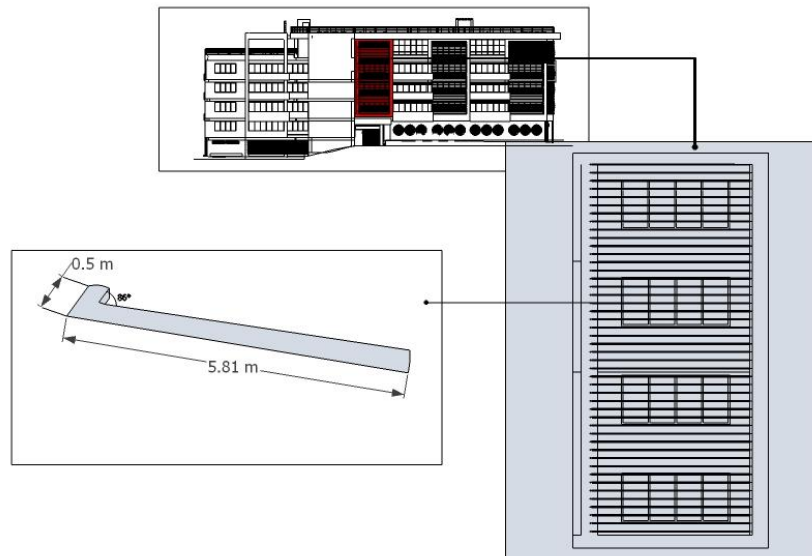


Figura G.7. Aerobrises fachada sur – segundo, tercer, cuarto y quinto piso

Finalmente, para realizar el *aerobrise* 200 ubicado en la parte oriental del quinto piso se utilizarán las medidas descritas en la Figura G.8.

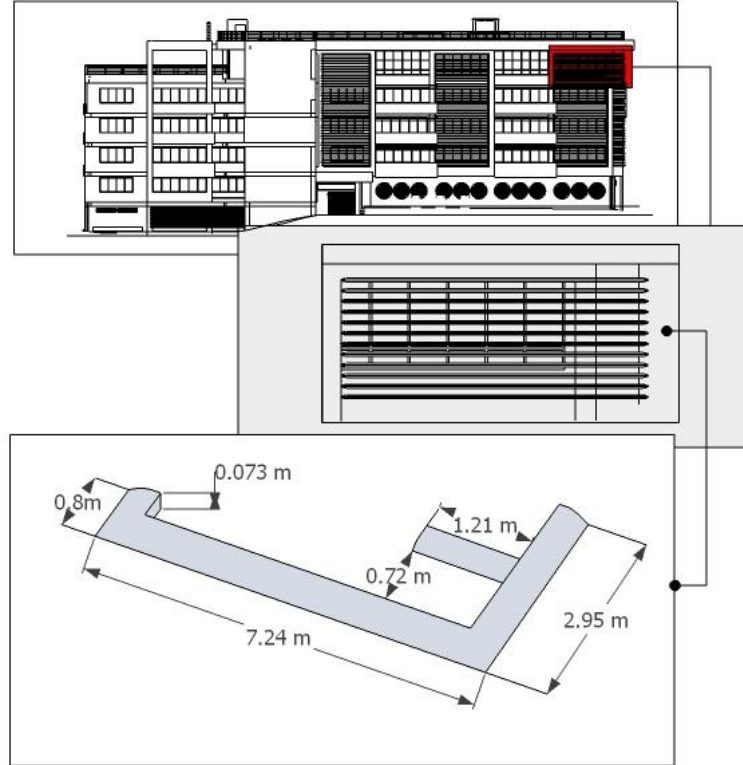


Figura G.8. Aerobrise fachada sur – quinto piso

La distancia entre cada aerobrise es de veinticinco (25) centímetros. Cabe resaltar que debido a la geometría poco simple de los aerobrise se realizarán en bloque contorno, para una vez terminado volverlo un bloque componente, y de esta manera poder editar sus propiedades.

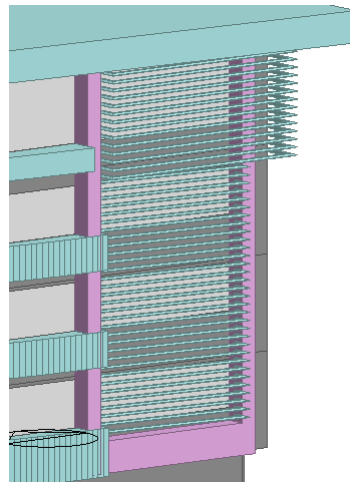


Figura G.9. Aerobrises fachada sur – quinto piso en *DesignBuilder*

Rampa

Para la elaboración de la rampa se deberá ubicar en el bloque respectivo a la entrada principal. Una vez ubicado, seleccionar la herramienta *Dibujar bloque* elegir *bloque de componente*, como en los anteriores casos, y se realiza el perímetro de la figura deseada. Las medidas de la rampa se detallan en la Figura G.10.

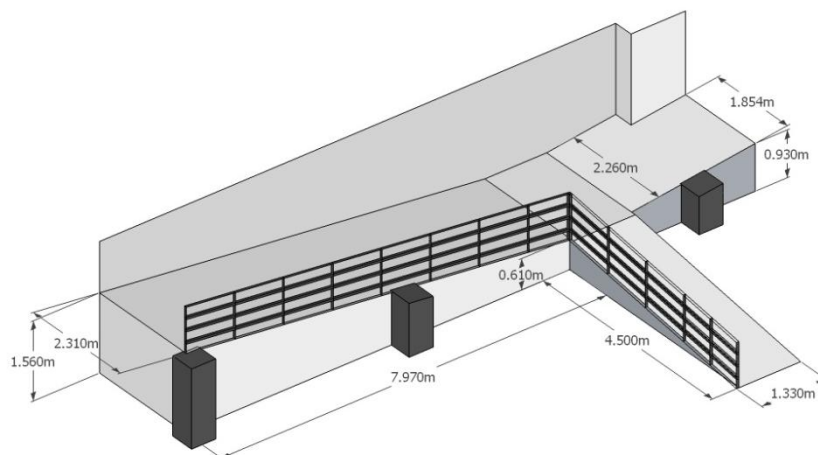


Figura G.10. Rampa – primer piso

Debido a que una parte de la rampa se dirige hacia la sala de trabajo individual quedará ubicada dentro de otro bloque, y por esta razón se deberá realizar por

aparte, pero siguiendo el mismo procedimiento. El bloque componente se deberá editar para atribuir propiedades de concreto.

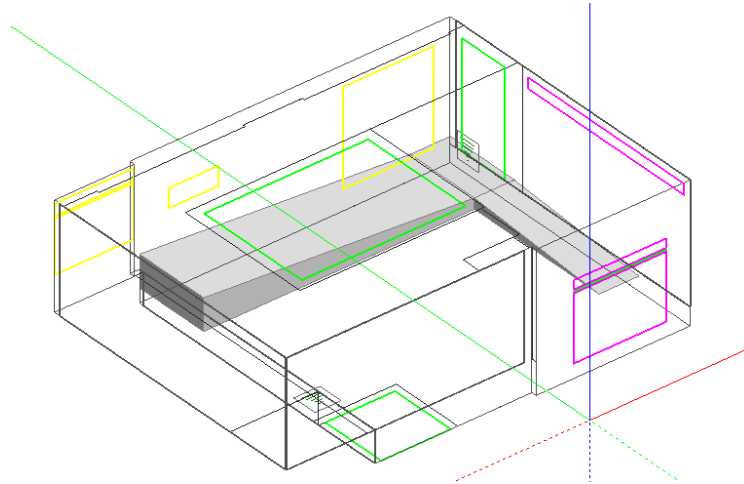


Figura G.11. Rampa – primer piso, *DesignBuilder*

Detalle Auditorios

Las aulas del Edificio de Ingeniería Eléctrica ubicadas en el cuarto piso serán tipo auditorio, esto quiere decir que existirán varios niveles dentro de una misma aula. Cada desnivel será de veinte (20) centímetros y en total serán dos. Adicionalmente tendrá mesas fijas, sin embargo para no sobrecargar el modelo de *DesignBuilder* las mesas se omitirán. Pero los niveles si se realizarán, porque estos influyen en el intercambio de calor entre el cuarto y tercer piso.

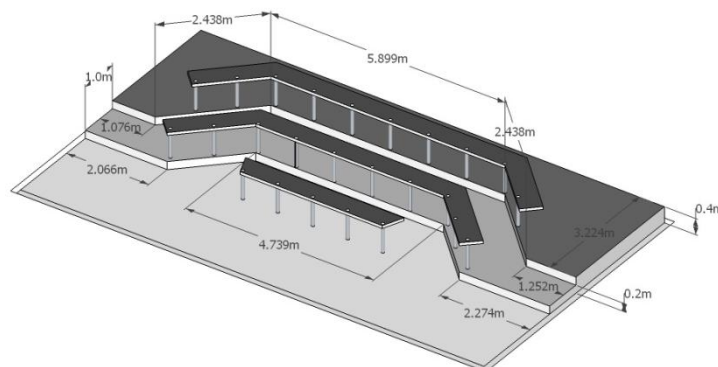


Figura G.12. Detalle auditorios – cuarto piso

Anexo H.

Materiales: Edificio de Ingeniería Eléctrica

Para el caso del Edificio de Ingeniería Eléctrica se utilizaron diferentes materiales, con el fin de establecer de una manera más exacta el comportamiento térmico en la estructura, se describirán algunos conceptos relacionados o necesarios para la creación de materiales, finalmente se condensaron los materiales en la Tabla H.1, con su respectivo valor para cada una de las siguientes variables. Este anexo resulta útil cuando se van a incluir materiales en *DesignBuilder*.

Características térmicas básicas

En este anexo se describirá las principales características térmicas de los materiales que se usarán para el modelamiento del Edificio de Ingeniería Eléctrica, haciendo énfasis únicamente en los que interfieren en la parte estructural de la edificación.

Densidad

A pesar de que la densidad no es considerada una propiedad térmica, es una característica directamente relacionada con el desempeño térmico de un material. La densidad, o masa específica de un material, es el cociente que resulta de dividir la cantidad de masa (kg) de dicho material por su volumen unitario (m^3). Así, la densidad que caracteriza del material se podría medir en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) [1].

Los materiales empleados en la edificación presentan un amplio rango de densidades. Algunos de ellos apenas alcanzan una densidad de $20 kg/m^3$,

mientras que por otro lado en el caso de la cerámica se puede alcanzar densidades cercanas a los $2\ 300\ \text{kg/m}^3$.

Conductividad y resistividad

La conductividad y la resistividad son características sencillas, que en el caso de la conductividad reflejan la capacidad de un material para conducir calor a través de su estructura interna, se expresa en Watts por metro grado Celsius ($\text{W/m}^\circ\text{C}$). Otra unidad es la kilocaloría por hora metro grado Celsius ($\text{kcal/mhr}^\circ\text{C}$). La equivalencia entre ambas unidades es [2]:

$$1\ [\text{kcal/mhr}^\circ\text{C}] = 1,163\ [\text{W/m}^\circ\text{C}]$$

Por otro lado la conductividad térmica también se puede describir como el flujo de calor que, en régimen estacionario, atraviesa un material de caras plano-paralelas y de espesor unitario, durante una unidad de tiempo, cuando la diferencia de temperatura entre sus caras es de una unidad [1].

La resistividad, corresponde al inverso de la conductividad ($1/k$) y por lo tanto representa la capacidad del material para resistir el flujo de calor. Se expresa en metro grado Celsius por Watt ($\text{m}^\circ\text{C/W}$) [3].

Conductancia y resistencia

La conductancia y la resistencia son propiedades directamente relacionadas con el espesor de una capa del material, en el caso de la conductancia representa la capacidad de la capa de material para conducir el calor y es igual a la conductividad dividida por el espesor, expresándose en Watts por metro cuadrado grado Celsius ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) [1].

La resistencia, representa la capacidad de una capa de material para resistir el flujo de calor y es igual a la resistividad multiplicada por el espesor, expresándose en metro cuadrado grado Celsius por Watt ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$) [1].

Dado que la resistividad es el inverso de la conductividad, y que los valores de conductividad de los materiales constructivos suelen ser más accesibles, la resistencia de un material generalmente se calcula con la siguiente fórmula [2]:

$$R = e / k$$

Dónde:

R = Resistencia térmica por unidad de área de la capa de material ($m^2 \cdot ^\circ C/W$),

e = Espesor de la capa de material (m).

k = Conductividad del material ($W/m^\circ C$).

Valor R

En el caso de los aislantes es usual representarlos mediante el valor R, para ello se deberá tomar el área total de una capa de este material (m^2), se multiplica por la diferencia de temperatura ($^\circ C$) y se divide por la resistencia térmica, de esta manera se obtiene el flujo de calor en Watts [1].

El valor R se expresa generalmente en $m^2 \cdot ^\circ C/Watt$, pero en algunos países se emplea el pie cuadrado grado fahrenheit por unidad térmica británica ($ft^2 \cdot ^\circ Fh/Btu$), la relación entre estas dos unidades se describirá a continuación [2].

$$1 [m^2 \cdot ^\circ C/Watt] = 5,6745 [ft^2 \cdot ^\circ Fh/Btu]$$

$$1 [ft^2 \cdot ^\circ Fh/Btu] = 0,1761 [m^2 \cdot ^\circ C/Watt]$$

Cabe resaltar que los índices de transmisión de calor pueden variar ligeramente debido a que existe una resistencia extra a la transmisión de calor entre el aire interior y la superficie del componente, así como entre la superficie expuesta y el aire exterior, de esta manera, la transmisión de calor puede variar dependiendo de la velocidad del viento [1].

Calor específico

El calor específico es otra propiedad sencilla o simple de los materiales, que hace referencia a la capacidad que tienen dicho material para acumular calor en su propia masa. También se puede definir como la cantidad de calor que es necesario suministrar a una unidad de peso del material para incrementar su temperatura en un grado Celsius. Mientras mayor sea el calor específico, más energía tendrá que suministrarse para calentar el material [4].

Para designar al calor específico se utiliza el símbolo **Ce**, en el Sistema Internacional se utiliza como unidad del calor específico el Joule por kilogramo grado Celsius (J/kg°C). En ocasiones también se utiliza la kilocaloría por kilogramo grado Celsius (kcal/kg°C), de acuerdo a la siguiente equivalencia [4]:

$$1 \text{ J/kg}^\circ\text{C} = 0,239 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

Características superficiales

Las características superficiales de los materiales afectan en algunas ocasiones de manera significativa su desempeño térmico, por esta razón es necesario tomarlas en cuenta en el momento de su elección. Esto es especialmente importante para los materiales que conforman las capas externas de los cerramientos [1].

Absortividad y absortancia

La absortividad es la característica de un material que permite determinar la cantidad de radiación incidente que puede absorber. La absortancia, por otro lado, representa en sí la fracción de radiación incidente que es absorbida por un material, con valores que van de 0,0 a 1,0. La absortancia, en ocasiones denominada absorción superficial, depende fundamentalmente del color y el acabado de los materiales [2].

La absorptancia puede ser establecida en relación con radiaciones de diferentes longitudes de onda. Por esta razón es común encontrar tres formas distintas de absorptancia: solar, visible y térmica, formas usadas por el software DesignBuilder para la descripción de los materiales [5].

La forma más común se refiere a la absorptancia solar, la cual incluye el espectro visible, el infrarrojo y el ultravioleta. Este parámetro se puede usar para estimar la forma en que la radiación solar afecta el balance térmico de las superficies (exteriores e interiores) de los elementos constructivos [1].

El siguiente parámetro se refiere a la absorptancia visible, que representa la fracción de la radiación visible incidente que es absorbida por un material. En ese sentido el rango de longitudes de onda considerado es mucho más estrecho que en el caso de la de radiación solar, ya que no se incluye el espectro infrarrojo ni el ultravioleta. Este parámetro también afecta el balance térmico superficial [1].

Por último, está el valor de la absorptancia térmica, el cual se puede considerar un parámetro equivalente a la emitancia. Representa la fracción de la radiación incidente de onda larga (longitudes de onda infrarrojas) que es absorbida por un material. Este parámetro afecta el balance térmico superficial, pero suele usarse para calcular los intercambios de radiación de onda larga entre varias superficies. Al igual que en los casos anteriores, los valores de la absorptancia térmica van de 0,0 a 1,0, donde 1,0 representa las condiciones de un cuerpo negro ideal, el cual absorbería (y emitiría) toda la radiación de onda larga incidente [1].

Emisividad

La emisividad de un material es la propiedad que expresa la proporción entre la energía radiada por dicho material y la energía que radiaría un cuerpo negro ideal, dada la misma temperatura y la misma superficie. En ese sentido se trata de una medida de la capacidad de un material para absorber y radiar energía. Si

asignamos al cuerpo negro ideal un valor de 1,0, entonces cualquier objeto real tiene una emisividad mayor a 0,0 y menor a 1,0 [1].

Además de la temperatura, la emisividad depende de factores como las condiciones de las superficies (pulidas, oxidadas, grado de rugosidad), el ángulo de emisión y la longitud de onda.

De acuerdo a la ley de Kirchhoff, para un objeto en equilibrio térmico la emisividad es igual a la absorptividad, de tal manera que un objeto que absorbe menos radiación de la que incide sobre él también emitirá menos radiación que un cuerpo negro ideal [6].

Reflectividad y reflectancia

La reflectividad representa la fracción de la radiación incidente que es reflejada por una superficie. En términos generales la reflectividad es una propiedad direccional, debido a que además de la longitud de onda, depende de la dirección de la radiación incidente y de la dirección de la radiación reflejada [2].

Muchas superficies pueden catalogarse como especulares o difusas. Las superficies especulares, como el vidrio o los metales brillantes, son aquellas cuya reflectividad es cercana a cero en todas las direcciones, excepto en el ángulo de reflexión correspondiente. En cambio las superficies difusas, como la pintura blanca mate, presentan valores de reflectividad iguales (o casi iguales) en todas las direcciones [2].

En ciertos campos, la reflectividad se distingue de la reflectancia por el hecho de que la primera es un valor que se aplica para capas reflejantes gruesas, mientras que la segunda aplica para capas delgadas. Cuando la reflexión ocurre en capas delgadas, los efectos de la reflexión interna pueden provocar que la reflectancia varíe de acuerdo al grosor de la superficie [2].

Rugosidad

La rugosidad de un material se expresa como el coeficiente entre el área real y el área aparente de su superficie. Si el área real es igual al área aparente el coeficiente de rugosidad es de 1,0. Sin embargo, en el caso que el área real sea mayor al área aparente el coeficiente de rugosidad será mayor a 1,0 (nunca menor). Este parámetro afecta principalmente la convección superficial de los componentes constructivos [1].

Materiales constructivos

Los materiales utilizados en la parte estructural de la edificación fueron tomados en su mayoría de materiales existentes en *DesignBuilder*, para ello se deberá descargar la base de datos de materiales del Código Técnico de la Edificación (CTE), junto con las propiedades térmicas, para su utilización en *DesignBuilder* [7].

Tabla H.1. Materiales utilizados en la construcción estructural del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Material	Conductividad W/m-k	Calor específico J/kg-k	Densidad kg/m³	Resistencia m²-k/W	Absortancia			Rugosidad	Carbono incorporado KgCO2/ Kg
					Térmica	Solar	Visible		
Cement/plaster/mortar - cement	0,72	840	1 860	0,15	0,9	0,6	0,6	3	0,19
Brick	0,72	840	1 920	0,15	0,9	0,6	0,6	3	0,22
Cultivated clay soil 12.5% DW Moisture	1,18	1 250	1 800	0,15	0,9	0,6	0,6	3	0,02
Air gap 50mm (downwards)	0,3	1 000	1 000	0,21	0,9	0,7	0,7	3	-
Mineral fibre/wool - fibre blanket, bonded at 10 °C	0,036	710	24	0,25	0,9	0,6	0,6	3	-
Rubber floor covering	0,17	1 400	1 200	0,15	0,9	0,6	0,6	3	6,01
Concrete, reinforced (with 1% steel)	2,3	1 000	2 300	0,15	0,9	0,6	0,6	3	0,26
Air gap 300mm (downwards)	0,3	1 000	1 000	0,23	0,9	0,7	0,7	3	-
Plasterboard	0,25	896	2 800	0,15	0,9	0,5	0,5	3	0,38
Air gap 10mm (downwards)	0,3	1 000	1 000	0,15	0,9	0,7	0,7	3	-
Synthetic carpet	0,06	2 500	160	0,15	0,9	0,6	0,6	3	5,03

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. Creación del modelo virtual

Anexo H. Materiales: Edificio de Ingeniería Eléctrica

Hardboard (estándar)	0,13	2 000	900	0,15	0,9	0,7 8	0,7 8	3	0,86
Aerated concrete slab	0,16	840	500	0,15	0,9	0,6	0,6	3	0,33
Cast concrete	1,13	1 000	2 000	0,15	0,9	0,6	0,6	3	0,08
Ceramic/porcelain	1,3	840	2 300	0,15	0,9	0,4	0,4	3	0,65
Cement/plaster/mortar - cement	0,72	840	1 760	0,15	0,9	0,6	0,6	3	0,19
Metal door - Steel	50	450	7 800	0,15	0,3	0,3	0,3	3	1,77
Metal door - Air gap 10mm	0,3	1 000	1 000	0,15	0,9	0,7	0,7	3	-
Metal door - Steel	50	450	7 800	0,15	0,3	0,3	0,3	3	1,77
Wooden door	0,19	2 390	700	0,15	0,9	0,5	0,5	3	-
Aluminium	160	880	2 800	0,15	0,3	0,3	0,3	3	8,55
Glass cellular sheet	0,048	840	140	0,15	0,9	0,6	0,6	3	0,85
Iron, Cast	50	450	7 500	0,15	0,3	0,3	0,3	3	1,91
Gypsum plasterboard	0,25	1 000	900	0,15	0,9	0,5	0,5	3	0,12
Air	0,025	1 008	1,23	0,23	0,9	0,7	0,7	3	-
Glass Fibre / wool - fibre, strawboard - like	0,085	2 100	300	0,15	0,9	0,6	0,6	3	1,53

Anexo I.

Cerramientos

En la pestaña de cerramientos se especifican los parámetros constructivos de los cerramientos, algunas de estas especificaciones son la clase de material, el horario de actividad en el edificio, los tipos y clasificación de los muros, los suelos, etc. Para seleccionar correctamente las especificaciones de debe tener conocimiento de la construcción que se va a simular y además se deben aclarar los conceptos de cómo *DesignBuilder* entiende la edificación. Por tal razón, se describen las siguientes definiciones.

A continuación se hará una explicación breve de cada uno de los ítems de la pestaña de cerramientos según el orden en *DesignBuilder*.

Muros Exteriores: Son los muros que están expuestos a la intemperie, y que rodean la construcción o edificio. Todas las edificaciones tienen muros exteriores [1].

Cubierta plana: Es el techo visto en las casas el cual su terminación es truncada al final (Superficie horizontal). Este debe incluir la capa de losa, aislamiento y techo suspendido. Los edificios comúnmente tienen ésta cubierta [1].

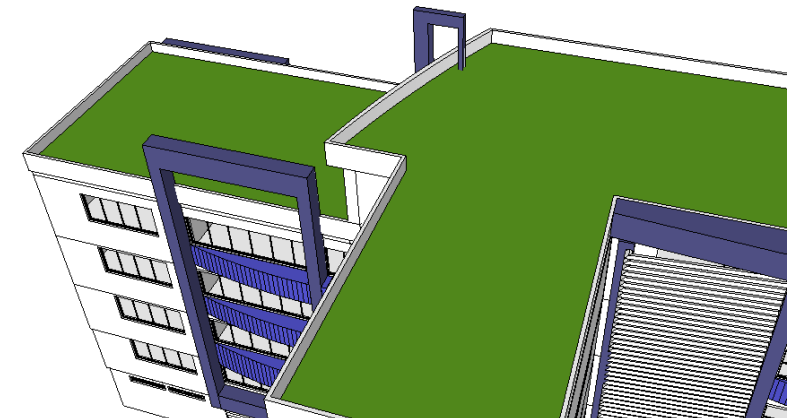


Figura I.1. Cubierta plana o techo plano.

Cubiertas inclinadas (ocupada): Es el techo generalmente visto en las casas en forma de V y además de eso tienen un ático o cuarto acondicionado, es decir también es posible tener aquí controles de microclima como aislantes térmicos en la cubierta [1].

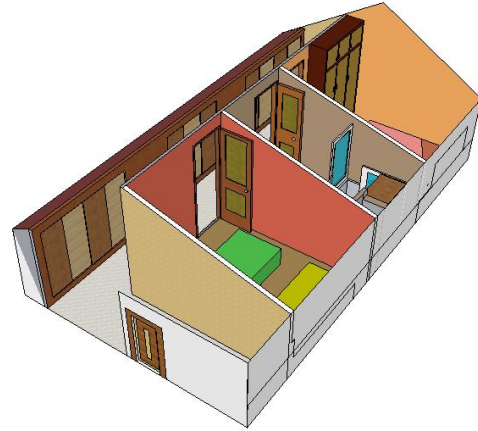


Figura I.2. Cubierta inclinada ocupada.

Cubiertas inclinadas (sin ocupación): Denominado o conocido como “a dos aguas”. Es el techo generalmente visto en las casas en forma de V, y a diferencia del anterior esa parte no está construida para habitar es decir no hay controles de microclima [1].

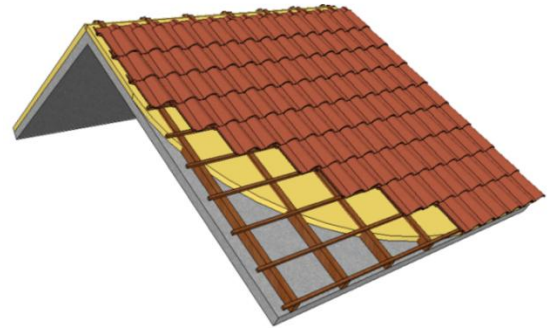


Figura I.3. Cubierta inclinada sin ocupación.

Particiones interiores: Son los muros que demarcan dentro de una construcción los pasillos y cuartos, estos en el software separan las zonas [1].



Figura I.4. Particiones interiores de una construcción.

Cerramientos semi-expuesto

Los cerramientos semi-expuestos son aquellos que cubren una parte desocupada (no acondicionada) y otra ocupada (acondicionada) o también que parte de ellos están expuestos a la intemperie. Las zonas ocupadas tienen controles microclimáticos mientras que las zonas desocupadas no [1].

- **Muros semi-expuestos:** Se denota muro semi-expuesto a aquel que separa una zona desocupada de una zona ocupada pero que está dentro de la construcción [1].
- **Techo semi-expuesto (debajo del ático):** Es el techo que cubre una zona ocupada y una zona desocupada, parte de la superficie que cubre es por ejemplo un garaje u otro espacio que no está dispuesto a habitar la mayor parte del tiempo [1].
- **Suelo semi-expuesto:** Es aquel suelo que separa una zona desocupada y una zona ocupada, es decir que abajo de él tiene una zona no acondicionada [1].

Suelos

- **Suelo sobre terreno:** Placa constructiva que separa el terreno de la parte interior de la construcción [1].
- **Suelo exterior:** Es la placa que separa las zonas interiores del ambiente externo [1].

- **Suelo interior:** Este es la placa que separa dos zonas ocupadas, por ejemplo el suelo de las plantas de un edificio excepto el que está en contacto con el terreno. “*Cuando la zona de arriba es desocupada se usa en su lugar un cerramiento de **techo semi-expuesta**. Cuando la zona de abajo es desocupada, se emplea un cerramiento de **suelo semi-expuesto** [1].”*

Sub-superficies

Son algunas superficies dentro de las mismas superficies que representan una capa de material distinta: un tablero, una cortina o un vidrio. Para *DesignBuilder* las sub-superficies se pueden dibujar sobre un **muro, partición, cubierta o puerta exterior e interior** [1].

Partición: Las sub-superficies son los recuadros que muestra *DesignBuilder* sobre una superficie y son de otro material y grosor que la división [1].

La Figura I.5 representa de manera gráfica las definiciones expuestas anteriormente.

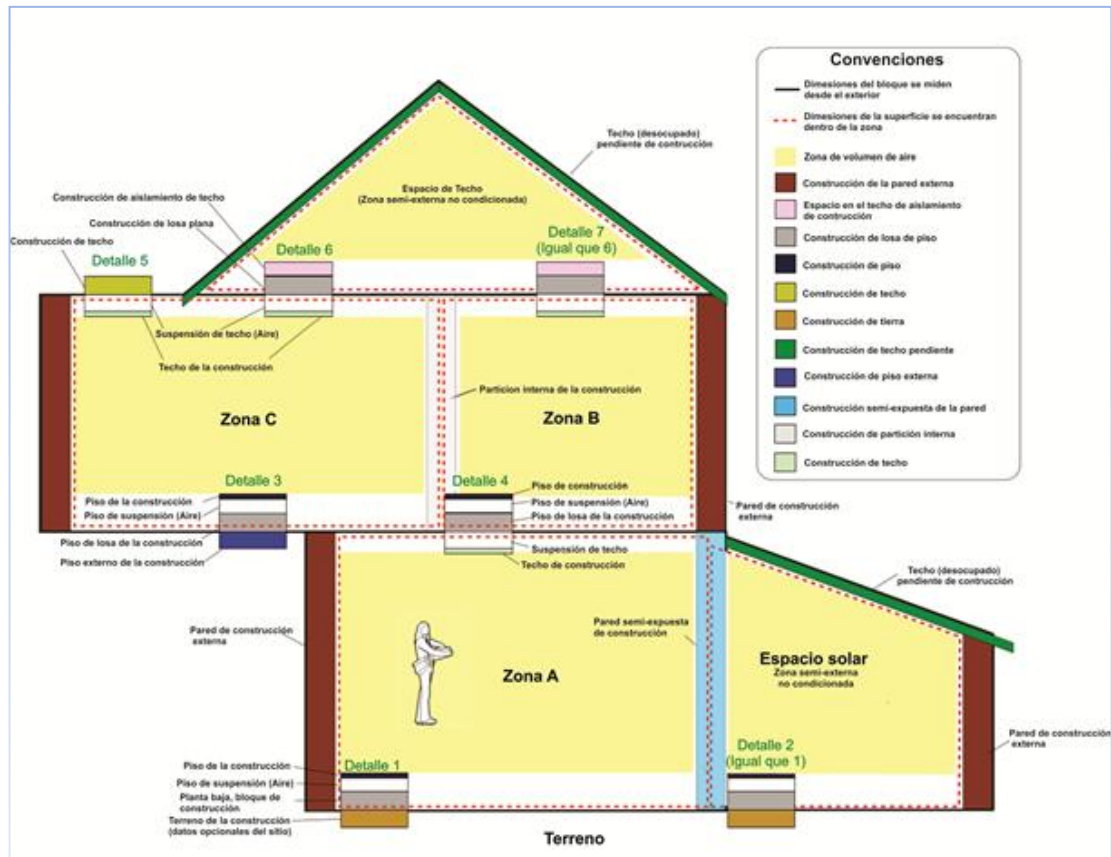


Figura I.5. Construcción representativa para DesignBuilder [1].

Masa térmica interna: Se utiliza para efectuar cálculos térmicos y comportamientos de transferencia de calor, con estos resultados se pueden efectuar análisis de control para una superficie que por ejemplo recibe radiación solar u observar cómo la afecta un aire acondicionado [1].

Bloque de componente

Para cerramientos se incluyen estos bloques para simular propiedades ópticas que generan ciertas superficies, la reflexión o sombras que producen ciertos diseños arquitectónicos como balcones, muros que bloquean solar; también se incluye los efectos que pueden producir el terreno en la edificación [1].

- **Material:** Dependiendo del material se modelan las superficies la transmitancia y la absorbanca solar y visible, aquí se escoge el tipo material que se empleará para realizar los cálculos [1].

- **Transmitancia máxima:** Este valor oscila entre 0 y 1, esto indica el nivel de opacidad o el nivel que tiene un rayo para atravesar un material. Si este valor tiende a 1 significa que el rayo tiene la capacidad de atravesarlo totalmente y 0 que este rayo se refleja [1].

Transmitancia óptica

La transmitancia óptica que se define como la fracción de luz incidente, a una longitud de onda especificada, que pasa a través de una muestra.

Su expresión matemática es:

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (1.1)$$

Donde I_0 es la intensidad del rayo incidente, e I es la intensidad de la luz que viene de la muestra.

La transmitancia de una muestra está normalmente dada porcentualmente, definida como:

$$T\% = \frac{I}{I_0} 100\% \quad (1.2)$$

Nótese que el término transmisión se refiere al proceso físico de la luz pasando por una muestra, mientras que transmitancia se refiere a una cantidad matemática [2].

- **Programación de transmitancia:** Hace referencia a los cambios que sufre la transmitancia de un objeto durante el año, una aplicación de esto será el comportamiento de una arborización que afecte con sombras la construcción, sin embargo en invierno y en verano su follaje es distinto, aquí es donde entra la programación que hace que el nivel de transmitancia cambie en estas temporadas [1].



Figura I.6. Follaje.

Convección superficial

La convección superficial es la disipación de energía térmica a través de la ganancia de calor en el viento circundante sobre las texturas superficiales. De esta forma la temperatura de los volúmenes internos de la construcción estarán dependientes de su comportamiento convectivo [1].

- **Algoritmo de convección:** Se aplican algoritmos de coeficientes de transmisión de calor para el interior y exterior. La convección depende de la temperatura y velocidad del aire y la interacción de este con las superficies junto con su rugosidad [1].
- **Diseño de calefacción y refrigeración:** Se selecciona el tipo de control del diseño de acondicionamiento climático para cada zona aplicado en la edificación [1].
- **Simulación:** Se selecciona el tipo de diseño que se desea simular y realizar comparaciones [1].

Estanqueidad del aire

La estanqueidad del aire hace referencia a la circulación de aire no intencionado, para esto se utiliza la tasa constante en renovaciones por hora de esta infiltración de aire. Otra forma de especificar la estanqueidad del aire es especificando los datos en la plantilla de grietas ubicada en la pestaña “Cerramientos / Plantilla de cerramientos / estanqueidad del aire/plantilla de grietas”, ahí calcula las infiltraciones de aire a través de las paredes simuladas

como una sola grieta esto sucede por “la porosidad de los muros que suele ser causada por una gran cantidad de pequeñas grietas y perforaciones” [1].

Diferenciación de aberturas y sub-superficies

Descripción arquitectónica de detalles en una superficie para la elaboración de una edificación en *DesignBuilder*, cada una tiene unas características especiales:

Rejilla: Son láminas que dispuestas en un ángulo determinado no dejan pasar la luz directa del sol que provoque deslumbramiento en el interior de la construcción [1].

Hueco: Son aberturas que el cual el aire no tiene ninguna obstrucción para entrar a ese cerramiento [1].

Sub-superficie: Se utilizan para cuando hay materiales distintos a los de los muros, un ejemplo de estos son los tableros, cuadros, u otros objetos [1].

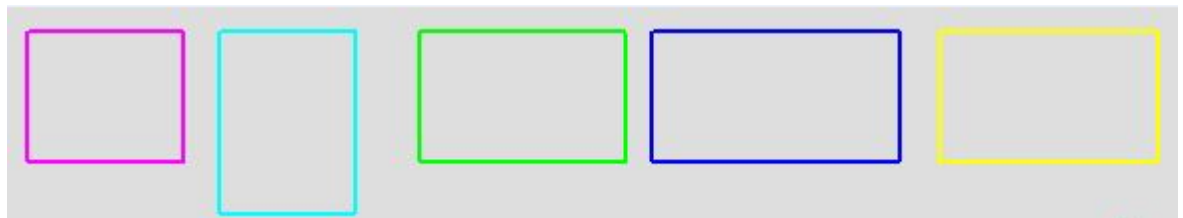


Figura I.7. Convención de colores en la construcción de una edificación [1].

Tabla I.1. Diferenciación de las superficies según el color del contorno [1].

	Rejilla
	Puerta
	Hueco
	Sub-superficie
	Ventana

Resumen de detalles de la pestaña de cerramientos

Las Tablas I.1 hasta la I.8 y las Figuras I.8 hasta I.19 describirán piso a piso los diferentes materiales y acabados usados desde la lista de *DesignBuilder*, aquí se describe los diferentes materiales que se usaron en la construcción del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Convención para las puertas según el material para todo el Edificio de Ingeniería Eléctrica.

TIPO DE PUERTA	MATERIAL
P1	MADERA
P2	MADERA
P3	MADERA
P4	MADERA
P5	ALUMINIO
P8	ALUMINIO
P9	VIDRIO
P10	METALICA
P11	ALUMINIO
P12	ALUMINIO
P13	METALICA
P14	METALICA
P15	VIDRIO

Tabla I.2. Puertas según material (ver Anexo F).

Sótano

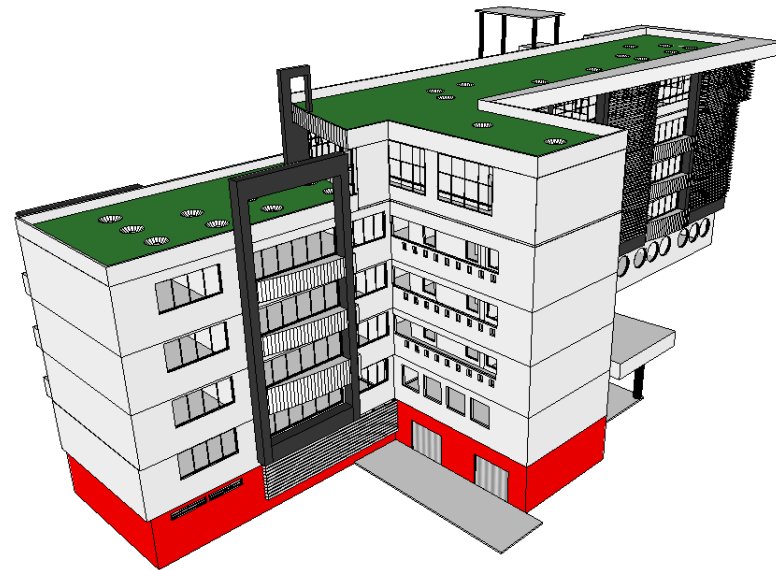


Figura I.8. Sótano y ubicación de los materiales.

Tabla I.3. Resumen de detalles del Sótano.

		Capas de Material	Espesor [m]	Carpeta DB	Selección de material	Tipo
Muros Exteriores		Aplanado de cemento arena	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortar - cement	Único
		Muro de ladrillo H-20	0,2	Ladrillo y mampostería	Brick	
		Aplanado de yeso	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortar - cement	
Particiones interiores		Aplanado de yeso	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortar - cement	Tipo 1
		Muro de ladrillo H-15	0,15	Ladrillo y mampostería	Brick	
		Aplanado de yeso	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortar - cement	
		Aplanado de yeso	0,015	Yesos	Cement / plaster / mortar - cement plaster	Tipo 2
		Placa SUPERBOARD	0,01	Yesos	Gypsum Plasterboard	
		Fibra de vidrio	0,01	Materiales aislantes	Glass Fibre / wool - fibre, strawboard - like	
		Aire	0,11	Gases	Air **** DOES NOT INCLUDE EFFECT OF CONVECTION - NOT FOR GENERAL USE ****	
		Fibra de vidrio	0,01	Materiales aislantes	Glass Fibre / wool - fibre, strawboard - like	
		Placa SUPERBOARD	0,01	Yesos	Gypsum Plasterboard	
		Aplanado de yeso	0,015	Yesos	Cement / plaster / mortar - cement plaster	
Suelos	Suelo sobre terreno	Piso en concreto brillante, con endurecedor	0,05	Hormigones	Aerated Concrete Slab	Tipo 1
		Placa de concreto en contacto con el terreno	0,1	Hormigones	Cast Concrete	
		Piso en cerámica tipo Duropiso	0,01	Baldosas, azulejos y tejas	Ceramic / porcelain	Tipo 2
		Masilla de pega	0,01	Yesos	Cement / plaster / mortar - cement plaster	
		Placa de concreto en contacto con el terreno	0,1	Hormigones	Cast Concrete	
Sub-Superficies	Puertas exteriores	Puertas metálicas	0,016	Puertas	Metal door	P14 Y P10
	Puertas interiores	Puertas de madera	0,035	Puertas	Wooden door	P1, P2 Y P3

Piso 1

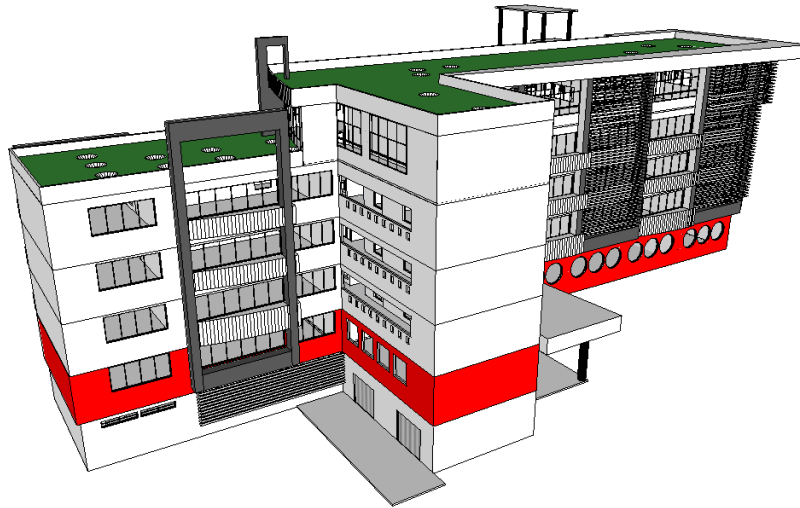


Figura I.9. Piso 1.

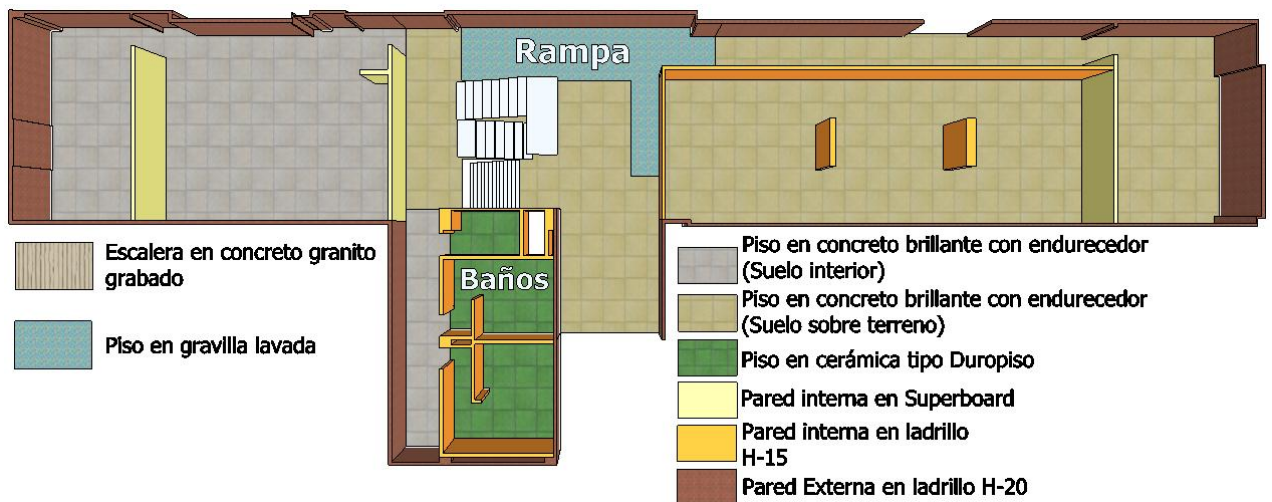


Figura I.10. Detalle Piso 1: Pisos, muros y divisiones.

Tabla I.4. Resumen de detalles del Primer piso.

		Capas de Material	Espesor [m]	Carpeta DB	Selección de material	Tipo
Muros Exteriores		Aplanado de cemento arena	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortar - cement	Único
		Muro de ladrillo H-20	0,2	Ladrillo y mampostería	Brick	
		Aplanado de yeso	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortar - cement	
Particiones interiores		Aplanado de yeso	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortar - cement	Tipo 1
		Muro de ladrillo H-15	0,15	Ladrillo y mampostería	Brick	
		Aplanado de yeso	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortar - cement	
		Aplanado de yeso	0,015	Yesos	Cement / plaster / mortar - cement plaster	Tipo 2
		Placa SUPERBOARD	0,01	Yesos	Gypsum Plasterboard	
		Fibra de vidrio	0,01	Materiales aislantes	Glass Fibre / wool - fibre, strawboard - like	
		Aire	0,11	Gases	Air **** DOES NOT INCLUDE EFFECT OF CONVECTION - NOT FOR GENERAL USE ****	
		Fibra de vidrio	0,01	Materiales aislantes	Glass Fibre / wool - fibre, strawboard - like	
		Placa SUPERBOARD	0,01	Yesos	Gypsum Plasterboard	
		Aplanado de yeso	0,015	Yesos	Cement / plaster / mortar - cement plaster	
Suelos	Suelo sobre terreno	Piso en concreto brillante, con endurecedor	0,05	Hormigones	Aerated Concrete Slab	Tipo 1
		Placa de concreto en contacto con el terreno	0,1	Hormigones	Cast Concrete	
	Suelo interior	Piso en concreto brillante, con endurecedor	0,05	Hormigones	Aerated Concrete Slab	Tipo 1
		Placa de Concreto Armado Aligerado	0,4	Hormigones	Placa de concreto armado E3T	
		Piso en cerámica tipo Duopiso	0,01	Baldosas, azulejos y tejas	Ceramic / porcelain	Tipo 2
		Masilla de pega	0,01	Yesos	Cement / plaster / mortar - cement plaster	
Placa de Concreto Armado Aligerado	0,4	Hormigones	Placa de concreto armado E3T			
Sub-Superficies	Puertas exteriores	Aluminio	0,003	Metales	Aluminio	P5
		Aire	0,01	Gases	Air Gap 10mm	
		Aluminio	0,003	Metales	Aluminio	
		Vidrio	0,01	Vidrios	Glass - cellular sheet	P15
	Puertas interiores	Puertas de madera	0,035	Puertas	Wooden door	P1, P2 Y P4

Piso 2

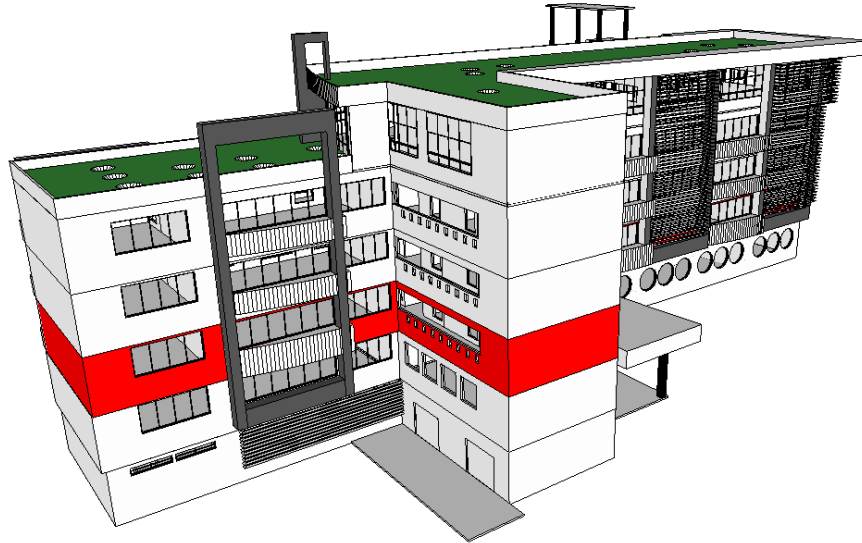


Figura I.11. Piso 2.



Figura I.12. Detalle Piso 2: Pisos, muros y divisiones.

Tabla I.5. Resumen de detalles del Segundo piso.

		Capas de Material	Espesor [m]	Carpeta DB	Selección de material	Tipo
Muros Exteriores		Aplanado de cemento arena	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortar - cement	Único
		Muro de ladrillo H-20	0,2	Ladrillo y mampostería	Brick	
		Aplanado de yeso	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortar - cement	
Particiones interiores		Aplanado de yeso	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortar - cement	Tipo 1
		Muro de ladrillo H-15	0,15	Ladrillo y mampostería	Brick	
		Aplanado de yeso	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortar - cement	
		Aplanado de yeso	0,015	Yesos	Cement / plaster / mortar - cement plaster	Tipo 2
		Placa SUPERBOARD	0,01	Yesos	Gypsum Plasterboard	
		Fibra de vidrio	0,01	Materiales aislantes	Glass Fibre / wool - fibre, strawboard - like	
		Aire	0,11	Gases	Air **** DOES NOT INCLUDE EFFECT OF CONVECTION - NOT FOR GENERAL USE ****	
		Fibra de vidrio	0,01	Materiales aislantes	Glass Fibre / wool - fibre, strawboard - like	
		Placa SUPERBOARD	0,01	Yesos	Gypsum Plasterboard	
		Aplanado de yeso	0,015	Yesos	Cement / plaster / mortar - cement plaster	
Suelos	Suelo interior	Piso en concreto brillante, con endurecedor	0,05	Hormigones	Aerated Concrete Slab	Tipo 1
		Placa de Concreto Armado Aligerado	0,4	Hormigones	Placa de concreto armado E3T	
		Piso en cerámica tipo Duropiso	0,01	Baldosas, azulejos y tejas	Ceramic / porcelain	Tipo 2
		Masilla de pega	0,01	Yesos	Cement / plaster / mortar - cement plaster	
		Placa de Concreto Armado Aligerado	0,4	Hormigones	Placa de concreto armado E3T	
Sub-Superficies	Puertas exteriores	Aluminio	0,003	Metales	Aluminio	P5
		Aire	0,01	Gases	Air Gap 10mm	
		Aluminio	0,003	Metales	Aluminio	
	Puertas interiores	Puertas de madera	0,035	Puertas	Wooden door	P1, P2, P3 Y P4

Piso 3

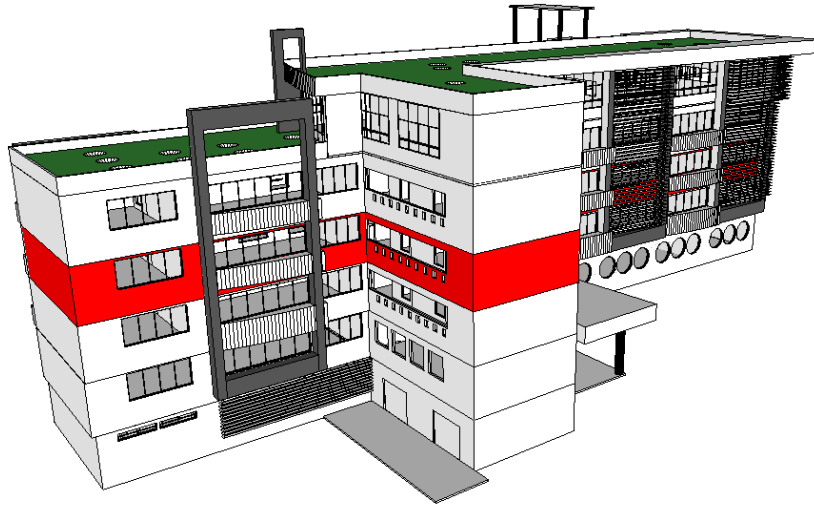


Figura I.13. Piso 3.



Figura I.14. Detalle Piso 3: Pisos, muros y divisiones.

Tabla I.6. Resumen de detalles del Tercer pis

		Capas de Material	Espesor [m]	Carpeta DB	Selección de material	Tipo
Muros Exteriores		Aplanado de cemento arena	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortár - cement	Único
		Muro de ladrillo H-20	0,2	Ladrillo y mampostería	Brick	
		Aplanado de yeso	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortár - cement	
Particiones interiores		Aplanado de yeso	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortár - cement	Tipo 1
		Muro de ladrillo H-15	0,15	Ladrillo y mampostería	Brick	
		Aplanado de yeso	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortár - cement	
		Aplanado de yeso	0,015	Yesos	Cement / plaster / mortár - cement plaster	Tipo 2
		Placa SUPERBOARD	0,01	Yesos	Gypsum Plasterboard	
		Fibra de vidrio	0,01	Materiales aislantes	Glass Fibre / wool - fibre, strawboard - like	
		Aire	0,11	Gases	Air **** DOES NOT INCLUDE EFFECT OF CONVECTION - NOT FOR GENERAL USE ****	
		Fibra de vidrio	0,01	Materiales aislantes	Glass Fibre / wool - fibre, strawboard - like	
		Placa SUPERBOARD	0,01	Yesos	Gypsum Plasterboard	
		Aplanado de yeso	0,015	Yesos	Cement / plaster / mortár - cement plaster	
Suelos	Suelo interior	Piso en concreto brillante, con endurecedor	0,05	Hormigones	Aerated Concrete Slab	Tipo 1
		Placa de Concreto Armado Aligerado	0,4	Hormigones	Placa de concreto armado E3T	
		Piso en cerámica tipo Duropiso	0,01	Baldosas, azulejos y tejas	Ceramic / porcelain	Tipo 2
		Masilla de pega	0,01	Yesos	Cement / plaster / mortár - cement plaster	
		Placa de Concreto Armado Aligerado	0,4	Hormigones	Placa de concreto armado E3T	
Sub-Superficies	Puertas exteriores	Aluminio	0,003	Metales	Aluminio	P5
		Aire	0,01	Gases	Air Gap 10mm	
		Aluminio	0,003	Metales	Aluminio	
	Puertas interiores	Puertas de madera	0,035	Puertas	Wooden door	P1, P2, P3 Y P4

Piso 4

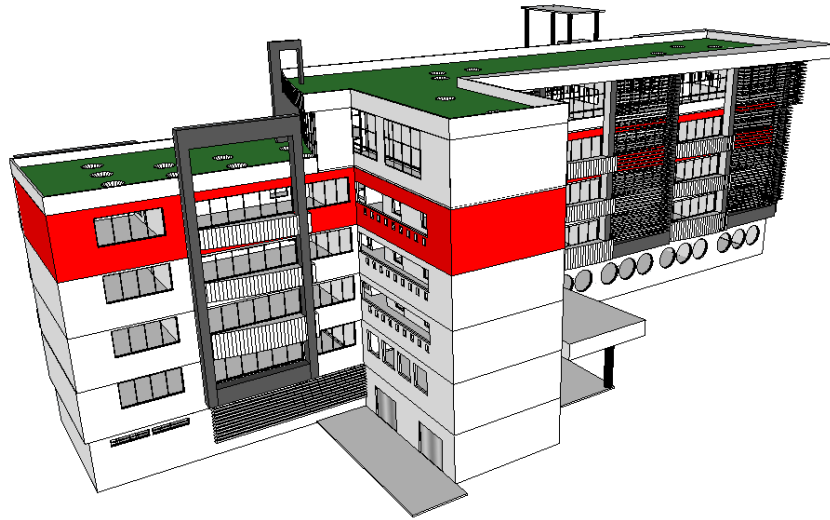


Figura I.15. Piso 4.



Figura I.16. Detalle Piso 4: Pisos, muros y divisiones.

Tabla I.7. Resumen de detalles del Cuarto piso.

		Capas de Material	Espesor [m]	Carpeta DB	Selección de material	Tipo
Muros Exteriores		Aplanado de cemento arena	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortár - cement	Único
		Muro de ladrillo H-20	0,2	Ladrillo y mampostería	Brick	
		Aplanado de yeso	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortár - cement	
Cubierta plana		Abono techo verde + Prado	0,19	Arenas, piedras y tierras	Cultivated Clay Soil 12.5% D.W. Moisture	Techo Verde
		Capa de drenaje de aire	0,01	Gases	Air Gap 50mm (downwards)	Capas debajo del techo verde
		Capa Geotextil	0,001	Materiales Aislantes	Mineral fibre / Wool - fibre, textile, organic bonded,	
		Sellante	0,02	Alfombras y revestimientos de Suelo	Rubber floor covering	
		Placa de concreto aligerado	0,4	Hormigones	Concrete, Reinforced (with 1% steel)	
		Capa de Aire	0,3	Gases	Air Gap 300mm (downwards)	
		Cielo raso (Lámina de yeso)	0,015	Yesos	Plasterboard	
Particiones interiores		Aplanado de yeso	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortár - cement	Tipo 1
		Muro de ladrillo H-15	0,15	Ladrillo y mampostería	Brick	
		Aplanado de yeso	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortár - cement	
		Aplanado de yeso	0,015	Yesos	Cement / plaster / mortár - cement plaster	Tipo 2
		Placa SUPERBOARD	0,01	Yesos	Gypsum Plasterboard	
		Fibra de vidrio	0,01	Materiales aislantes	Glass Fibre / wool - fibre, strawboard - like	
		Aire	0,11	Gases	Air **** DOES NOT INCLUDE EFFECT ****	
		Fibra de vidrio	0,01	Materiales aislantes	Glass Fibre / wool - fibre, strawboard - like	
		Placa SUPERBOARD	0,01	Yesos	Gypsum Plasterboard	
	Aplanado de yeso	0,015	Yesos	Cement / plaster / mortár - cement plaster		
Suelos	Suelo interior	Piso en concreto brillante, con endurecedor	0,05	Hormigones	Aerated Concrete Slab	Tipo 1
		Placa de Concreto Armado Aligerado	0,4	Hormigones	Placa de concreto armado E3T	
		Piso en cerámica tipo Duropiso	0,01	Baldosas, azulejos y tejas	Ceramic / porcelain	Tipo 2
		Masilla de pega	0,01	Yesos	Cement / plaster / mortár - cement plaster	
		Placa de Concreto Armado	0,4	Hormigones	Placa de concreto armado E3T	
Sub-Superficies	Puertas exteriores	Aluminio	0,003	Metales	Aluminio	P5
		Aire	0,01	Gases	Air Gap 10mm	
		Aluminio	0,003	Metales	Aluminio	
	Puertas interiores	Puertas de madera	0,035	Puertas	Wooden door	P1, P2, P3 Y P4

Piso 5

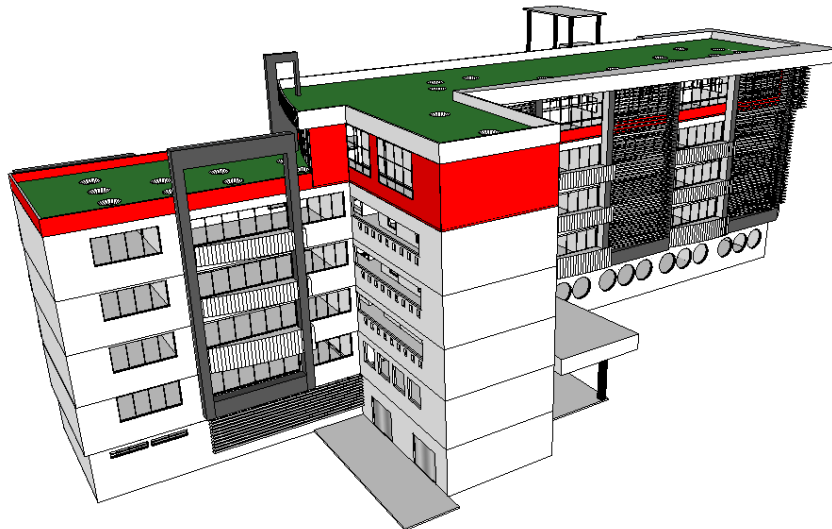


Figura I.17. Piso 5.

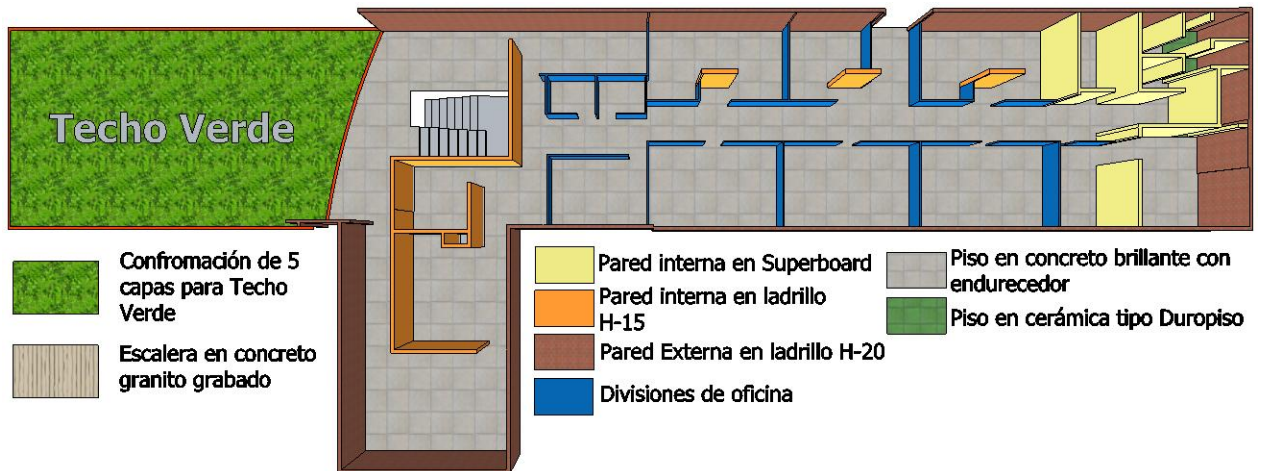


Figura I.18. Detalle Piso 5: Pisos, muros y divisiones.

Tabla I.8. Resumen de detalles del Quinto piso.

		Capas de Material	Espesor [m]	Carpeta DB	Selección de material	Tipo
Muros Exteriores		Aplanado de cemento arena	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortar - cement	Único
		Muro de ladrillo H-20	0,2	Ladrillo y mampostería	Brick	
		Aplanado de yeso	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortar - cement	
Cubierta plana		Abono techo verde + Prado	0,19	Arenas, piedras y tierras	Cultivated Clay Soil 12.5% D.W. Moisture	Techo Verde
		Capa de drenaje de aire	0,01	Gases	Air Gap 50mm (downwards)	Techo debajo del techo verde
		Capa Geotextil	0,001	Materiales Aislantes	Mineral fibre / Wool - fibre, textile, organic bonded, at 10°C	
		Sellante	0,02	Alfombras y revestimientos de Suelo	Rubber floor covering	
		Placa de concreto aligerado	0,4	Hormigones	Placa de concreto armado E3T	
		Capa de Aire	0,3	Gases	Air Gap 300mm (downwards)	
		Cielo raso (Lámina de yeso)	0,015	Yesos	Plasterboard	
Particiones interiores		Aplanado de yeso	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortar - cement	Tipo 1
		Muro de ladrillo H-15	0,15	Ladrillo y mampostería	Brick	
		Aplanado de yeso	0,015	Hormigones	Cement / plaster / mortar - cement	
		Aplanado de yeso	0,015	Yesos	Cement / plaster / mortar - cement plaster	Tipo 2
		Placa SUPERBOARD	0,01	Yesos	Gypsum Plasterboard	
		Fibra de vidrio	0,01	Materiales aislantes	Glass Fibre / wool - fibre, strawboard - like	
		Aire	0,11	Gases	Air **** DOES NOT INCLUDE EFFECT OF CONVECTION - NOT FOR GENERAL USE ****	
		Fibra de vidrio	0,01	Materiales aislantes	Glass Fibre / wool - fibre, strawboard - like	
		Placa SUPERBOARD	0,01	Yesos	Gypsum Plasterboard	
		Aplanado de yeso	0,015	Yesos	Cement / plaster / mortar - cement plaster	
		Paño	0,005	Alfombras y revestimientos de suelo	Synthetic Carpet	Tipo 3
		Madera	0,01	Maderas	Hardboard (Standard)	
		Aire	0,04	Gases	Air Gap 10mm X4	
		Madera	0,01	Maderas	Hardboard (Standard)	
	Paño	0,005	Alfombras y revestimientos de suelo	Synthetic Carpet		
Suelos	Suelo interior	Piso en concreto brillante, con endurecedor	0,05	Hormigones	Aerated Concrete Slab	Tipo 1

		Placa de Concreto Armado Aligerado	0,4	Hormigones	Concrete, Reinforced (with 1% steel)	
		Piso en cerámica tipo Duropiso	0,01	Baldosas, azulejos y tejas	Ceramic / porcelain	
		Masilla de pega	0,01	Yesos	Cement / plaster / mortar - cement plaster	Tipo 2
		Placa de Concreto Armado Aligerado	0,4	Hormigones	Concrete, Reinforced (with 1% steel)	
Sub-Superficies	Puertas exteriores	Aluminio	0,003	Metales	Aluminio	P8
		Aire	0,01	Gases	Air Gap 10mm	
		Aluminio	0,003	Metales	Aluminio	
	Puertas interiores	Vidrio	0,005	Vidrios	Glass - cellular sheet	P9, P15
		Aluminio	0,003	Metales	Aluminio	P11, P12,
		Aire	0,01	Gases	Air Gap 10mm	
		Aluminio	0,003	Metales	Aluminio	
		Puertas de madera	0,035	Puertas	Wooden door	P2, P3, P4

Bloque componente

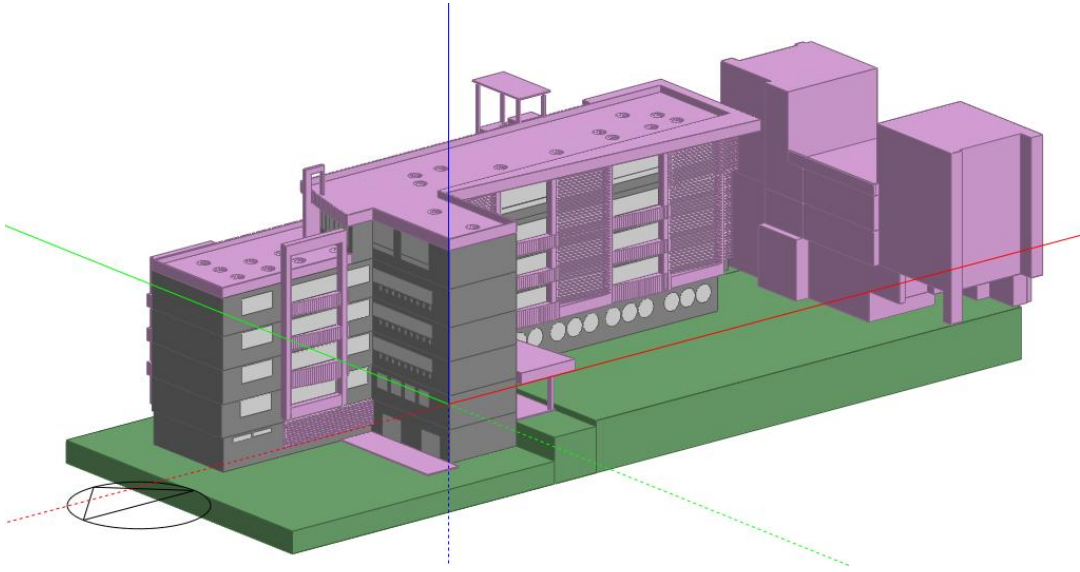


Figura I.19. Bloque componentes para detalles del Edificio de Ingeniería Eléctrica (Sacado del modelado en *DesignBuilder*).

Tabla I.8. Resumen de detalles de los Bloques Componente del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Nombre	Capas de Material	Espesor [m]	Carpeta DB	Selección de material	Tipo
Aerobise	Aluminio	0,005	Metales	Aluminium	Tipo 1
Rampa	Concreto	0,1	Hormigones	Cast Concrete	Tipo 2
Escaleras de emergencia	Metálicas	0,005	Metales	Iron, cast	Tipo 3
Escaleras de emergencia	Concreto	0,05	Hormigones	Cast Concrete	Tipo 4
Placa de concreto en contacto con el terreno	Concreto	0,1	Hormigones	Cast Concrete	Tipo 5
Columna entrada	Concreto	0,25	Hormigones	Cast Concrete	Tipo 6
Fachada SUPERBOARD*	SUPERBOARD	0,6	Baldosas, azulejos y tejas	Material Bloque Componente Muro SUPERBOARD E3T	Tipo 7
Techo escalera de auxiliar	Polycarbonato	0,005	Plásticos, sólidos	Polycarbonates	Tipo 8

*Baldosas, azulejos y tejas / Material Bloque Componente Muro SUPERBOARD E3T

TIPO 7 DE BLOQUE COMPONENTE	Capas de Material	Espesor [m]	Carpeta DB	Selección de material	Valor R [m ² -K/W]
Fachada SUPERBOARD: Parasol entrada. Muros y parasoles en fachada.	Baldosa	0,005	Baldosas, azulejos y tejas	Cerámica / Porcelana	0,15
	Masilla de pega	0,005	Yesos	Cement / plaster / mortar - cement plaster	0,15
	Placa SUPERBOARD	0,01	Yesos	Gypsum Plasterboard	0,15
	Fibra de vidrio	0,01	Materiales aislantes	Glass Fibre / wool - fibre, strawboard - like	0,15
	Aire	Variable	Gases	Air **** DOES NOT INCLUDE EFFECT OF CONVECTION - NOT FOR GENERAL USE ****	0,23
	Fibra de vidrio	0,01	Materiales aislantes	Glass Fibre / wool - fibre, strawboard - like	0,15
	Placa SUPERBOARD	0,01	Yesos	Gypsum Plasterboard	0,15
	Masilla de pega	0,005	Yesos	Cement / plaster / mortar - cement plaster	0,15
	Baldosa	0,005	Baldosas, azulejos y tejas	Cerámica / Porcelana	0,15
SUMA					1,43

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sacado de la ayuda de DesignBuilder, DesignBuilder-Espanol_Prelim01.chm, Consultado: Agosto 20 de 2012, Disponible en la web <URL: <http://www.designbuilder.co.uk/helpv3.0/> >
- [2] Consulta en Wikipedia. Consultado: Agosto 20 de 2012, Disponible en la web <URL:<http://es.wikipedia.org/wiki/Transmitancia>>

Anexo J.

Paredes compuestas

Para simplificar los cálculos se supone que el flujo de calor es en forma lineal, esta suposición permite que el comportamiento térmico de las paredes compuestas se trate de forma similar a los circuitos eléctricos convirtiéndose en resistencias en serie y en paralelo, de esta forma las paredes compuestas tienen circuitos térmicos equivalentes para simplificar los cálculos. Estas incluyen cualquier número de resistencias térmicas en serie y en paralelo debido a capas diferentes materiales [1].

La **resistencia térmica (R)** en paredes compuestas se define como la capacidad de un material de oponerse al **flujo del calor Q**, esta depende de la **conductividad (k)** y de las dimensiones del material. La **conductancia térmica (U)** es la capacidad de un material para conducir el calor, es decir es el inverso de la resistencia térmica [2].

Estas son algunas de las fórmulas que resolverán los circuitos derivados de las paredes compuestas:

$$R = \frac{e}{K \cdot A} \left[\frac{^{\circ}C}{W} \right] \text{ (J.1); } U = \frac{1}{R} \left[\frac{W}{^{\circ}C} \right] \text{ (J.2);}$$

R : Resistencia Térmica [$^{\circ}C/W$]

K : Conductividad [$W/m^{\circ}C$]

e : Espesor de la capa [m]

A : Area [m^2]

U : Conductancia [$W/^{\circ}C$]

$$Q = \frac{\Delta T}{R} [W] \text{ (J.3);}$$

Q : Flujo de calor [W]

ΔT : Diferencia de temperatura [$^{\circ}C$]

La Figura J.1 muestra el corte transversal de una placa compuesta cuatro materiales diferentes, cada uno de estos materiales tiene una conductividad (k) distinta, un espesor (e) distinto y con un flujo de calor lineal con una trayectoria vertical; dadas estas condiciones, el circuito equivalente será como el mostrado en la Figura J.2 [1].

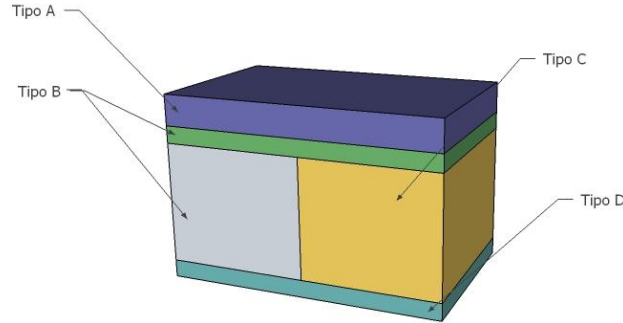


Fig. J.1 Corte transversal de una placa compuesta.

Tabla J.1. Propiedades de los materiales Figura J.1.

Color	Tipo de material	Espesor	Conductividad	Resistencia Térmica
	A	e_1	k_1	R_1
	B	e_2	k_2	R_2
		e_3	k_3	R_{3a}
	C	e_4	k_4	R_{3b}
	D	e_5	k_5	R_4

La Figura J.2 muestra la equivalencia que facilita los cálculos en el caso de una capa compuesta de varios materiales o también para cuando esté formada por pequeños volúmenes de aire como lo son las placas de las construcciones.

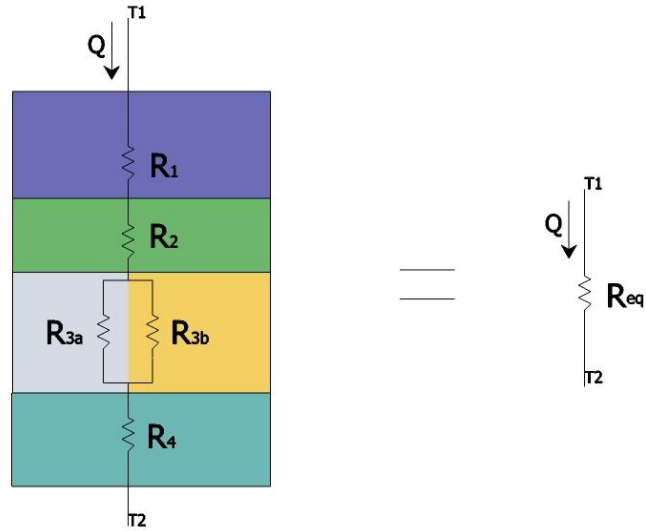


Figura. J.2 Circuito térmico equivalente de la Figura 1.

Dónde:

$$\Delta T = T_1 - T_2 \quad (\text{J.4});$$

$$R_i = \frac{e_i}{K_i \cdot A_i} \quad (\text{J.5});$$

Con la ayuda de la Figura J.2 se procederá a obtener la resistencia equivalente partiendo de las ecuaciones J.1 y J.5, que son características de cada capa de material.

R_2 y R_{3a} son del mismo material (Tipo B); sin embargo, tiene distinto espesor y el área es solo una parte de A .

$$R_1 = \frac{e_1}{K_1 \cdot A}; \quad R_2 = \frac{e_2}{K_2 \cdot A}; \quad R_{3A} = \frac{e_3}{K_3 \cdot A_A}; \quad R_{3B} = \frac{e_3}{K_2 \cdot A_B}; \quad R_4 = \frac{e_4}{K_4 \cdot A}$$

Se suman las resistencias en serie pero antes se obtiene la resistencia paralelo R_{3a} y R_{3b}

$$A = A_A + A_B \quad R_{3AB} = \frac{R_{3A} \cdot R_{3B}}{R_{3A} + R_{3B}} \quad R_{eq} = R_1 + R_2 + R_{3AB} + R_4$$

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Transferencia de calor, Omar Gelves, Pág. 29. Ediciones UIS. Consultado: Junio 16 de 2012
- [2] Características térmicas básicas, Consultado: Junio 17 de 2012, Disponible en la web <URL:www.sol-arg.com >

Anexo K.

Datos técnicos de los equipos de refrigeración

En este anexo se presenta la información técnica de los equipos de refrigeración a implementar en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Características técnicas de los equipos:

Tabla K.1. Características técnicas UMA MUB036 [1].

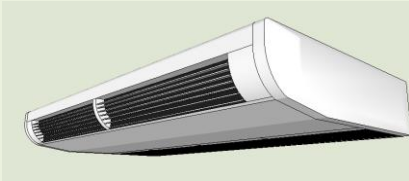
		MUB036				
		Modelos	Unidad externa	MCC-MCH		
			9	12	25	
Capacidad	Refrigeración	Btu/h	9.1	11.9	21.95	
		KW	2.67	3.49	6.43	
		Kcal/h	2.29	3	5.53	
	Calefacción	Btu/h	9.3	12.1	22.05	
		KW	2.72	3.55	6.46	
		Kcal/h	2.34	3.08	5.56	
Compresor		Tipo	Rotatorio		alternativo	
Refrigerante		R-22				
Dispositivo de Expansión		Tubo capilar				
Fuente de alimentación		V/Ph/Hz	220-240/1/50 or 380-415/3/50			
		Ph	1	1	1	3
Consumo de energía		KW	0.99	1.3	2.8	2.7 3
Corriente de funcionamiento		A	4.6	6.1	13. 2	6.4
Flujo de aire interno		m³/h	490	580	820	
		CFM	290	340	480	
Nivel de ruido	Interno	dBA	32/3 5/38	33/3 6/39	38/43/47	
	Externo	dBA	50	51	57	

Tabla K.2. Características técnicas UMA C36C2AB3 [1].

		C36C2AB3			
				Unidad interna	MCC-MCH
Modelos		Unidad interna	35		
		Unidad externa	MCC-MCH		
Capacidad nominal		Refrigeración	Btu/h	32	
			KW	9.4	
			Kcal/h	8.08	
		Calefacción	Btu/h	32.5	
			KW	9.5	
			Kcal/h	8.207	
Unidad interna	Fuente de alimentación		V/Ph/Hz	220-240/1/50	
	Ventilador	Flujo de aire		m³/h	1.358
		Potencia de entrada		KW	0.207
		Corriente de funcionamiento		A	0.53
	Dimensiones		Alto	mm	288
			Ancho	mm	836.5
			Largo	mm	827.5
Peso		kg	60		
Unidad externa	Fuente de alimentación		V/Ph/Hz	380-415/3/50	
	Compresor		Tipo de Compresor		Alternativo
			Refrigerante		R22
	Dimensiones		Alto	mm	900
			Ancho	mm	850
			Largo	mm	285
Peso		Kg	85		

Tabla K.3. Características técnicas unidad condensadora TCGD36 S41S1 [1].

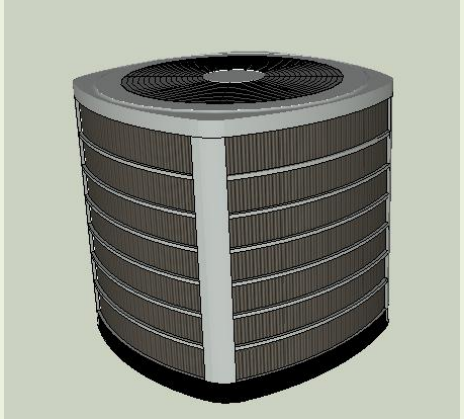
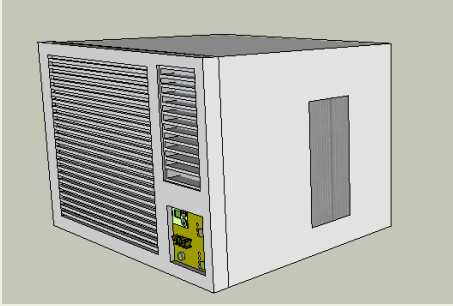
		TCGD36 S41S1(H)
Modelo		
Suministro de potencia		208-230V/1ø/60Hz
Rango de Tensión nominal [V]		187 - 252
Corriente mínima del circuito [A]		17.9
Corriente máxima [A]		30
Corriente mínima [A]		20
Tipo de compresor		Alternativo
Corriente compresor [A]	Carga nominal	13.1
	Rotor bloqueado	74
Corriente ventilador	Carga nominal	1.5
Diámetro ventilador [Pulgadas]		22
Motor ventilador	HP nominal	1/4
	Nominal RPM	850
	Nominal CFM	3200

Tabla K.4. Características técnicas Unidad refrigerante [1].

			
Potencia de alimentación		V/Ph/Hz	208-230/1/60
Refrigeración	Capacidad	Btu/h	18000
	Entrada	KW	1.56
	Corriente nominal	A	6.8
Calefacción	Capacidad	Btu/h	-
	Entrada	KW	-
	Corriente nominal	A	-
Max. Consumo de entrada		KW	1.89
Max. Corriente		A	9.2
Corriente de arranque		A	32.6
Compresor	Tipo		Rotatorio
	Entrada	KW	1.51
	Corriente nominal (RLA)	A	6.65
	Corriente rotor bloqueado (LRA)	A	32.6
Ventilador	Entrada	KW	0.055
	Corriente	A	0.25
	Capacitor	μF	3
	Velocidad (HI/Me/Lo)	r/min	1270/1100/960

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Licitación del proceso de modernización del edificio de ingeniería eléctrica. Consultado: Junio 14 de 2012, Disponible en la web <URL: https://www.uis.edu.co/procesos_contratacion/contratacion/detalleProceso.jsp >