

**ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA A
PARTIR DEL USO DE LA HERRAMIENTA DESIGNBUILDER: CALIBRACIÓN Y
SIMULACIONES**

CARLOS MARIO CAICEDO PÉREZ

ALEJANDRO MARCELO TORRES VERBEL

SAÚL SÁNCHEZ MANTILLA



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS

**ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES**

BUCARAMANGA

2015

**ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA A
PARTIR DEL USO DE LA HERRAMIENTA DESIGNBUILDER: CALIBRACIÓN Y
SIMULACIONES**

**CARLOS MARIO CAICEDO PÉREZ
ALEJANDRO MARCELO TORRES VERBEL
SAÚL SÁNCHEZ MANTILLA**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
Ingeniero Electricista**

DIRECTOR

**Germán Alfonso Osma Pinto
Magíster en Ingeniería Eléctrica**

CODIRECTOR

**Gabriel Ordóñez Plata
Doctor en Ingeniería Eléctrica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2015

Dedicatoria

Principalmente dedico este proyecto de grado a Dios por ayudarme y estar siempre conmigo en todas las etapas de mi vida.

A mi madre Doris, mi padre Luis, mi hermano Diego y mis hermanas Luisa y Nacirlys; 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.

Carlos Mario Caicedo Pérez

Ante todo quiero dedicar este proyecto de grado a Dios por llenarme de sabiduría y acompañarme en todas las etapas que se llevaron a cabo en esta investigación y por cuidar de mí en todo momento de mi vida.

A mi madre Amanda, mis abuelos Eladio y Ángela, mi hermano Andrés y mi novia Melisa; por su apoyo incondicional y sus buenos consejos en los momentos buenos y malos.

Alejandro Marcelo Torres Verbel

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.

Agradecemos a nuestro director, MSc. Germán Osma Pinto, por su importante apoyo, colaboración, en el desarrollo de este trabajo de grado.

También agradecemos a nuestro Co-director, PhD. Gabriel Ordóñez Plata, por sus conocimientos aportados a la realización de este proyecto.

Al igual que al Ing. Jorge Luis Cárdenas por su acompañamiento constante y su apoyo en momentos claves durante la elaboración y culminación de este trabajo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	23
1. OBJETIVOS	25
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	25
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	25
2. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO.....	26
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	30
4. GENERALIDADES DEL SOFTWARE	33
4.1 APLICABILIDAD DE DESIGNBUILDER EN LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICACIONES.....	34
5. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	37
6. ÁREAS CRÍTICAS Y MONITORIZACIÓN DE VARIABLES	38
6.1 DEFINICIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS.....	38
6.2 VARIABLES DE MEDICIÓN	46
6.3 EQUIPOS DE MONITORIZACIÓN DE VARIABLES.....	48

6.4	PLAN DE MEDICIÓN	49
7.	CALIBRACIÓN Y SINTONIZACIÓN DEL MODELO VIRTUAL.....	52
7.1	CONFIGURACIÓN Y AJUSTE DEL MODELO VIRTUAL	52
7.2	CALIBRACIÓN DEL MODELO VIRTUAL	58
7.3	FASES DEL PROCESO DE SINTONIZACIÓN.....	59
8.	SIMULACIONES Y RESULTADOS	60
8.1	PLAN DE SIMULACIONES	60
8.2	PARÁMETROS Y CONFIGURACIONES DE SIMULACIÓN.....	62
8.3	RESULTADOS Y ANÁLISIS	63
8.3.1	Proceso de sintonización del modelo virtual.....	64
8.3.2	Simulaciones con el modelo sintonización	74
9.	GRAFICAS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS IN SITU	88
10.	SIMULACIONES DEL MODELO REALIZADAS EN DESIGNBUILDER	104
10.1	SIMULACIONES CON DAYLIGHTING	120
10.2	SIMULACIONES ENERGETICAS.....	140
11.	OBSERVACIONES	160

12.	CONCLUSIONES	162
13.	RECOMENDACIONES	164
	CITAS.....	165
	BIBLIOGRAFIA.....	171
	ANEXOS.....	173

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fachada sur del edificio de Ingeniería Eléctrica.	27
Figura 2. Fachada norte del edificio de Ingeniería Eléctrica.	28
Figura 3. Fachada oeste y este del edificio de Ingeniería Eléctrica.	28
Figura 4. Sicrómetro Digital RH305 (kit) de Extech	48
Figura 5. Termo-Anemómetro PCM/MCM Modelo AN100 de Extech.....	48
Figura 6. Luxómetro AMPROBE Ref. LM120.....	49
Figura 7. Promedio de la temperatura del aire en la sala de estudio grupal del edificio de la E3T.....	65
Figura 8. Promedio de la humedad relativa en la sala de estudio grupal del edificio de la E3T.....	65
Figura 9. Simulación tipo para la temperatura del aire y humedad relativa en la sala grupal.	66
Figura 10. Contraste entre los datos simulados con el modelo sintonizado y los datos medidos para la temperatura del aire.....	67
Figura 11. Contraste entre los datos simulados con el modelo sintonizado y los datos medidos para la humedad relativa.	69
Figura 12. Medición del promedio de la velocidad del viento en sala grupal.	70
Figura 13. Simulación tipo de velocidad del aire de la sala grupal.	71
Figura 14. Niveles de iluminación medidos para la sala grupal.....	75
Figura 15. Simulación tipo de los niveles de iluminación natural de la sala grupal.	76
Figura 16. Consolidado anual del consumo de energía por piso y total del edificio de Ingeniería Eléctrica (datos medidos).....	83

Figura 17. Consolidado anual del consumo de energía total del Edificio de Ingeniería Eléctrica (datos simulados).....	83
Figuras 18. Mediciones para el día (1) del quinto piso, zona de proyectos y servicios.	88
Figuras 19. Mediciones para el día (1) del quinto piso, zona sala de pregrado.	90
Figuras 20. Mediciones para el día (1) del quinto piso, zona de archivos.....	91
Figuras 21. Mediciones para el día (1) del quinto piso, zona sala de estar.	92
Figuras 22. Mediciones para el día (1) del quinto piso, zona sala de reuniones.....	94
Figuras 23. Mediciones para el día (1) del quinto piso, zona ante sala dirección.	95
Figuras 24. Mediciones para el día (1) del cuarto piso, zona aula 402.....	96
Figuras 25. Mediciones para el día (1) del cuarto piso, zona aula 404.....	98
Figuras 26. Mediciones para el día (1) del cuarto piso, zona aula 406.....	99
Figuras 27. Mediciones para el día (1) del primer piso, zona sala grupal.	100
Figuras 28. Mediciones para el día (1) del primer piso, zona sala individual.	102
Figuras 29. Consolidado del consumo anual por piso en kWh.	103
Figura 30. Mapa de distribución de iluminancias en el quinto piso, para el corredor de coordinación de pregrado.	104
Figura 31. Mapa de distribución de iluminancias en el quinto piso, para las oficinas tipo modulares.....	105
Figura 32. Mapa de distribución de iluminancias en el cuarto piso, para el aula 402....	105
Figura 33. Mapa de distribución de iluminancias en el cuarto piso, para el aula 404.	106
Figura 34. Mapa de distribución de iluminancias en el cuarto piso, para el aula 406.	106
Figura 35. Mapa de distribución de iluminancias en el primer piso, para la sala grupal..	107

Figura 36. Mapa de distribución de iluminancias en el primer piso, para la sala individual.	107
Figura 37. Temperatura del aire, y humedad relativa en el quinto piso, para el corredor de coordinación de pregrado.	108
Figura 38. Temperatura del aire, y humedad relativa en el quinto piso, para las oficinas tipo modulares.	109
Figura 39. Temperatura del aire, y humedad relativa en el quinto piso, para la sala de reuniones.....	109
Figura 40. Temperatura del aire, y humedad relativa en el cuarto piso, para el aula 402.	110
Figura 41. Temperatura del aire, y humedad relativa en el cuarto piso, para el aula 404.	110
Figura 42. Temperatura del aire, y humedad relativa en el cuarto piso, para el aula 406.	111
Figura 43. Temperatura del aire, y humedad relativa en el primer piso, para la sala grupal.	111
Figura 44. Temperatura del aire, y humedad relativa en el primer piso, para la sala individual.....	112
Figura 45. Comportamiento de la velocidad del viento en el quinto piso, para el corredor de coordinación de pregrado.	113
Figura 46. Comportamiento de la velocidad del viento en el quinto piso, para la zona de archivos.	113
Figura 47. Comportamiento de la velocidad del viento en el quinto piso, para proyectos y servicios.....	114
Figura 48. Comportamiento de la velocidad del viento en el quinto piso, para la sala de estar.	114
Figura 49. Comportamiento de la velocidad del viento en el quinto piso, para la sala de reuniones.....	115

Figura 50. Comportamiento de la velocidad del viento en el quinto piso, para la ante sala de dirección.	115
Figura 51. Comportamiento de la velocidad del viento en el cuarto piso, para el aula 402.	116
Figura 52. Comportamiento de la velocidad del viento en el cuarto piso, para el aula 404.	116
Figura 53. Comportamiento de la velocidad del viento en el cuarto piso, para el aula 406.	117
Figura 54. Comportamiento de la velocidad del viento en el primer piso, para la sala grupal.	118
Figura 55. Comportamiento de la velocidad del viento en el primer piso, para la sala individual.....	118
Figura 56. Consumo total anual en kWh, en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.	119
Figura 57. Aula 402 con tubo solar activado día promedio nublado.	120
Figura 58. Aula 402 con tubo solar desactivado día promedio nublado.	121
Figura 59. Aula 401 con tubo solar activado día promedio nublado	121
Figura 60. Aula 401 con tubo solar desactivado día promedio nublado	122
Figura 61. Aula 402 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 6:00	122
Figura 62. Aula 401 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 6:00	123
Figura 63. Aula 402 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 6:00	123
Figura 64. Aula 401 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 6:00	124
Figura 65. Aula 402 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 7:00	124
Figura 66. Aula 401 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 7:00	125
Figura 67. Aula 402 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 7:00	125

Figura 68. Aula 401 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 7:00	126
Figura 69. Aula 402 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 8:00	126
Figura 70. Aula 401 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 8:00	127
Figura 71. Aula 402 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 8:00	127
Figura 72. Aula 401 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 8:00	128
Figura 73. Aula 402 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 10:00	128
Figura 74. Aula 401 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 10:00	129
Figura 75. Aula 402 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 10:00	129
Figura 76. Aula 401 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 10:00	130
Figura 77. Aula 402 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 12:00	130
Figura 78. Aula 401 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 12:00	131
Figura 79. Aula 402 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 12:00	131
Figura 80. Aula 401 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 12:00	132
Figura 81. Aula 402 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 14:00	132
Figura 82. Aula 401 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 14:00	133
Figura 83. Aula 402 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 14:00	133
Figura 84. Aula 401 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 14:00	134
Figura 85. Aula 402 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 16:00	134
Figura 86. Aula 401 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 16:00	135
Figura 87. Aula 402 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 16:00	135

Figura 88. Aula 401 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 16:00	136
Figura 89. Aula 402 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 17:00	136
Figura 90. Aula 401 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 17:00	137
Figura 91. Aula 402 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 17:00	137
Figura 92. Aula 401 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 17:00	138
Figura 93. Aula 402 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 18:00	138
Figura 94. Aula 401 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 18:00	139
Figura 95. Aula 402 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 18:00	139
Figura 96. Aula 401 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 18:00	140
Figura 97. Temperatura y ganancias térmicas del aula 402 sin techo verde (anual).	141
Figura 98. Temperatura y ganancias térmicas del aula 402 con techo verde (anual).	141
Figura 99. Temperatura y ganancias térmicas del aula 402 sin techo verde (mensual).	143
Figura 100. Temperatura y ganancias térmicas del aula 402 con techo verde (mensual).	144
Figura 101. Temperatura y ganancias térmicas del aula 402 sin techo verde (diaria). ...	146
Figura 102. Temperatura y ganancias térmicas del aula 402 con techo verde (diaria). ...	146
Figura 103. Temperatura y ganancias térmicas de las oficinas tipo modulares sin techo verde (anual).	149
Figura 104. Temperatura y ganancias térmicas de las oficinas tipo modulares con techo verde (anual).	149
Figura 105. Temperatura y ganancias térmicas de las oficinas tipo modulares sin techo verde (mensual).	150

Figura 106. Temperatura y ganancias térmicas de las oficinas tipo modulares con techo verde (mensual).....	151
Figura 107. Temperatura y ganancias térmicas de las oficinas tipo modulares sin techo verde (diario).	152
Figura 108. Temperatura y ganancias térmicas de las oficinas tipo modulares con techo verde (diario).	152
Figura 109. Temperatura y consumos energéticos para el aula 401, sin techo verde (anual).	154
Figura 110. Temperatura y consumos energéticos para el aula 401, con techo verde (anual)	154
Figura 111. Temperatura y consumos energéticos para el aula 401, sin techo verde (mensual).....	156
Figura 112. Temperatura y consumos energéticos para el aula 401, con techo verde (mensual).....	156
Figura 113. Temperatura y consumos energéticos para el aula 401, sin techo verde (diario).	158
Figura 114. Temperatura y consumos energéticos para el aula 401, con techo verde (diario).	158

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Trabajos previos en la UIS y en Bucaramanga con DesignBuilder.	29
Tabla 2. Metodología de análisis con DesignBuilder para una edificación.	30
Tabla 3. Módulos del software DesignBuilder.	33
Tabla 4. Enfoque para análisis de resultados en las simulaciones de DesignBuilder.	36
Tabla 5. Criterios para definir áreas críticas.	39
Tabla 6. Porcentaje de ponderación para las variables de selección de áreas críticas. ...	41
Tabla 7. Valores mínimos de las variables de cada criterio para definir áreas críticas. ...	42
Tabla 8. Análisis de selección de áreas críticas en el Edificio de ingeniería Eléctrica.	43
Tabla 9. Áreas críticas del Edificio de Ingeniería Eléctrica.	45
Tabla 10. Características de las variables de medición.	47
Tabla 11. Equipos de medición utilizados para la monitorización de variables.	48
Tabla 12. Plan de medición para el Edificio de Ingeniería Eléctrica.	50
Tabla 13. Modificaciones internas y externas del Edificio de Ingeniería Eléctrica.	53
Tabla 14. Configuración de las opciones del modelo para el modelo real.	54
Tabla 15. Información necesaria para la recopilación de datos.	58
Tabla 16. Fases para el proceso de sintonización del modelo virtual.	59
Tabla 17. Clasificación de las simulaciones energéticas realizadas en DesignBuilder.	61
Tabla 18. Lista y tipo de simulaciones realizadas.	61

Tabla 19. Simulaciones y análisis de los niveles de iluminación.	62
Tabla 20. Parámetros y configuraciones de simulación.	62
Tabla 21. Espacios del edificio de Ingeniería Eléctricasimulados para el proceso de sintonización del modelo geométrico.	64
Tabla 22. Variables de salida de confort mediante DesignBuilder.....	72
Tabla 23. Criterios configurados al modelo para la simulación mediante Daylight.	74
Tabla 24. Criterios principales aplicables al ambiente visual para el análisis del confort. .	77
Tabla 25. Iluminancias promedio para un día promedio con cielo parcialmente nublado. .	79
Tabla 26. Iluminancias promedio para el día con mayor radiancia del año para un cielo parcialmente nublado.....	80
Tabla 27. Criterios configurados al modelo para simular el consumo de potencia anual. .	82
Tabla 28. Ganancias térmicas en (kWh) del aula 402, y la diferencia con y sin techo verde.	85
Tabla 29. Diferencia entre el acristalamiento y las otras ganancias térmicas para el aula 402.	86
Tabla 30. Ganancias térmicas anuales en (kWh) de las oficinas tipo modulares.	86
Tabla 31. Consumos y ganancia energética promedio anual del aula 401.....	87
Tabla 32. Ganancias térmicas en (kWh) del aula 402, y la diferencia con y sin techo verde.	142
Tabla 33. Diferencia anual en (%) entre el acristalamiento y las otras ganancias térmica.	142
Tabla 34. Ganancia promedio mensual en (kWh) del aula 402, con y sin techo verde...	144
Tabla 35. Diferencia mensual en (%) entre el acristalamiento y las otras ganancias térmica.....	145

Tabla 36. Ganancia promedio diario por mes en (kWh) del aula 402, con y sin techo verde.	147
Tabla 37. Diferencia diaria en (%) entre el acristalamiento y las otras ganancias térmica. 40	148
Tabla 38. Ganancias térmicas anuales en (kWh) de las oficinas tipo modulares.	150
Tabla 39. Ganancias térmicas mensuales en (kWh) de las oficinas tipo modulares.....	151
Tabla 40. Ganancias térmicas mensuales en (kWh) de las oficinas tipo modulares.....	153
Tabla 41. Consumos y ganancia energética promedio anual del aula 401.....	155
Tabla 42. Consumos y ganancia energética promedio mensual del aula 401.	157
Tabla 43. Consumos y ganancia energética promedio diario del aula 401.....	159

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Materiales y especificaciones constructivas.....	174
Anexo B. Descripción del software DesignBuilder.....	185
Anexo C. Mediciones realizadas en sitio.....	190
Anexo D. Puntos de medición en las áreas críticas	252

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA A PARTIR DEL USO DE LA HERRAMIENTA DESIGNBUILDER: CALIBRACIÓN Y SIMULACIONES*.

AUTORES: CARLOS MARIO CAICEDO PÉREZ
ALEJANDRO MARCELO TORRES VERBEL
SAÚL SÁNCHEZ MANTILLA**

PALABRAS CLAVE: Simulación energética, calibración, sintonización, DesignBuilder, comportamiento energético, edificación tropical.

DESCRIPCIÓN:

Partiendo del modelo virtual en DesignBuilder del Edificio de la Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industria de Santander elaborado previamente en un trabajo de grado, se realizó la calibración y la sintonización de dicho modelo, así como un análisis energético con base en simulaciones.

Se inició con la definición de las áreas críticas del edificio, determinadas según las cargas existentes, horario de ocupación, ubicación e incidencia solar sobre ellas; razones por las cuales tienen un mayor impacto energético y deben ser monitoreadas.

Posteriormente, se recopiló datos a partir de la inspección de la edificación y documentación (planos arquitectónicos y especificaciones técnicas), con lo cual se mejoró el modelo tridimensional existente de la edificación en el software DesignBuilder.

Para la validación del modelado se llevaron a cabo mediciones en el interior del edificio de variables tales como: Temperatura del aire, humedad relativa del aire, velocidad del aire y diversos datos meteorológicos. Con base en una metodología de sintonización establecida, se identificaron los ajustes requeridos según los resultados comparados entre las mediciones y las simulaciones.

Generado y calibrado el modelo virtual del Edificio de Ingeniería Eléctrica, se procedió a definir las simulaciones energéticas requeridas para llevar a cabo el análisis del comportamiento energético de la edificación.

El edificio presenta un consumo global anual medido de 48200,50 kWh. Este resultado respecto al consumo energético anual de la edificación muestra una diferencia con lo simulado del orden de 0,87%; en cuanto a los niveles óptimos de confort visual se encuentran cubiertos al 100% en todos los espacios, y en general la discrepancia de los datos comparados no supera el 5%.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director del proyecto MSc. German Alfonso Osma Pinto. Codirector PhD. Gabriel Ordóñez Plata.

ABSTRACT

TITLE: ENERGY ANALYSIS OF ELECTRICAL ENGINEERING BUILDING FROM THE USE OF THE TOOL DESIGNBUILDER: CALIBRATION AND SIMULATIONS*

AUTHORS: CARLOS MARIO CAICEDO PÉREZ; ALEJANDRO MARCELO TORRES VERBEL y SAÚL SÁNCHEZ MANTILLA**

KEY WORDS: Energy simulation, calibration, tuning, DesignBuilder, energy performance, tropical building.

DESCRIPTION:

From the virtual model in DesignBuilder the Building of Electrical Engineering of the Universidad Industrial de Santander previously developed in a thesis, calibration and tuning of the model was performed, as well as an energy analysis based on simulations.

It began with the definition of critical areas of the building, determined according to the existing loads, hours of occupancy, location and solar impact on them; reasons has a higher energy impact and must be monitored

Subsequently, data were collected from inspection of the building and existing documentation (architectural drawings and technical specifications), whereby the existing three-dimensional model of the building in the DesignBuilder software was improved.

To validate the modeling measurements were carried out inside the building, such as air temperature, relative humidity, air velocity and various meteorological data.

Generated and calibrated the virtual model of the building of Electrical Engineering, proceeded to define the energy simulations required to perform the analysis of the energy performance of the building. Based on an established methodology tuning, the required settings according to the results compared between measurements and simulations were identified.

The building has a total annual consumption measured 48.200,50 kWh. This results from the annual energy consumption of edification shows a difference with simulated the order of 0.87%; regarding the optimal levels of visual comfort are covered at 100% in all areas, and overall discrepancy comparative data does not exceed 5%.

* Degree Work

** Department of Physical – Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and of Telecommunications Engineering. Director MSc. German Alfonso Osma Pinto Codirector PhD. Gabriel Ordóñez Plata.

INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento de la población, la creciente demanda de servicios y materia prima para la construcción y los niveles de confort, ligado al aumento en el tiempo dedicado dentro de los edificios, aseguran una tendencia futura al alza en la demanda de energía, generando preocupación y dificultades de abastecimiento. Esto es aún más alarmante cuando la contribución total de los edificios en el consumo de energía, tanto residencial como comercial, ha aumentado constantemente llegando a cifras entre el 20 % y el 40 % en los países desarrollados. Por esta razón, la eficiencia energética de los edificios es hoy un objetivo primordial de la política energética a nivel regional, nacional e internacional [1].

Con el fin de frenar la tendencia en la demanda energética y lograr reducir la energía utilizada asociada a los edificios, es importante entender cómo es el consumo energético en un edificio, y cómo los parámetros de construcción influyen en la demanda energética.

Para este análisis energético se requiere considerar modelos físico-matemáticos eficaces que caractericen las interacciones entre el edificio, los sistemas de climatización y su entorno [2]. Dado el comportamiento dinámico de las condiciones climáticas y la operación de un edificio, y la presencia de múltiples variables, se hace necesaria la utilización de herramientas computacionales para el diseño, el análisis y la operación de edificios.

DesignBuilder se presenta como una solución práctica para cuantificar los desempeños relacionados con los niveles de confort y los consumos de energía; esto lo convierte en una herramienta para la práctica de la arquitectura sostenible. Es una herramienta computacional especializada en el análisis ambiental y energético de edificios, por ello ofrece potentes sistemas de administración de datos y de modelado, junto con la integración de módulos de análisis [3].

Tomando la aplicación DesignBuilder como una herramienta que cumple con las características básicas para el análisis energético, y que se ajusta a los estudios a realizar en el edificio; la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones busca a través de este proyecto identificar las variables más importantes que contribuyan al desconfort térmico y visual, al igual que las causas

que generen el consumo innecesario de energía eléctrica. Todo esto con el fin de definir soluciones para un óptimo y adecuado funcionamiento en edificaciones.

Después de saber la importancia y el porqué de este proyecto, se establece que el principal propósito de este estudio está en calibrar y sintonizar el modelo virtual del Edificio de Ingeniería Eléctrica. Para lograr esto, se parte de la identificación de las zonas críticas de la edificación, en las cuales se llevan a cabo las mediciones de las variables establecidas previamente (humedad, nivel de iluminación, velocidad del aire y consumo energético).

Mediante la recolección de los datos constructivos se alimentó el software para realizar el ajuste del modelo del edificio a las condiciones actuales de operación. Luego, se efectuaron simulaciones que se compararon con mediciones. Posteriormente, se obtuvieron simulaciones del consumo de energía y de los niveles de iluminación para obtener un análisis energético del edificio.

En el edificio de la escuela de ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, a partir de variables cualitativas (áreas, horarios de ocupación, capacidad y número de personas, ubicación espacial y geométrica, etc.) se identifican las zonas críticas, en el interior del edificio, zonas de mayor influencia en el consumo de energía, con el fin de realizar mediciones posteriores.

También se toman medidas de las variables iluminación, temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del aire y consumo de energía eléctrica, consideradas pertinentes para la calibración y ajuste del modelo virtual del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Seguidamente se calibra y ajusta el modelo virtual del Edificio de Ingeniería Eléctrica a las condiciones reales de uso del edificio, con el fin de desarrollar un modelo que sirva de referencia para el análisis y que permita determinar parámetros sobre su comportamiento energético.

Y finalmente Mediante simulaciones térmicas, de iluminación, de radiación solar y de consumo energético se determina el comportamiento energético del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis energético del Edificio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander, a partir de simulaciones en DesignBuilder.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar las zonas de mayor impacto energético que serán reconocidas como áreas críticas en el edificio, para su seguimiento y estudio posterior a través de simulaciones. Identificar las zonas de mayor impacto energético que serán reconocidas como áreas críticas en el edificio, para su seguimiento y estudio posterior a través de simulaciones.
- Realizar la monitorización de variables principales que describen el comportamiento energético del edificio Ingeniería Eléctrica, en particular en las áreas críticas establecidas.
- Ajustar el modelo virtual del Edificio de Ingeniería Eléctrica
- Realizar simulaciones sobre el comportamiento energético del Edificio de Ingeniería Eléctrica con base en modelo virtual ajustado para diversos escenarios de operación.

2. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El Edificio de Ingeniería Eléctrica es una construcción que se encuentra ubicada en el campus principal de la UIS en la ciudad de Bucaramanga, exactamente en la Latitud 7° 8' 0" N Longitud 73° 8' 0" W (7° 8' 0" N, 73° 8' 0" W). La estructura está a 960 msnm y situada en una zona de clima tropical. Este edificio está conformado por cinco (5) pisos, el sótano y la terraza, para un área total en infraestructura de 3254 m² [4].

De la información brindada por los planos de construcción de la edificación se sabe que:

- El sótano está distribuido por divisiones que conforman el área; esta zona están dadas por dos baños, cafetería, sala de reuniones, área de casilleros, sala de reuniones, sala de estar y puestos de trabajo. Otras dos divisiones por zona del sótano son las asignadas para el área del generador del edificio y para la ubicación del transformador.
- El primer piso está conformado por: El Centro de Estudios, la sala de trabajo grupal, los casilleros, el cuarto de control, el baño para mujeres, el baño para hombres, la rampa para acceso, la sala de trabajo individual, el Aula 103 y los pasillos de acceso.
- El segundo piso está conformado por seis (6) aulas de clase de la (2) hasta la (7), casilleros, cuarto de control, cuarto de aseo, baño para mujeres, baño para hombres, y pasillos de acceso.
- El tercer piso está conformado por cuatro (4) aulas de clases, la oficina del IEEE, casilleros, cuarto de control, cuarto de aseo, baño para mujeres, baño para hombres, pasillos de acceso.
- El cuarto piso está conformado por cuatro (4) aulas tipo auditorio, un (1) aula de reuniones, dos baños, casilleros, cuarto de control, cuarto de aseo, y pasillos de acceso.
- Para el quinto piso se tiene ya una distribución diferente de las zonas en comparación de los otros pisos, ya que es el piso administrativo de la edificación. Está conformado por la dirección de la escuela, las coordinaciones de pregrado y posgrado, cuarto técnico, archivo,

secretariados, asistente y auxiliar de posgrados, coordinación de proyectos, coordinación de posgrados, coordinación de especializaciones, sala de reuniones, sala de estar, oficinas de calidad, cuarto de CCTV, oficina de dirección, asistente de dirección, cafetería, dos baños, cuarto de aseo, cocina, pasillos, y sala de espera de pregrados.

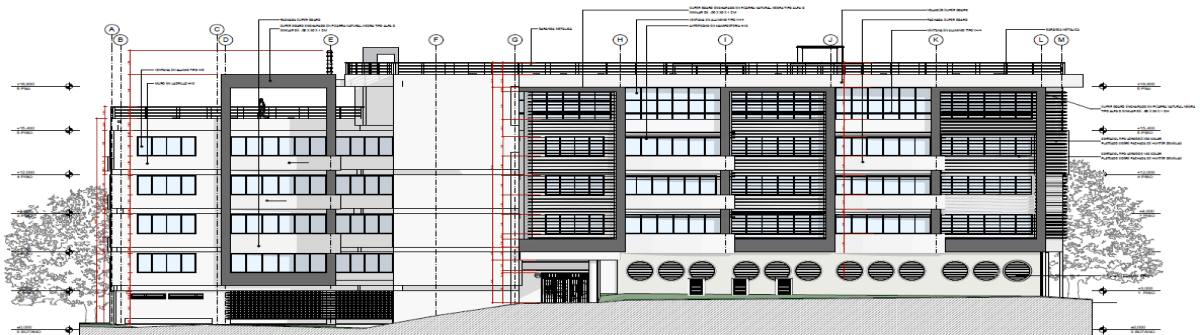
- Además de la distribución anterior en el quinto (5) piso, se encuentra un techo verde con nueve (9) tubos solares captadores de luz para iluminación natural en dos aulas del cuarto (4) piso.
- La terraza ubicada sobre el quinto (5) piso, tiene un techo verde y (14) tubos solares captadores de luz para iluminación natural en algunas zonas del área administrativa del quinto (5) piso. Sobre esta terraza están ubicadas las unidades condensadoras de los aires acondicionados.

Esta edificación solo cuenta con aire acondicionado para el cuarto (4) piso en las cuatro aulas tipo auditorio y para el quinto piso en algunas de las oficinas, como la oficina de dirección.

Algunas zonas en diferentes pisos tienen instalados extractores helicoidales, como por ejemplo la sala de reunión grupal.

En la Figura 1 se muestran las fachadas sur, norte, este y oeste del Edificio de Ingeniería Eléctrica, donde se pueden observar los detalles constructivos y diferentes niveles del mismo.

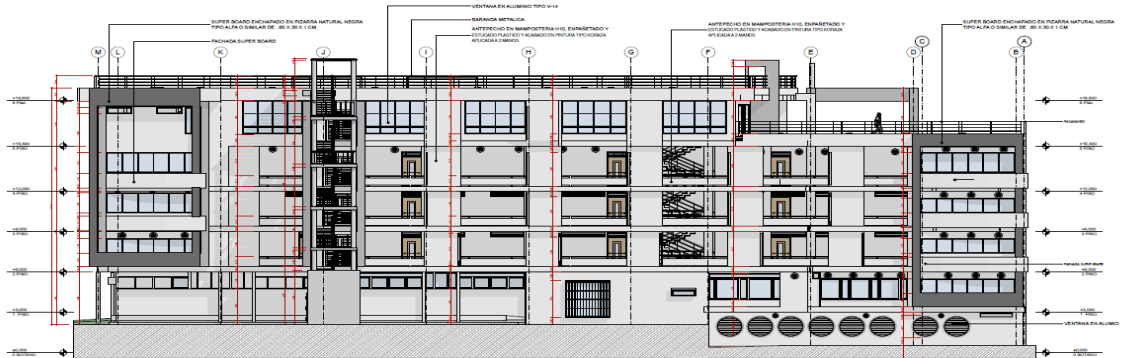
Figura 1. Fachada sur del edificio de Ingeniería Eléctrica.



Fuente: Universidad Industrial de Santander - UIS. Tomado de <http://www.uis.edu.co>.

Consultada: 12 de marzo de 2014

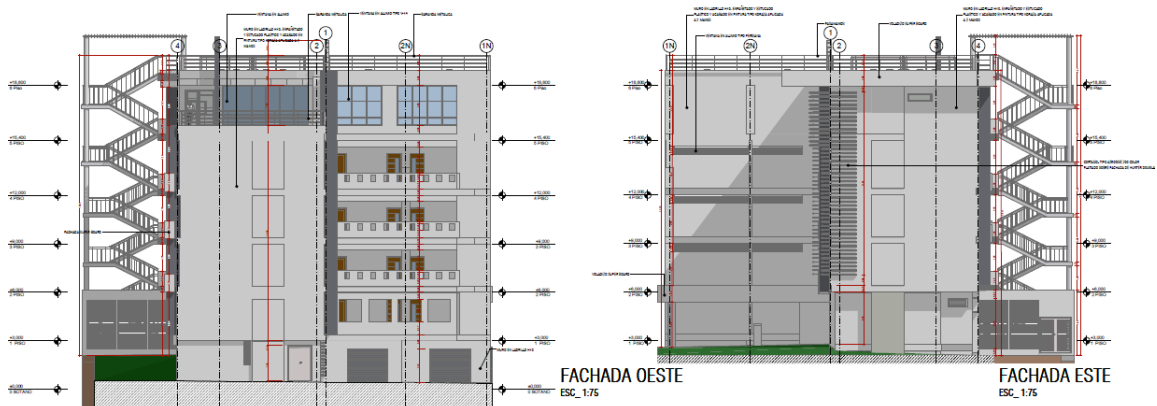
Figura 2. Fachada norte del edificio de Ingeniería Eléctrica.



Fuente: Universidad Industrial de Santander - UIS. Tomado de <http://www.uis.edu.co>.

Consultada: 12 de marzo de 2014

Figura 3. Fachada oeste y este del edificio de Ingeniería Eléctrica.



Fuente: Universidad Industrial de Santander - UIS. Tomado de <http://www.uis.edu.co>.

Consultada: 12 de marzo de 2014

El desarrollo de la investigación mediante herramientas de simulación energéticas enfocado a edificaciones, permite tener una idea del comportamiento de estas, mediante estudios que brindan información sobre el desempeño energético de las mismas, y además de las condiciones de confort existentes al interior de ellas, con el fin de evaluar características que permitan establecer el comportamiento real de la edificación acorde a su operación. A continuación, en la Tabla 1, se describen trabajos previos llevados a cabo en la Universidad Industrial de Santander y en Bucaramanga con la herramienta DesignBuilder.

Tabla 1. Trabajos previos en la UIS y en Bucaramanga con DesignBuilder.

TITULO DE LA INVESTIGACION	DESTACADOS
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.	En esta investigación se evalúan las estrategias implementadas en una edificación desde el punto de vista del confort ter mico y visual [1].
Influencia de parámetros de diseño de aplicaciones sostenibles sobre el consumo energético en las instalaciones del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica a partir de simulaciones con DesignBuilder.	Los resultados muestran que los consumos energéticos asociados al modelo base y al modelo real se presenta una reducción del 73% del consumo del modelo real con respecto al modelo base [33].
Aplicabilidad de tecnologías en iluminación natural para una vivienda de interés social tipo.	Se observa que las tecnologías de iluminación natural muestran una reducción del 20.1% [2].
Descripción del comportamiento energético de una vivienda de interés social a partir de la simulación con DesignBuilder.	El análisis realizado muestra que la evaluación de la vivienda proporciona condiciones térmicas aceptables para una óptima ocupación [7].

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El proyecto macro de investigación está conformado por tres fases, (Fase I: creación del modelo virtual de la edificación; Fase II: Calibración del modelo virtual; Fase III: Simulación y resultados). La fase I se concluyó en un trabajo de grado previo (*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. Año 2012*).

En cuanto a las fases II y III del proyecto macro, éstas se abordan en este trabajo de grado. En la fase II se vuelve a crear el modelo virtual ajustándolo mediante la definición de áreas críticas, la monitorización de variables, la calibración y sintonización del modelo geométrico. Para la fase III se llevan a cabo un plan de todas las simulaciones a realizar tanto en el modelo calibrado como para el modelo sintonizado mediante el software DesignBuilder; el propósito es presentar aquellas simulaciones que se ejecutaran tanto de confort térmico como de confort visual.

En la Tabla 2 se describe la metodología utilizada en la realización del análisis energético del Edificio de Ingeniería Eléctrica a partir del uso software DesignBuilder.

Tabla 2. Metodología de análisis con DesignBuilder para una edificación.

ETAPAS	DESCRIPCIÓN
Etapa 1: Definición de áreas críticas.	Se seleccionan aquellas áreas que, por su mayor impacto energético, características y condiciones particulares, deben ser monitorizadas a través de la medición de variables; con el objetivo de poder tener un modelo calibrado, al cual se le hace un enfoque puntual y completo en dichas áreas, para observar el comportamiento cercano a la realidad de la edificación, donde se establece en qué nivel de confortabilidad visual y térmica se encuentra este.
Etapa 2: Medición de variables.	Se realiza un análisis del edificio por medio de mediciones en sitio para conocer su funcionamiento y su eficacia en proporcionar confort a los usuarios del Edificio de Ingeniería Eléctrica. En esta etapa se hacen mediciones en el interior del edificio de temperatura,

	<p>humedad relativa del aire, velocidad del aire, niveles de iluminación y datos meteorológicos. En el entorno del edificio fue medida también la velocidad del aire exterior.</p>
<p>Etapa 3: Recopilación de datos.</p>	<p>Para crear el BIM, por sus siglas en inglés, (Building Information Modeling) es necesario contar con información detallada de la edificación real.</p> <p>En esta etapa se recopilan y se extraen los datos descritos, a partir de visitas a la edificación, mediciones, documentación existente, como por ejemplo planos arquitectónicos y especificaciones técnicas.</p>
<p>Etapa 4: Creación del modelo tridimensional de la edificación.</p>	<p>Tomando como base el modelo virtual creado en el proyecto de grado anterior [4], y teniendo en cuenta la información recopilada en la etapa 3, se realizan modificaciones geométricas y arquitectónicas ajustándolo a la edificación actual.</p> <p>La información sobre la estructura tridimensional de la edificación se obtuvo a partir de planos arquitectónicos y otros documentos en los que se especifican detalles de su diseño.</p>
<p>Etapa 5: Asignación de materiales constructivos.</p>	<p>La asignación de materiales se realiza durante el proceso de modelado del edificio, para ello DesignBuilder cuenta con una base de materiales[3]. Los materiales se seleccionan teniendo en cuenta sus características intrínsecas, el software tiene como cualidad la creación de plantillas, las cuales agilizan el proceso de asignación de dichos materiales.</p> <p>Posteriormente, se verifica que los materiales ingresados correspondan con las características necesarias para simular de manera aproximada el comportamiento visual y térmico real.</p>
<p>Etapa 6: Definición de condiciones de operación de las zonas térmicas.</p>	<p>Una zona térmica es una representación simplificada de cada área de una edificación, definida como un volumen cerrado de aire homogéneo que contiene la información sobre volumen, materiales y adyacencia con las demás zonas definidas [8].</p> <p>Las condiciones de operación de una zona térmica son aquellas que inciden principalmente en el confort térmico y la calidad del aire interior.</p>
<p>Etapa 7: Definición de simulaciones energéticas.</p>	<p>El software DesignBuilder presenta una gran variedad de simulaciones; a partir de un proceso de selección se eligen aquellas que permiten analizar los consumos energéticos de las edificaciones, por ejemplo las</p>

	simulaciones térmicas, de iluminación natural, y de radiación solar de ellas se obtendrán resultados del comportamiento térmico y lumínico de la edificación.
Etapa 8: Calibración del modelo virtual.	Teniendo como objetivo recrear un modelo virtual que se comporte como el edificio real, se ajustan parámetros del software, aspectos que influyen en el comportamiento energético de una edificación como lo son la fachada en que se encuentra, tiempo de uso, ocupación, uso de iluminación artificial, utilización de aire acondicionado, área del espacio interior y, si tiene, ventanas y cortasoles, dichos aspectos se introdujeron en las plantillas del software.
Etapa 9: Sintonización.	El proceso de sintonización consiste en usar un programa computacional para simulación de edificaciones para ajustar las entradas físicas al programa, con el fin de que las variables observadas y medidas en la edificación real sean cercanas a las predichas por el programa de simulación. Una vez se logró esto, se procedió hacer predicciones más confiables [9]. Los resultados de las simulaciones preliminares obtenidas sirven como base para predecir las variables a considerar en la fase calibración del BIM.
Etapa 10: Simulaciones de sistemas de climatización (HVAC), radiación solar e iluminación natural.	Dentro de las simulaciones realizadas por la herramienta software, se seleccionan aquellas con un potencial de incidencia en el comportamiento térmico y lumínico de una edificación y por tanto, en el consumo energético de la misma. Éstas son: Simulación de Iluminación natural Simulación del consumo de energía Simulación de sistemas HVAC
Etapa 11: Resultados y recomendaciones en futuros proyectos.	Una vez organizados los resultados a partir de gráficos y tablas, se extrae la información sobre el comportamiento del edificio, de acuerdo a cada una de las variables analizadas. Se precisan conclusiones que permiten hacer un análisis energético del edificio bajo estudio.

4. GENERALIDADES DEL SOFTWARE

DesignBuilder es un software de diseño para el análisis energético de edificios, con una interfaz intuitiva y de gran visual con modelado en tercera dimensión que integra múltiples módulos de análisis, convirtiéndose en una herramienta avanzada y de gran potencia que permite evaluar parámetros de desempeño relacionados con los niveles de confort y consumo de energía [3].

El software utilizado integra diferentes módulos (Visualización, EnergyPlus, CFD, Iluminación Natural y HVAC) para el cálculo energético y ambiental de los edificios. A pesar de esta diferenciación en módulos, el entorno del programa es común, y las entradas de datos se comparten entre las diferentes herramientas de cálculo evitando duplicidades en el modelado[10]. La Tabla 3 lista los módulos que conforman este software.

Tabla 3. Módulos del software DesignBuilder.

MÓDULOS	CARACTERÍSTICAS
Modelado del edificio	El modelado implementado por el software tiene dos elementos transversales de gran interés e importancia práctica: las bibliotecas de componentes y de plantillas.
Visualización	El módulo de visualización en DesignBuilder tiene dos propósitos. Uno es ofrecer una representación visual atractiva del modelo geométrico del edificio mediante un renderizado realista y vistoso. El segundo propósito es realizar visualizaciones del efecto de los elementos de sombreado en distintos instantes del año.
Simulación energética	La simulación energética es el núcleo principal del programa y se basa en el motor de simulación EnergyPlus.
iluminación natural	DesignBuilder aprovecha la definición geométrica de un edificio, junto con las características superficiales de los cerramientos ya definidas, para alimentar al motor de simulación de iluminación natural Radiance.
CFD	El módulo de CFD, por sus siglas (Dinámica de Fluidos Computacional), de DesignBuilder es un módulo que aprovecha la geometría del modelo para realizar simulaciones de flujos de aire y calor, tanto en el exterior como en el interior de los edificios.

Para mayor información sobre el software se recomienda leer el Anexo B (DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DESIGNBUILDER), donde se describen las principales características del software junto con su descripción.

4.1 APLICABILIDAD DE DESIGNBUILDER EN LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICACIONES

Estudios sobre análisis energéticos se han realizado en diferentes escenarios de edificaciones alrededor del mundo, a través del uso de la herramienta DesignBuilder, con la que se obtiene calibraciones, y simulaciones de modelos que representan el comportamiento real de edificaciones que se encuentren en estudio. Este tipo de análisis presentan algunas diferencias significativas entre los datos medidos en una edificación real y los obtenidos a partir de las simulaciones del modelo representativo del edificio [11].

Para mitigar de forma aceptable las diferencias que se puedan presentar en una edificación; se recurre a la calibración. La calibración en un modelo se logra cuando se toma como referencia los valores de construcción y datos que conforman una edificación, y este es alimentado con esa información. Esto se hace con el fin de poder lograr un modelo óptimo que se acerque en lo más posible a la edificación real. Tal modelo ya calibrado se utiliza para estipular las variables con mayor influencia al momento de establecer medidas de preservación en ahorro de energía[12].

Para estudios en DesignBuilder donde se realicen análisis energéticos, se pueden dar limitantes en la calibración, ocasionadas por las diferencias que se existan entre los valores calculados y medidos para un periodo de análisis establecido; por lo que se hace más interesante y complejo la calibración de modelos construidos para realizar simulaciones energéticas [13].

El enfoque del modelado presentado en cada uno de los estudios energéticos aplicados en DesignBuilder tiene como objetivo maximizar el beneficio y minimizar los efectos negativos en la creación de edificios energéticamente eficientes [14]. La orientación de estos análisis se centra primordialmente en el escenario de estudio, para el que se fija un propósito con el fin de determinar su comportamiento energético. Esto con la finalidad de optimizar las características de un modelo de desarrollo propio, que vaya acorde con el estilo de vida de las personas [15].

A través del estudio que se realice en la aplicación DesignBuilder se puede establecer, si es viable la implementación de estrategias y alternativas para el ahorro energético en edificaciones y viviendas [16]. Tal decisión se logra a través de los parámetros sistema de ventilación, tipo de ventanas instaladas, área que ocupan las paredes exteriores, y el coeficiente de pintura, los cuales se encuentran estrechamente relacionados entre sí.

La realización de las simulaciones tiene un nivel de importancia alto, ya que se obtienen resultados de confort de temperatura, confort de iluminación, pérdidas de calor, capacidad de diseño y consumo en kWh para las diferentes divisiones que conforman la edificación [30].

Los resultados que se obtienen en los cálculos para cada simulación en DesignBuilder se centran específicamente en el cálculo de eficiencia energética del sistema de fachada del edificio, cambiando sus valores de eficiencia energética pero manteniendo los demás parámetros de entrada constante en DesignBuilder para cada simulación [32].

Los análisis y simulaciones para los estudios que se realizan utilizando un modelo diseñado en la aplicación DesignBuilder, muestran resultados que se obtienen a través de una interfaz que se fundamenta en los principios de un algoritmo genético, en donde su modelado tiene que todas las divisiones al menos estén compuestas por una pared exterior, que contiene una o más ventanas[31].

Cuando se analizan los resultados del estudio obtenido en las simulaciones del diseño sostenible y verificación del rendimiento de una edificación, se realizan bajo ciertos enfoques [32]. En la Tabla 4 se muestran algunos enfoques y la forma en cómo éstos se obtienen:

Tabla 4. Enfoque para análisis de resultados en las simulaciones de DesignBuilder.

ENFOQUE	MEDIO DE OBTENCIÓN
Ganancia solar	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales exteriores • Acristalamiento • Tubos solares
Aporte de luz diurnas	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación solar

Lo anterior con la finalidad poder observar, qué tanto afecta la carga de refrigeración interior en la edificación, y el aporte del nivel de iluminación de los espacios interiores para cualquier estudio en edificaciones realizado en DesignBuilder. Todos los espacios internos en una edificación se modelan como una zona térmica que mantiene la temperatura interior uniforme y humedad relativa. Los horarios de funcionamiento diseñados utilizan un horario típico establecido en DesignBuilder[16].

Cuando se analiza y se observa con detalles el rendimiento en consumo energético en una edificación, es bueno resaltar que las variaciones que se realicen en el edificio ayudan a mejorar el confort, y aumentar la utilización del edificio en cuanto a la cantidad de personas que transiten o se encuentren en el interior de este. Las variaciones pueden estar dadas por el cambio del tipo de material de las ventanas, y el aumento de su cobertura, pero manteniendo el sistema de ventilación [31].

5. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

Para llevar a cabo el análisis energético del Edificio de Ingeniería Eléctrica, a partir del uso de la herramienta DesignBuilder, se tiene como base el Capítulo 2, donde se lleva a cabo la definición de áreas críticas, áreas de mayor interés debido a sus características energéticas, junto con la monitorización de variables (temperatura, humedad relativa del aire, velocidad del aire e iluminación), mediciones que sirven como base para la calibración y la sintonización del modelo geométrico.

A partir del modelo tridimensional realizado en el trabajo previo de investigación, se realiza una validación detallada, que se presenta en el Capítulo 3. Esto incluye geometría, datos de ocupación, datos de materiales constructivos, sistema HVAC y aberturas del edificio de Ingeniería Eléctrica. Dicha validación se efectúa para la calibración del modelo geométrico. Posteriormente, y mediante simulaciones computacionales, se obtienen resultados preliminares de las variables medidas anteriormente, éstos se analizan para llevar a cabo una sintonización del modelo geométrico.

Seguidamente en el Capítulo 4, con el modelo computacional calibrado y sintonizado, se muestran las simulaciones (térmicas, y de iluminación), de un día tipo para la sala grupal. Otro tipo de simulación que se presenta, es el consumo energético anual de todo el edificio, obtenido con la ayuda de DesignBuilder. También se elabora un análisis de los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas para Daylighting y consumo energético, en algunas áreas definidas.

Finalmente, en el capítulo 5 se describen las observaciones, recomendaciones y conclusiones, del trabajo de grado.

6. ÁREAS CRÍTICAS Y MONITORIZACIÓN DE VARIABLES

La definición de áreas críticas se establece teniendo en cuenta el comportamiento de cargas (carga de ocupación, carga de iluminación artificial, carga de operación de equipos, carga de ventilación e infiltración y carga de radiación solar) en el interior de cada zona del edificio de Ingeniería Eléctrica. Este análisis se hizo con el objetivo de seleccionar los espacios interiores más críticos de acuerdo a su comportamiento para posteriormente calibrar y sintonizar el BIM teniendo en cuenta estos puntos[17], [18].

La monitorización de variables (temperatura, humedad relativa del aire, nivel de iluminación y velocidad interior del aire) se realiza con el fin de tener una base de comparación, entre el modelo virtual y la edificación real. A través de esta monitorización se busca la sintonización del BIM, con el fin de obtener simulaciones fiables y poder determinar el análisis energético del edificio en estudio[4], [19], [20].

6.1 DEFINICIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS

Un área crítica se puede especificar como aquella que representa un impacto significativo dentro de una zona o piso dentro de la edificación, y que influye sobre los niveles de confort y consumo energético del edificio[19].

Para determinar las áreas críticas de una edificación es necesario observar la ubicación de éstas dentro del edificio. Al mismo tiempo se hace necesario inspeccionar qué elementos contienen estas áreas específicas, con el fin de incluirlas dentro de las áreas críticas y establecer su impacto dentro del comportamiento energético total de la edificación y sus niveles de confort[21].

Los elementos a inspeccionar para definir una área como crítica son: Su perfil de operación, el número y el tipo de fuentes de cargas, su influencia geo-espacial teniendo en cuenta la incidencia del sol y por último las cargas de iluminación[17], [22]. La Tabla 5 contiene el criterio utilizado para definir las áreas críticas y las características a tener en cuenta en cada uno de éstos.

Tabla 5. Criterios para definir áreas críticas.

TIPO DE CRITERIO	CARACTERÍSTICAS
Cargas de ocupación	Se debe definir la cantidad o número de personas, su horario de ocupación o régimen de ocupación y su tipo de actividad metabólica (reposo, oficina, ligera, comercio, alta, gimnasio), el cual determinara el ritmo al cual se libera energía en el recinto.
Cargas de iluminación artificial	Se precisa la cantidad de luminarias por zonas debido a que las luminarias calientan el aire a su alrededor porque intercambian energía con el mismo, esta carga por operación de las luminarias es prácticamente al mismo momento de encender las lámparas.
Cargas de operación de equipos	Debe puntualizarse los artefactos electrónicos y equipos que contribuyan a la carga de calor de las diferentes zonas a estudio.
Cargas de ventilación e infiltración	Se refiere a tasas de ventilación natural por influencia de ventanas y cortasoles, así como también el uso de aires acondicionados en los diferentes recintos y su contribución en términos de aportes o pérdidas de calor.
Cargas por radiación solar	Es la carga exterior que define directamente el flujo y cantidad de energía (luz y calor) intercambiado entre el exterior e interior del edificio.

De acuerdo a los criterios establecidos en la tabla 6 se procedió a determinar los espacios con más impacto para cada piso de la edificación, definiéndolas como zonas críticas. Para esto se establecieron valores mínimos para las variables que conforman cada criterio los cuales se muestran en la Tabla 8, y todos aquellos valores por encima del mínimo cuentan para la selección final del espacio a medir y analizar como zona crítica. También para esta selección se tiene en cuenta la cantidad de equipos que representan un consumo energético para cada zona en cada uno de los pisos que conforman el edificio.

Para identificar las variables que se encuentran por encima del valor mínimo establecido se muestra por medio de flechas de color rojo aquellas variables que están por debajo de este valor, y que no cuentan para la selección de las áreas de interés, mientras que las flechas de color verde muestra, los valores de las variables que si influyen para la selección de las áreas críticas.

En cuanto a la cantidad de personas se asigna un número de 35 personas tomando como fuente de información el promedio de alumnos que se pueden matricular por asignaturas en un semestre, mientras que para la carga horaria semanal se establecen 40 horas, que corresponden a un horario de funcionamiento de 8 horas diarias de lunes a viernes. Para la actividad metabólica se asignó un valor mínimo de 4 (met) que equivalen a 232 (W/m²) [23].

También para las cargas de iluminación y operación se asume el 50% de la carga máxima por circuito ramal que se puede dar en una instalación eléctrica que corresponden a 750 W por hora, y para las cargas de ventilación e infiltración, como son cuatros las variables que determinan este criterio se establece que cuando no se cumple más del 50% de estas variables empieza a contar para la suma de porcentajes para seleccionar las áreas críticas del edificio.

A las variables anteriormente mencionadas se le asignaron porcentajes de ponderación según el grado de importancia que estas presenten a la contribución de discomfort térmico y de consumo energético, con el fin de garantizar que aquellas zonas en donde el porcentaje total de la suma de los aportes de cada variable supere el 50%. Seguidamente en la Tabla 6 se muestran los valores establecidos para cada variable.













Tabla 6. Porcentaje de ponderación para las variables de selección de áreas críticas.

VALORES DE PONDERACION PARA CADA VARIABLE QUE CONFORMAN LOS CRITERIOS DE SELECCION	
VARIABLE	PORCENTAJE
Cantidad aproximada de personas	25%
Potencia de iluminación artificial	25%
Potencia de equipos electrónicos	25%
Carga horaria semanal	8.33%
Actividad metabólica	8.33%
Cargas por ventilación e infiltración	8.33%

Además de los criterios de selección anteriormente seleccionados se tomaron zonas del quinto piso y el aula 401 que no clasificaban como áreas críticas, pero sin embargo eran de vital importancia incluirlas dentro de las zonas establecidas como críticas, con el fin de evidenciar el comportamiento para diferentes escenarios de operación, dados por el techo verde y los tubos solares. Lo cual garantiza el cumplimiento del cuarto objetivo específico planteado para el desarrollo del trabajo de investigación.

Los valores mínimos establecidos para las variables por carga de ocupación y carga por iluminación artificial se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Valores mínimos de las variables de cada criterio para definir áreas críticas.

VALORES MINIMOS PARA DEFINIR AREAS CRITICAS					
Cargas por ocupación			Cargas por iluminación artificial	Cargas por operación de equipos	Cargas por ventilación e infiltración
Cantidad aproximada de personas	Carga horaria semanal [Horas]	Actividad metabólica [W/m ²]	Potencial total [W]	Potencia total [W]	Numero de cargas con las que no se cuentan
35	40	232	750	750	3
>35 	>40 	>232 	>750 	>750 	≥ 3 
≤35 	≤40 	≤232 	≤750 	>750 	< 3 

El análisis para la identificación de las áreas críticas en la edificación se muestra en la tabla 8. En donde se resalta cada una de ellas.

Tabla 8. Análisis de selección de áreas críticas en el Edificio de ingeniería Eléctrica.

NIVELES	ZONAS	CARGAS POR OCUPACION			CARGAS POR ILUMINACION ARTIFICIAL		CARGAS POR OPERACIÓN DE EQUIPOS			CARGAS POR VENTILACION E INFILTRACION				
		Cantidad Aprox. De personas	carga horaria semanal [Horas]	actividad metabólica [w/m2]	Numero de luminarias por estancia	Potencia total [W]	Numero de equipos	Potencia total [w]	Ventanas	Cortazoles	Rajillas de ventilacion	Extractores de calor	Numero de cargas con las que no se cuentan	
S O T A N O	Sala de Reuniones	↓ 6	↓ 10	↓ 60	3 LUMINARIAS DE 4X14	↓ 168	NO	↓ 0	NO	NO	SI	NO	↑ 3	
	Baño hombres	↓ 1	↓ 5	↓ 70	1 BALA FLUORESCENTE DE 1X26	↓ 26	NO	↓ 0	NO	NO	SI	NO	↑ 3	
	Baño mujeres	↓ 1	↓ 5	↓ 70	1 BALA FLUORESCENTE DE 1X26	↓ 26	NO	↓ 0	NO	NO	SI	NO	↑ 3	
	Sala de estar	↓ 5	↓ 10	↓ 60	2 LUMINARIAS DE 2X32	↓ 128	NO	↓ 0	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
	Cafeteria	↓ 2	↓ 5	↓ 60	1 LUMINARIA DE 2X32	↓ 64	NO	↓ 0	NO	NO	SI	NO	↑ 3	
	Sala docentes catedra	↓ 15	↓ 20	↓ 60	19 LUMINARIAS DE 4X14	↑ 1064	MODEM WIFI + 2 MINI SPLIT AIRE	↑ 2152	SI	SI	NO	NO	↓ 2	
N I V E L 1	Sala de trabajo individual	↑ 65	↓ 40	↓ 60	20 LUMINARIAS DE 4X14	↑ 1120	MODEM WIFI, EXTRACTORES	↓ 137	NO	SI	NO	NO	↑ 3	
	Sala de trabajo grupal	↑ 70	↑ 54	↓ 65	15 LUMINARIAS DE 4X14	↑ 840	MODEM WIFI	↓ 50	SI	NO	NO	SI	↓ 2	
	Aula 103 (PREGUNTAR AIRE)	↑ 42	↑ 50	↓ 60	9 LUMINARIAS DE 4X14	↓ 504	NO	↓ 0	SI	SI	SI	NO	↓ 1	
	Pasillo acceso trabajo individual	↓ 2	↓ 10	↓ 115	5 LUMINARIAS DE 4X14	↓ 280	NO	↓ 0	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
	Pasillo acceso general	↓ 3	↓ 10	↓ 115	5 LUMINARIAS DE 4X14	↓ 280	NO	↓ 0	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
	Cuarto tecnico	↓ 1	↓ 5	↓ 130	1 LUMINARIA DE 2X32	↓ 64	NO	↓ 0	NO	NO	NO	NO	↑ 4	
	Baño hombres	↓ 5	↓ 10	↓ 70	2 LUMINARIAS DE 2X32	↓ 128	NO	↓ 0	NO	NO	SI	NO	↑ 3	
	Baño Mujeres	↓ 5	↓ 10	↓ 70	2 LUMINARIAS DE 2X32	↓ 128	NO	↓ 0	NO	NO	SI	NO	↑ 3	
	CIEE	↓ 12	↓ 40	↓ 80	6 LUMINARIAS DE 4X14	↓ 336	2 PC ESCRITORIO + PC PORTATIL + NEVERA GRANDE + IMPRESORA + VENTI	↓ 645	SI	NO	NO	SI	↓ 2	
N I V E L 2	Aula 207	↑ 55	↑ 54	↓ 60	12 LUMINARIAS DE 4X14	↓ 672	VIDEO BEAN	↓ 220	SI	SI	SI	NO	↓ 1	
	Aula 206	↓ 32	↓ 17	↓ 60	6 LUMINARIAS DE 4X14	↓ 336	NO	↓ 0	SI	NO	SI	NO	↓ 2	
	Aula 205	↓ 32	↑ 64	↓ 60	6 LUMINARIAS DE 4X14	↓ 336	NO	↓ 0	SI	NO	SI	NO	↓ 2	
	Aula 204	↓ 35	↓ 26	↓ 60	9 LUMINARIAS DE 4X14	↓ 504	NO	↓ 0	SI	NO	NO	SI	↓ 2	
	Aula 202	↓ 35	↓ 29	↓ 60	10 LUMINARIAS DE 4X14	↓ 560	NO	↓ 0	SI	NO	NO	SI	↓ 2	
	Aula 201	↓ 35	↑ 42	↓ 60	10 LUMINARIAS DE 4X14	↓ 560	NO	↓ 0	SI	SI	SI	NO	↓ 1	
	Cuarto tecnico	↓ 1	↓ 2	↓ 130	1 LUMINARIA DE 2X32	↓ 64	NO	↓ 0	NO	NO	NO	NO	↑ 4	
	Baño hombres	↓ 5	↓ 5	↓ 70	2 LUMINARIAS DE 2X32	↓ 128	NO	↓ 0	NO	NO	SI	NO	↑ 3	
	Baño Mujeres	↓ 5	↓ 5	↓ 70	2 LUMINARIAS DE 2X32	↓ 128	NO	↓ 0	NO	NO	SI	NO	↑ 3	

NIVELES	ZONAS	CARGAS POR OCUPACION			CARGAS POR ILUMINACION ARTIFICIAL		CARGAS POR OPERACIÓN DE EQUIPOS			CARGAS POR VENTILACION E INFILTRACION				
		Cantidad Aprox. De personas	carga horaria semanal [Horas]	actividad metabolica [W/m2]	Numero de luminarias por estancia	Potencia total [W]	Numero de equipos	Potencia total [w]	Ventanas	Cortinas	Rejillas de ventilacion	Extractores de calor	Numero de cargas con las que no se cuentan	
3	Aula 306(IEEE)	↓ 10	↓ 40	↓ 60	6 LUMINARIAS DE 4X17	↓ 408	PC ESCRITORIO+ PORTATILES	↓ 105	SI	NO	SI	NO	↓ 2	
	Aula 305	↑ 55	↓ 35	↓ 60	12 LUMINARIAS DE 4X17	↑ 816	VIDEO BEAN	↓ 220	SI	SI	SI	NO	↓ 1	
	Aula 304	↑ 70	↓ 40	↓ 60	15 LUMINARIAS DE 4X17	↑ 1020	VIDEO BEAN	↓ 220	SI	SI	SI	SI	↓ 0	
	Cuarto tecnico	↓ 1	↓ 2	↓ 130	1 LUMINARIA DE 2X32	↓ 64	NO	↓ 0	NO	NO	NO	NO	↑ 4	
	Baño hombres	↓ 5	↓ 5	↓ 70	2 LUMINARIAS DE 2X32	↓ 128	NO	↓ 0	NO	NO	SI	NO	↑ 3	
	PASILLO ACCESO BAÑOS	↓ 3	↓ 10	↓ 115	3 LUMINARIAS DE 2X32	↓ 192	NO	↓ 0	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
	PASILLO ACCESO AULAS	↓ 4	↓ 10	↓ 115	7 LUMINARIAS DE 2X32	↓ 448	NO	↓ 0	SI	SI	NO	NO	↓ 2	
	Baño Mujeres	↓ 5	↓ 5	↓ 70	2 LUMINARIAS DE 2X32	↓ 128	NO	↓ 0	NO	NO	SI	NO	↑ 3	
	Aula 301	↓ 35	↑ 59	↓ 60	10 LUMINARIAS DE 4X17 + 2 LUMINARIAS DE 2X32	↑ 808	VIDEO BEAN	↓ 220	SI	SI	SI	NO	↓ 1	
	Aula 302	↓ 35	↑ 47	↓ 60	10 LUMINARIAS DE 4X17 + 2 LUMINARIAS DE 2X32	↑ 808	NO	↓ 0	SI	NO	NO	SI	↓ 2	
	4	Aula 406	↓ 35	↓ 16	↓ 60	12 LUMINARIAS DE 4X17 + 2 LUMINARIAS DE 2X32	↑ 344	1 AIRES ACONDICIONADOS, VIDEOBEEN, TABLERO SMART BOARD	↑ 1071	SI	NO	NO	NO	↑ 3
		Aula 405	↓ 35	↓ 34	↓ 60	12 LUMINARIAS DE 4X17 + 2 LUMINARIAS DE 2X32	↑ 344	2 AIRES ACONDICIONADOS, VIDEOBEEN, TABLERO SMART BOARD, MODEM	↑ 2132	SI	SI	NO	NO	↓ 2
Aula 404		↓ 35	↓ 30	↓ 60	10 LUMINARIAS DE 4X17 + 2 LUMINARIAS DE 2X32	↑ 808	2 AIRES ACONDICIONADOS, VIDEOBEEN, TABLERO SMART BOARD	↑ 2132	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
Cuarto tecnico		↓ 1	↓ 2	↓ 130	1 LUMINARIA DE 2X32	↓ 64	NO	↓ 0	NO	NO	NO	NO	↑ 4	
Baño hombres		↓ 5	↓ 5	↓ 70	2 LUMINARIAS DE 2X32	↓ 128	NO	↓ 0	NO	NO	SI	NO	↑ 3	
Baño Mujeres		↓ 5	↓ 5	↓ 70	2 LUMINARIAS DE 2X32	↓ 128	NO	↓ 0	NO	NO	SI	NO	↑ 3	
AREA CASILLEROS		↓ 3	↓ 10	↓ 80	2 LUMINARIAS DE 2X32	↓ 128	NO	↓ 0	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
Aula 401		↓ 33	↓ 36	↓ 60	12 LUMINARIAS DE 4X17	↑ 816	2 AIRES ACONDICIONADOS, VIDEOBEEN, TABLERO SMART BOARD	↑ 2132	SI	SI	NO	NO	↓ 2	
PASILLO ACCESO BAÑOS		↓ 3	↓ 10	↓ 115	3 LUMINARIAS DE 2X32	↓ 192	NO	↓ 0	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
PASILLO ACCESO SALONES		↓ 4	↓ 10	↓ 115	7 LUMINARIAS DE 2X32	↓ 448	NO	↓ 0	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
Aula 402 (MULTIPROPOSITO)		↓ 35	↓ 2	↓ 60	6 LUMINARIAS DE 4X17	↓ 408	MODEM WIFI	↓ 5	SI	NO	NO	SI	↓ 2	
5		CCTV	↓ 2	↓ 10	↓ 65	1 LUMINARIA DE 2X32	↓ 64	PC ESCRITORIO+ PORTATILES	↓ 105	NO	NO	NO	NO	↑ 4
	Secretaria Administrativa	↓ 1	↓ 40	↓ 100	1 LUMINARIA DE 4x17	↓ 68	PC ESCRITORIO+ PORTATILES	↓ 105	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
	Secretaria Especializacion	↓ 1	↓ 40	↓ 100	1 LUMINARIA DE 4x17	↓ 68	PC ESCRITORIO+ PORTATILES	↓ 105	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
	Secretaria de Posgrados	↓ 2	↓ 40	↓ 100	2 LUMINARIAS DE 4X17	↓ 136	PC ESCRITORIO+ PORTATILES	↓ 105	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
	Asistente y auxiliar de posgrados	↓ 2	↓ 40	↓ 65	2 LUMINARIAS DE 4X17	↓ 136	PC ESCRITORIO+ PORTATILES	↓ 105	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
	Coordinacion de posgrados	↓ 2	↓ 40	↓ 65	2 LUMINARIAS DE 4X17	↓ 136	PC ESCRITORIO+ PORTATILES	↓ 105	SI	NO	SI	NO	↓ 2	
	Proyectos y servicios	↓ 4	↓ 40	↓ 65	5 LUMINARIAS DE 4X17	↓ 340	PC ESCRITORIO+ PORTATILES	↓ 105	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
	Coordin. Espec. Y educ. continuada	↓ 5	↓ 40	↓ 65	4 LUMINARIAS DE 4X17	↓ 272	PC ESCRITORIO+ PORTATILES	↓ 105	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
	Coordinacion de calidad	↓ 12	↓ 40	↓ 65	4 LUMINARIAS DE 4X17	↓ 272	PC ESCRITORIO+ PORTATILES	↓ 105	NO	NO	NO	NO	↑ 4	
	Direccion EST	↓ 5	↓ 40	↓ 65	4 LUMINARIAS DE 4X17	↓ 272	PC ESCRITORIO+ PORTATILES	↓ 105	SI	NO	SI	NO	↓ 2	
	Baño Direccion EST	↓ 1	↓ 5	↓ 70	1 BALA FLUORESCENTE DE 1X26	↓ 26	NO	↓ 0	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
	Baño hombres	↓ 1	↓ 10	↓ 70	1 BALA FLUORESCENTE DE 1X26	↓ 26	NO	↓ 0	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
	Baño mujeres	↓ 1	↓ 10	↓ 70	1 BALA FLUORESCENTE DE 1X26	↓ 26	NO	↓ 0	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
	Asco	↓ 1	↓ 40	↓ 70	1 BALA FLUORESCENTE DE 1X26	↓ 26	NO	↓ 0	NO	NO	NO	NO	↑ 4	
	Coordinacion de proyectos	↓ 5	↓ 40	↓ 65	4 LUMINARIAS DE 4X17	↓ 272	PC ESCRITORIO+ PORTATILES	↓ 105	SI	NO	SI	NO	↓ 2	
	Cafeteria	↓ 2	↓ 40	↓ 60	1 BALA FLUORESCENTE DE 1X26	↓ 26	NO	↓ 0	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
	Archivo	↓ 2	↓ 40	↓ 70	2 LUMINARIAS DE 2X32	↓ 128	NO	↓ 0	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
	Cuarto tecnico	↓ 1	↓ 40	↓ 130	1 LUMINARIA DE 2X32	↓ 64	NO	↓ 0	NO	NO	NO	NO	↑ 4	
	Coordinacion de pregrado	↓ 7	↓ 40	↓ 65	4 LUMINARIAS DE 4X17	↓ 272	PC ESCRITORIO+ PORTATILES	↓ 105	SI	SI	NO	NO	↓ 2	
	Pasillo interno EST	↓ 2	↓ 40	↓ 65	5 LUMINARIAS DE 2X32	↓ 320	NO	↓ 0	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
	Sala espera de coor. De pregrado	↓ 22	↓ 25	↓ 60	2 LUMINARIAS DE 4X17	↓ 136	NO	↓ 0	SI	SI	NO	NO	↓ 2	
	Sala de Reuniones	↓ 10	↓ 20	↓ 65	4 LUMINARIAS DE 4X17	↓ 272	NO	↓ 0	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
	Ante sala de direccion	↓ 4	↓ 15	↓ 60	2 LUMINARIAS DE 4X17	↓ 136	NO	↓ 0	SI	NO	NO	NO	↑ 3	
Sala de estar	↓ 5	↓ 10	↓ 65	2 LUMINARIAS DE 4X17	↓ 136	NO	↓ 0	SI	NO	NO	NO	↑ 3		

Para el edificio de Ingeniería Eléctrica se establecen como áreas críticas, todos aquellos espacios que están por encima del 50% del valor ponderado, obtenido de la suma del número de variables de estudios de cada criterio establecido. Lo cual se puede observar en la Tabla 7, y además las zonas incluidas como críticas para poder realizar el análisis con escenario que cuentan con techos verdes y tubos solares.

Tomando como ejemplo la zona crítica que conforma el aula 404, se puede observar que los criterios de ponderación para carga de ventilación artificial, carga por operación de equipos y carga por ventilación e infiltración se encuentran por encima de los valores mínimos establecidos, sumando un total de 58,33% del valor ponderado clasificándola como área crítica.

En la Tabla 9 se relacionan las áreas establecidas como críticas según el análisis de la tabla 8.

Tabla 9. Áreas críticas del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

PISO	ÁREA	CRITERIO DE SELECCIÓN
1	Sala de trabajo grupal	Sala de mayor ocupación, área considerable, uso semanal constante, carga de calor debido a la cantidad de equipos portátiles e incidencia del sol directa.
	Sala de trabajo individual	Área considerable, espacio con poca ventilación natural, uso semanal constante, carga de calor debido a la cantidad de equipos portátiles.
4	Aulas 402,404 y 406	Aulas con gran carga de ocupación, Incidencia directa del sol, carga constante de refrigeración, presencia de corta soles.
5	Sala de espera pregrado	Área con la mayor incidencia directa de los rayos solares, presencia de lamas y de cortasoles.
	Sala de reuniones	Zona con carga de refrigeración, gran cantidad de ventanales y ventilación natural.
	Ante sala de dirección	Zona con incidencia de ventilación natural, presencia de lamas en la ventana.

Sala de estar	Área con gran incidencia de ventilación natural, y presencia de ventanas de gran tamaño.
Archivo	Área con incidencia directa de los rayos solares, y ventilación natural debido a la presencia de ventanas de gran tamaño con presencia lamas en las mismas.
Proyectos y Servicios	Incidencia directa de corta lluvias, Área con divisiones modulares, incidencia del sol en horas de la mañana.

6.2 VARIABLES DE MEDICIÓN

Para definir las variables a medir se debe determinar su influencia en el confort, el cual se define como la condición en la que el usuario siente satisfacción respecto al ambiente en el que está [24]. El confort depende de factores personales (actividad física y vestimenta) y factores ambientales (temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire, humedad relativa del aire)[24].

Con el fin de identificar el comportamiento de variables climatológicas y de confort en el interior del edificio de Ingeniería Eléctrica, como humedad, temperatura del aire e Iluminación, se realizó la medición de dichas variables. El principal objetivo de medir es conocer la tendencia de los datos monitorizados en las diferentes zonas definidas anteriormente, y compararlos con los datos arrojados por las simulaciones realizadas con el software, con el objetivo de determinar la variación de dichos parámetros en el espacio de tiempo de las medidas. En la Tabla 10 se presentan las características de las variables que se miden.

Tabla 10. Características de las variables de medición.



VARIABLE	CARACTERISTICAS
Humedad relativa del aire	Es la relación entre la cantidad de vapor de agua que se halla en el aire y la máxima capacidad que podría contener a la misma temperatura. Esta relación se expresa en tanto por ciento. Por ejemplo, cuando hay 40% de humedad relativa, significa que todavía le queda capacidad para absorber un 60% más. Cuando la humedad llega al 100% significa que el aire está saturado[25].
Temperatura del aire	La temperatura del aire, tomada al instante, puede variar dependiendo del local donde es leída, si se está en la sombra o en el sol, si el suelo del local es hierba o pavimentado, etc.[26].
Velocidad del aire	En zonas calurosas, la velocidad del aire es más importante que la cantidad de aire intercambiado, ya que minimiza los efectos de la humedad en una proporción de 0,3 m/s de velocidad del aire equivalente al descenso de 1° C en la sensación térmica de una persona[26].
Nivel de iluminación	El confort visual depende de diversos factores ambientales y arquitectónicos que hacen que la percepción de conformidad o disconformidad que en el ser humano aparezca. Por lo tanto es necesario contar con un ambiente que tenga buenas condiciones de luminancia. El RETILAP, establece que “se debe asegurar el cumplimiento de los niveles de iluminancia de la Tabla 440.1 adaptados de la norma ISO 8995 – “Principles of visual ergonomics -- Thelighting of indoorworksystems”[27].
Consumo de energía eléctrica	La medida de la energía eléctrica refleja el trabajo que el sistema eléctrico suministra a las cargas, y eso requiere tiempo. Pero se puede estimar el consumo de energía midiendo la potencia durante un breve periodo de tiempo [28]. Con esa información podrá realizar una estimación.

6.3 EQUIPOS DE MONITORIZACIÓN DE VARIABLES

Para la monitorización de variables se utilizaron equipos que cuentan con certificado y calibración vigente en el instante de tiempo en el que se realizaron las mediciones, estos equipos fueron suministrados por la escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Se realizan mediciones in situ. Las mediciones internas del edificio se concentraron en los espacios mencionados en la definición de áreas críticas y para las mediciones externas se tomaron los datos obtenidos por la estación meteorológica con la que cuenta la edificación[29].

En la Tabla 11, se presentan los equipos de medición interna en sitio, para monitorizar las variables establecidas.

Tabla 11. Equipos de medición utilizados para la monitorización de variables.

VARIABLE DE MEDICIÓN	EQUIPO DE MEDICIÓN	CARACTERÍSTICAS
Temperatura y humedad relativa del aire	 <p>Figura 4. Sicrómetro Digital RH305 (kit) de Extech</p>	Este dispositivo mide humedad, temperatura del aire, temperatura de punto de rocío y temperatura de termómetro de bulbo húmedo[30].
Velocidad del aire interior y exterior	 <p>Figura 5. Termo-Anemómetro PCM/MCM Modelo AN100 de Extech.</p>	Registra la velocidad, el caudal/flujo (volumen) y la temperatura del aire. LCD grande, retro iluminada de fácil lectura incluye indicador primario y secundario además diversos indicadores de estado[31].

Nivel de iluminación



Figura 6. Luxómetro
AMPROBE Ref. LM120.

Tienen un rango de medida 200000 luxes o 20000 foto candelas almacenamiento de máximos y mínimos retención de la lectura ajuste de cero antes de realizar cualquier lectura auto apagado display de 3-1/2 dígitos[32].

6.4 PLAN DE MEDICIÓN

Cuando se quiere determinar un análisis energético es recomendable elaborar un plan de medida. Una planificación detallada de esta plan, garantiza que se dispone de todos los datos necesarios para realizar dicho análisis[33].

Un periodo de referenciase establece para representar todos los modos de operación de la instalación. Este periodo tiene que abarcar un ciclo operativo completo, desde el consumo de energía máximo al mínimo[33]. Por ende, las mediciones al interior de la edificación se llevaron a cabo en el horario de 08:00 hasta las 12:00 horas y desde las 14:00 hasta las 18:00 horas, de lunes a sábado en la fecha comprendida entre el 09 de junio de 2014 y el 21 de junio de 2014.

Dicho espacio de tiempo comprende un ciclo completo de una semana laborable, además, al tratarse de un claustro universitario, se tienen ciclos periódicos de operación. De esta manera, con dos semanas de medición se puede observar el funcionamiento real del edificio de Ingeniería Eléctrica.

La Tabla 12 resume el plan de medición implementado en el edificio de Ingeniería Eléctrica.

Tabla 12. Plan de medición para el Edificio de Ingeniería Eléctrica.

PISO	ÁREA	PROGRAMA DE MEDICIÓN
	Sala de Trabajo Grupal	Posterior a las mediciones en los espacios de los pisos 4 y 5, se procede llevar a cabo las mediciones en el primer piso durante lapso de tiempo de una semana.
1	Sala de trabajo Individual	De 8:00 a 8:30 horas se inicia la jornada de medición en la mañana. Sol tenue. De 9:00 a 11:40 horas se presenta mayor de actividad. Máxima incidencia del sol en la cara noreste del edificio. De 14:00 a 14:30 horas se inicia la jornada de medición en la jornada de la tarde. De 15:00 a 16:30 horas se presenta la mayor actividad en la tarde. Mayor incidencia solar en la cara sur oeste del edificio. De 17:00 a 18:00 horas disminuye la actividad. La incidencia del sol disminuye debido a la ausencia del mismo.
4	Aulas 402,404 y 406	En estos espacios se inicia la medición de las variables, durante una semana y media.
	Sala de espera Pregrado	
	Sala de reuniones	
	Ante sala de Dirección	
	Sala de estar	
	Archivo	
5	Proyectos y Servicios	De 8:00 a 8:30 horas se inicia la jornada de medición en la mañana. Sol tenue. De 9:00 a 11:40 se presenta mayor de actividad. Máxima incidencia del sol en la cara noreste del edificio. De 14:00 a 14:30 horas se inicia la jornada de medición en la tarde. De 15:00 a 16:30 horas se presenta la mayor actividad en la tarde. Mayor incidencia solar en la cara sur oeste del edificio. De 17:00 a 18:00 horas disminuye la actividad. La incidencia del sol disminuye debido a la ausencia del mismo.

Nota: La medición de las variables (humedad relativa del aire, temperatura del aire, velocidad del aire, nivel de iluminación) se realizó en cada una de las áreas críticas. De esta manera se obtienen datos completos para todas las zonas bajo estudio.

Para una revisión detallada de las mediciones efectuadas se recomienda leer el Anexo C. MEDICIONES EN EL INTERIOR DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.

7. CALIBRACIÓN Y SINTONIZACIÓN DEL MODELO VIRTUAL

Cuando se implementa un modelo virtual en DesignBuilder para el análisis energético en edificaciones, a este se le realizan ciertas variaciones y ajustes con el fin de obtener un modelo calibrado, que garantice que los resultados obtenidos en cada una de las de variables evaluadas sean lo más cercano a la realidad, lo cual se logra con la ayuda de simulaciones en la aplicación DesignBuilder.

Antes de entrar completamente con el proceso de calibración y sintonización del modelo virtual, es importante aclarar que para llevar a cabo esta parte del trabajo de grado, se realizó con anterioridad una primera fase; de las tres fases que conforman el proyecto de grado macro. En donde la fase I se concluyó con el trabajo de grado (*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. Año 2012*). Lo que conlleva a trabajar sobre el modelo ya diseñado en el estudio de la fase I.

Para la realización de las dos fases siguientes del proyecto macro, se toma el modelo virtual de la fase I anteriormente mencionada, y se hace una serie de ajustes y configuraciones; tanto en diseño como en datos de construcción, con el fin de obtener un modelo lo más cercano posible a la edificación real. A este modelo se le realiza la respectiva calibración y sintonización, garantizando un estudio energético adecuado del edificio de Ingeniería Eléctrica.

7.1 CONFIGURACIÓN Y AJUSTE DEL MODELO VIRTUAL

El estudio efectuado en este trabajo toma como referencia un modelo previamente diseñado en la primera etapa del proyecto macro. A este modelo se le realizaron las modificaciones (internas y externas) mostradas en la Tabla 13.

Tabla 13. Modificaciones internas y externas del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

PISO	MODIFICACIONES INTERNAS
Sótano	<ul style="list-style-type: none"> • En la sala de docentes de cátedra se ubicaron las divisiones de los espacios como está establecido actualmente. • Se elaboraron los respectivos desniveles que presenta el sótano de la edificación.
Primer piso	<ul style="list-style-type: none"> • Se modificó el bloque de la entrada a la edificación, teniendo en cuenta la rampa que se encuentra a la entrada y tomando como referencia los planos actualizados del edificio. • Se realizaron las aberturas que simulan los espacios de las escaleras. • En la sala de estudio individual se realizaron las divisiones de cada uno de los espacios presentes en ésta. • Se incluyó el espacio del cuarto técnico y el espacio de los casilleros. • Se incluyó las rejillas de ventilación de los baños.
Segundo piso	<ul style="list-style-type: none"> • Se realizaron las aberturas que simulan los espacios de las escaleras. • Se incluyó el espacio del cuarto técnico y el espacio de los casilleros. • El muro al frente de los baños se elaboró como está actualmente. • Se incluyó las rejillas de ventilación de los baños.
Tercer piso	<ul style="list-style-type: none"> • Se cambió la dimensión del aula contigua a la oficina de la rama IEEE para poder incluir este espacio. • Se incluyó el espacio del cuarto técnico y el espacio de los casilleros. • Se incluyó las rejillas de ventilación de los baños.
Cuarto piso	<ul style="list-style-type: none"> • Se elaboró completamente el cuarto piso como un solo bloque, ya que estaba dividido en varios bloques diferentes y se aplicó las características de espacios actuales.
Quinto piso	<ul style="list-style-type: none"> • Se elaboró las divisiones de los espacios que tiene actualmente. • Se incluyó el espacio de las escaleras. • Se incluyó el cuarto técnico del quinto piso.
	<ul style="list-style-type: none"> • Las lamas de la fachada sur se elaboraron nuevamente con la herramienta adecuada de DesignBuilder. • Se elaboró las ventanas circulares en la fachada norte, en el espacio de la sala de docentes de cátedra.

-
- Se colocaron las cubiertas para lluvia en la fachada norte de la edificación, desde el segundo piso hasta el quinto piso.
-

Configuración de las opciones del modelo

Al haber concluido con las respectivas modificaciones por piso en el modelo diseñado en DesignBuilder, se procedió a realizar la configuración de las opciones del software, con el propósito de lograr que el modelo sea lo más cercano posible al edificio real. Adicionalmente se incluyeron ciertos parámetros que hacen parte de la alimentación de las plantillas que requiere la aplicación DesignBuilder. Toda esta información para la configuración de las opciones del modelo está dada por los siguientes datos (de actividad, del modelo, de cerramientos, de aberturas, de iluminación, y del sistema HVAC).

Además el programa DesignBuilder permite definir el nivel de detalle requerido en las simulaciones asociadas al rango de análisis, cerramientos, acristalamientos, ganancias, sincronización, sistemas HVAC y ventilación natural. En la Tabla 14, se muestra una configuración de opciones del modelo [34].

Tabla 14. Configuración de las opciones del modelo para el modelo real.

OPCIÓN DEL MODELO	CONFIGURACIÓN
Rango de análisis	Nivel edificio
Nivel de cerramientos y acristalamientos	General
Modelado de ganancias internas	Ganancias simplificadas
Sistema HVAC	Compacto: manual
Ventilación natural	Calculada
Opciones de sincronización	Programaciones

Explicando de una forma más detallada y puntual la configuración de las opciones del modelo, se entiende de una forma más clara; al conocer la conceptualización y la justificación de las opciones de modelo tomadas para la realización del modelado en DesignBuilder del edificio, tomando como información las especificaciones definidas y el modelo base o *baseline*[34].

Rango de análisis

Para establecer el nivel de análisis se utiliza el control deslizante del rango de análisis, el cual comprende desde una zona única crítica, hasta el edificio completo. Los resultados que se esperan son de todo el edificio, y de cada uno de los pisos que conforman la edificación; por lo tanto, el control deslizante fue implementado en todos los pisos del modelo de la edificación.

Nivel de datos de cerramientos y acristalamientos

Al igual que en los rangos de análisis, para el nivel de datos de cerramientos y acristalamiento también se implementa el control deslizante con el fin de definir la manera en que las plantillas son cargadas al momento de alimentar al modelo con la asignación de los datos de la edificación. Las plantillas con las que queda el modelo son las preestablecidas y que han sido creadas solo para el modelo de estudio de este trabajo de grado, por tal razón se asigna la opción “general” de plantillas en DesignBuilder.

Modelado de ganancias internas

DesignBuilder tiene tres maneras para realizar el modelado de las ganancias internas en la edificación. Estas ganancias están establecidas como ganancia interna agrupadas, ganancia interna simplificada, y ganancia interna detallada. Para el desarrollo de este estudio se trabajó como modelado de “ganancias simplificadas”, el cual se seleccionó porque genera ganancias agrupadas de equipos existentes, lo que hace que las ganancias internas sean definidas mediante la etiqueta de equipos, en los datos del modelo [34].

Modelado del sistema de climatización (HVAC)

DesignBuilder tiene tres maneras diferentes para modelar los sistemas HVAC, estas son: simple, compacto, y detallado.

Se aplicó la opción de HVAC compacto de DesignBuilder para todos los pisos de la edificación, debido a que esta elección emplea representaciones esquemáticas para detallar los sistemas de climatización y también utiliza algoritmos más específicos de EnergyPlus. Mientras que el sistema de HVAC simple realiza el modelado a través de algoritmos básicos de cálculo de cargas [34].

Opciones de ventilación natural

Para la alimentación en DesignBuilder de las plantillas de ventilación natural para todos los pisos que conforman la edificación de Ingeniería Eléctrica, de las dos opciones que permite la aplicación (programada y calculada), se realiza el estudio con ventilación natural de tipo calculada; con esta opción los datos que se suministran se determinan apoyándose de variables como operación de la aperturas, la presión del viento, la dimensión, y el tamaño de la grietas.

El control de la ventilación natural se realiza mediante parámetros de operación como datos de rejillas, valores de temperatura de funcionamientos, y datos de ventanas. Para suministrar y dejar funcionando la ventilación natural que se quiere, se asigna en la casilla de ventilación natural en la etiqueta asignada por DesignBuilder para el sistema HVAC de los datos del modelo. Esta disposición permite observar el comportamiento, y variación de la ventilación que se obtiene aplicando modificaciones en las configuraciones establecidas.

Opciones de sincronización

El control deslizante juega un papel importante en las opciones de sincronización de la aplicación DesignBuilder, ya que este permite modelar la operación de un edificio en el software.

El programa DesignBuilder tiene dos formas para alimentar esta opción, estas son por día laborable o mediante programaciones.

Día laborable:

La operación se define estableciendo un tiempo de inicio y tiempo de final, así como días laborables por semana y variaciones estacionales. Esta aproximación se ha hecho para el modelado de edificios no domésticos en las etapas de diseño iniciales[34].

Programaciones:

La operación se puede definir para cada día de la semana y cada mes del año mediante perfiles diarios o mediante programas compactos. Dichos programas requieren de más tiempo para su definición que la opción de sincronización de día laborable [34].

El estudio y análisis que se realiza en esta edificación, se conoce que es para todos los pisos que conforman el total del modelo representativo del edificio de Ingeniería Eléctrica, y que su modelado va tener una opción de sincronización mediante la función de programaciones. Esta da la opción de establecer programas de operación mediante perfiles 7/12.

Los perfiles 7/12 son llamados así porque en ellos es posible definir programaciones para todos los días de la semana y para todos los meses del año, dando lugar así la configuración de posibles variaciones en cuanto a la ocupación, el uso de equipos y la temperatura. Estos perfiles 7/12 se definen de tres formas diferentes: constante, periodo único y personalizado [34].

De las tres formas anteriormente mencionadas para alimentar los perfiles 7/12, se utiliza el personalizado el cual es el más flexible de todos ya que este se puede definir a través de una agrupación de intervalos que puedan tomar distintos valores de ocupación al momento de establecer si son diarios, semanales, o mensuales.

7.2 CALIBRACIÓN DEL MODELO VIRTUAL

Adicionalmente, a la monitorización de las variables, y como desarrollo de la metodología, se deben recopilar datos necesarios para alimentar el modelo geométrico creado, dicha información se obtiene a partir de visitas a la edificación, mediciones, documentación existente, como por ejemplo planos arquitectónicos y especificaciones técnicas. En la Tabla 15 se presenta el listado de la información requerida para la recopilación de los datos.

Tabla 15. Información necesaria para la recopilación de datos.

DATO REQUERIDO	DESCRIPCIÓN
Forma de la edificación	Se hace referencia a la forma exterior de la fachada, donde se observa la existencia de pórticos, volados en las ventanas o en las puertas, miradores y de cualquier tipo de configuración que haga parte de la estructura externa del edificio.
Estructura arquitectónica	Se refiere a cada uno de los elementos constitutivos del edificio, tales como paredes, ventanas, puertas y huecos de los cuales se deben tener los datos de las dimensiones, y del grosor. Se busca toda esta información en planos 2D o 3D donde se pueda visualizar la estructura arquitectónica del edificio.
Materiales	Se debe tener los datos de todos los materiales que componen cada uno de los elementos constructivos del edificio, así como sus propiedades térmicas.
Ocupación de las zonas	Se debe saber el número máximo de personas que van a ocupar cada zona, y el tipo de actividad que se realiza.
Tipo de sistema de climatización	Se debe conocer el tipo de sistema HVAC, la eficiencia y los horarios de operación.
Equipos electrónicos	Los parámetros a obtener son la potencia consumida, la cantidad de equipos y el horario de uso.
Obstrucciones aledañas	Se debe buscar planos de localización en los que se observen edificios aledaños que impidan que la radiación solar y los vientos incidan directamente, además de señalar los árboles y demás obstrucciones presentes.

Una vez se cuente con los datos necesarios para alimentar el software, se procede a ingresarlos en las plantillas del software, dicha etapa tiene como fin calibrar el modelo geométrico y ajustarlo a las propiedades reales del edificio.

7.3 FASES DEL PROCESO DE SINTONIZACIÓN

Tras recoger todos los posibles datos de calibración, se sigue con el paso de sintonización del modelo. Por tal motivo, se exponen seis fases en la Tabla 16, que tienen como fin crear un método para abarcar completamente el proceso de sintonización del modelo virtual desarrollado en DesignBuilder.

Tabla 16. Fases para el proceso de sintonización del modelo virtual.

FASES DEL PROCESO	DESCRIPCIÓN
Fase 1: Documentación y obtención de datos.	Se consideró todos los parámetros de partida necesarios y se recopiló la documentación necesaria para alimentar el software.
Fase 2: Datos climatológicos.	Se recopilaron los datos climatológicos reales del periodo de calibración, sobre todo para las condiciones climatológicas en donde cambiaron mucho respecto a las condiciones climatológicas de un año estándar que se utilizó para las simulaciones básicas. Obtener y preparar los datos reales sobre clima para usarlos en una simulación, puede necesitar mucho tiempo y dinero. Si crear un archivo con datos climáticos reales resulta demasiado complicado, se puede utilizar un archivo que contenga valores medios y se pueden ajustar con métodos estadísticamente válidos para simular los datos reales
Fase 3: Simulaciones preliminares.	Se realizó la simulación y se comprobó lo que predicen los parámetros operativos, como la temperatura y la humedad.
Fase 4: Comparación.	Se realiza una comparación entre los resultados simulados de energía con los datos medidos de energía del periodo de calibración, hora a hora o mes a mes.
Fase 5: Patrones diferenciales.	Se buscan patrones de la diferencia de los resultados de la simulación y de los datos de calibración. Las gráficas de barras, las series temporales con diferencias porcentuales mensuales y los diagramas mensuales de puntos X-Y ayudan a identificar los patrones del error.
Fase 6: Revisión y validación	Se revisaron los datos de partida en la fase 1 y se repitieron las fases 3, 4 y 5.

8. SIMULACIONES Y RESULTADOS

En este capítulo se realiza un plan de todas las simulaciones a realizar tanto en el modelo calibrado como para el modelo sintonizado mediante el software DesignBuilder, el propósito es presentar aquellas simulaciones que se ejecutaran tanto de confort térmico como de confort visual.

En la sección de parámetros y configuraciones de simulación se encuentran establecidas las opciones del software que se seleccionaron para realizar las simulaciones.

Por último, se presentan los resultados tipo para un espacio seleccionado del edificio de Ingeniería Eléctrica y el proceso de sintonización del modelo completo a través del software y sus simulaciones obtenidas para algunas zonas seleccionadas.

8.1 PLAN DE SIMULACIONES

Con el propósito de catalogar y cuantificar las simulaciones a realizar y considerando los objetivos planteados en este trabajo de grado, se procedió a clasificar las simulaciones mediante tipos de consumo o confort, definidos a partir de la consideración del tipo de modelo virtual requerido.

Teniendo en cuenta lo anterior, las simulaciones en DesignBuilder se llevaron a cabo de acuerdo a la clasificación mostrada en la Tabla 17.

Tabla 17. Clasificación de las simulaciones energéticas realizadas en DesignBuilder.

TIPO DE MODELO	TIPO DE CONSUMO O CONFORT	SIMULACIÓN	RESULTADO
Modelo calibrado	Confort térmico	Temperatura del aire	Temperatura del aire en el espacio de tiempo medido
		Humedad relativa	% de humedad relativa en el espacio de tiempo medido
		Velocidad del aire	Velocidad del aire en el espacio de tiempo medido
Modelo Sintonizado	Confort visual	Daylighting	Niveles de iluminación
	Consumo de energía	Potencia	Consumo energético total anual

Para cumplir con el alcance de los objetivos propuestos en el trabajo de grado, se hizo necesario realizar 50 simulaciones que abarcan cada una de las zonas críticas establecidas. También se consideraron las demás zonas térmicas del edificio de Ingeniería Eléctrica con el fin de cuantificar el consumo total anual de energía eléctrica. En la Tabla 18 se especifican la cantidad y tipo de simulaciones realizadas.

Tabla 18. Lista y tipo de simulaciones realizadas.

NÚMERO GLOBAL DE SIMULACIONES	TIPO DE SIMULACIÓN
33	Simulaciones energéticas de confort térmico (humedad relativa, temperatura del aire y velocidad del aire), tres por cada uno de los espacios térmicos medidos.
11	Simulaciones de análisis de luz (confort visual), una por cada uno de los espacios medidos
6	Simulaciones de consumo de energía eléctrica anuales, una por cada piso que incluye todas las zonas térmicas del bloque piso.

Uno de los parámetros para analizar el confort visual en el interior de un edificio son los niveles de iluminación en espacios interiores. Estos parámetros se encuentran correlacionados con el aporte de luz día y el aporte de luz artificial, este último cuando se requiere, debido a la insuficiencia de iluminación natural en los recintos del edificio. En la Tabla 19 se establecen las simulaciones y análisis realizados con respecto a los niveles de iluminación.

Tabla 19. Simulaciones y análisis de los niveles de iluminación.

PISO	ESPACIO	ANÁLISIS DE LUZ
Piso 5	Sala de espera pregrado	Aporte luz día + artificial
	Sala de reuniones	
	Ante sala de dirección	
	Sala de estar	
	Archivo	
Piso 4	Proyectos y Servicios	Aporte luz día
	Aula 402	
	Aula 404	
Piso 1	Aula 406	Aporte luz día + artificial
	Sala de estudio individual	
	Sala de estudio grupal	

8.2 PARÁMETROS Y CONFIGURACIONES DE SIMULACIÓN

La determinación de las mejores opciones para las simulaciones relacionadas con el confort térmico se realizó teniendo como objetivo la calibración y sintonización del modelo geométrico. La Tabla 20 muestra los parámetros y configuraciones analizadas en estas simulaciones.

Tabla 20. Parámetros y configuraciones de simulación.

TIPO DE MODELO	PERIODO DE SIMULACIÓN	CONFIGURACIÓN DE CÁLCULOS SOLARES	CONTROL INTERNO DE TEMPERATURA	RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES	CONFIGURACIÓN DE OPCIONES DE AVANZADO
Modelo calibrado	9 de junio de 2014 a 21 de	Se incluyó el sombreado generado	Se seleccionó la	Cuantificación del consumo	Se estableció el algoritmo de

	junio de 2014	por edificaciones exteriores, La distribución solar se definió completa exterior e interior.	temperatura del aire ya que esta opción no obliga a los sistemas de climatización a garantizar dicha temperatura tal como sucede si se selecciona el control por temperatura operativa.	energético anual, así como la obtención de variables confort.	convención superficial en la opción de detallado con el propósito de obtener cálculos semejantes al edificio.
Modelo sintonizado	1 enero de 2014 a 31 de diciembre de 2014				

Los parámetros elegidos alcanzan la configuración más detallada y compleja que el software DesignBuilder ofrece para el análisis energético en edificaciones. Es de resaltar que dichas configuraciones elevan los tiempos de las simulaciones considerablemente.

8.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se presentan los resultados de cada una de las simulaciones en el interior del edificio realizadas con DesignBuilder, también se realiza el análisis y la comparación de las mismas.

Selección del área crítica para presentar mediciones y simulaciones tipo

Con el propósito de realizar el análisis energético del edificio de Ingeniería Eléctrica bajo las condiciones más desfavorables, se selecciona el área más crítica. Para ello se consideró el espacio de mayor ocupación, un área considerablemente grande,

un perfil operativo de uso semanal constante, con gran carga de calor tanto debido a la cantidad de equipos portátiles como a la incidencia del sol directo. Este análisis arroja como área más crítica la sala de estudio grupal, ubicada en el primer piso del edificio.

8.3.1 Proceso de sintonización del modelo virtual

Para cumplir con el objetivo de sintonizar el modelo virtual del edificio de Ingeniería Eléctrica se consideraron simulaciones preliminares, estas simulaciones permitieron obtener resultados iniciales, los cuales se contrastaron con las mediciones obtenidas, para finalmente reconfigurar o validar opciones y datos del modelo geométrico calibrado, como se propuso en las fases de la sintonización, presentada en el capítulo anterior. El listado de los espacios considerados en el edificio de Ingeniería Eléctrica se presenta en la Tabla 21.

Tabla 21. Espacios del edificio de Ingeniería Eléctrica simulados para el proceso de sintonización del modelo geométrico.

PISO	NUMERO DE ESPACIO	REFERENCIA EN EL EDIFICIO
5	6 espacios térmicos	Sala de espera pregrado
		Sala de reuniones
		Ante sala de dirección
		Sala de estar
		Archivo
		Proyectos y Servicios
4	3 espacios térmicos	Aula 402
		Aula 404
		Aula 406
1	2 espacios térmicos	Sala de estudio individual
		Sala de estudio grupal

A continuación se analiza el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa en la sala de estudios grupal del edificio de la E3T.

El análisis del comportamiento de la temperatura del aire y de la humedad relativa para las demás zonas del edificio se encuentra detallado en el capítulo 5.

Figura 7. Promedio de la temperatura del aire en la sala de estudio grupal del edificio de la E3T.

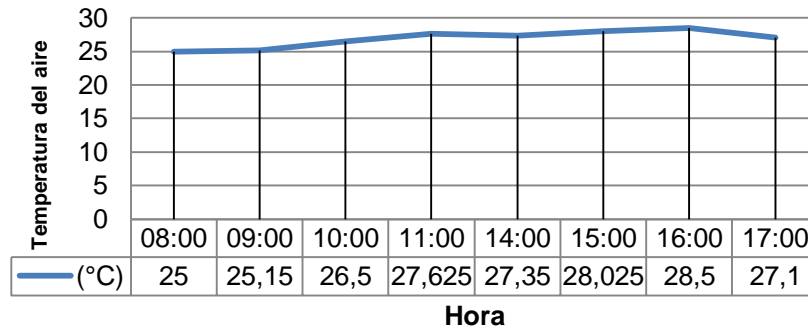
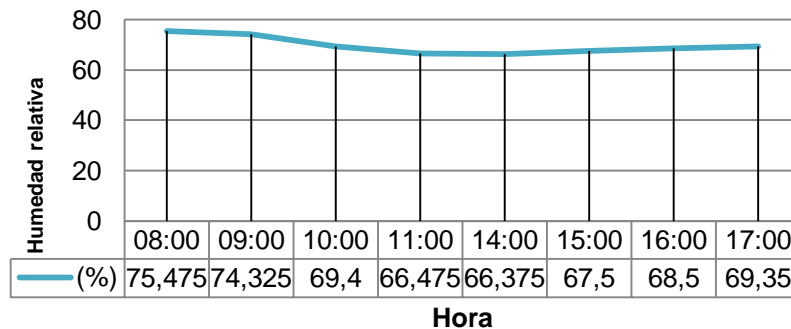


Figura 8. Promedio de la humedad relativa en la sala de estudio grupal del edificio de la E3T.



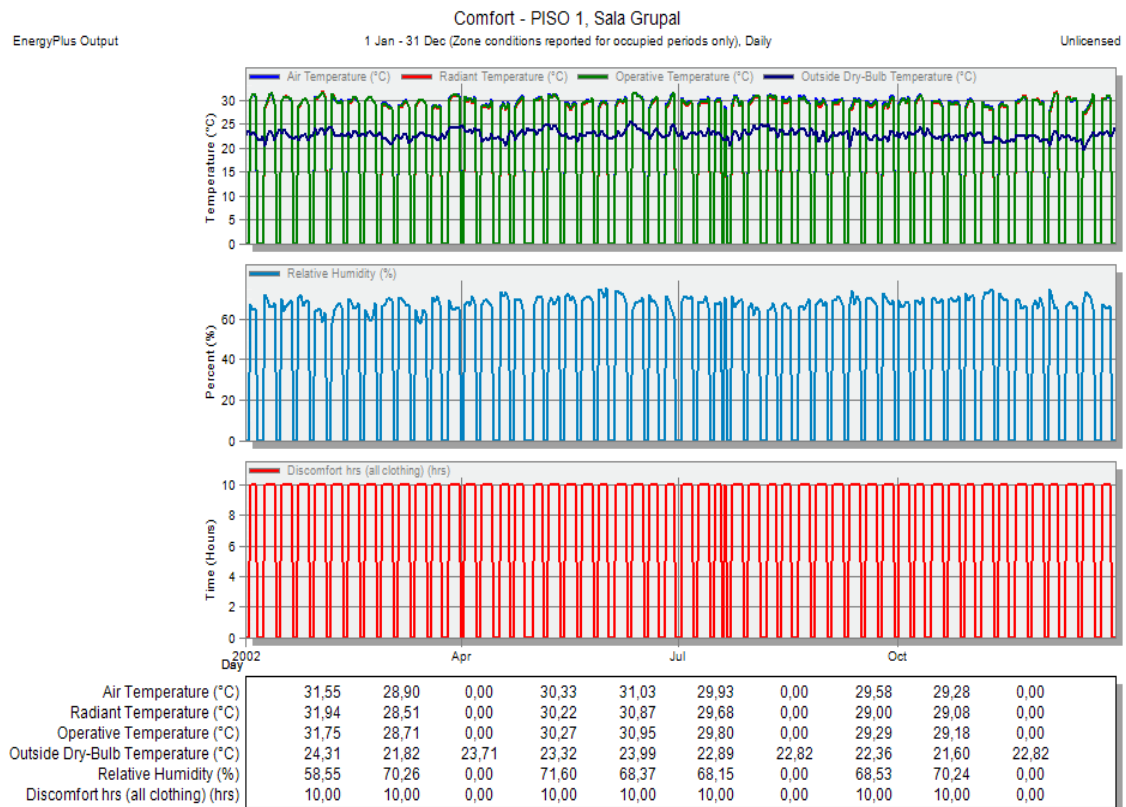
Simulaciones de temperatura del aire y humedad relativa

La importancia de las simulaciones de la temperatura del aire y humedad relativa radica en que son la base para determinar el número de horas de incomodidad que se pueden presentar en una estancia por aspectos térmicos, para dicho propósito se tiene en cuenta la relación de humedad y la temperatura operativa (definida como el promedio de la temperatura del aire y la temperatura radiante media) debido a lo contemplado en la norma ASHRAE 55-2004[35].

En las figuras 7 y 8, se observa la distribución de los valores promedio medidos de la temperatura del aire y su humedad relativa para el periodo de un año y en el mes que se realizaron las mediciones, en el cual se evidencia valores por encima a los establecidos como criterio de confort térmico para verano que es de 24,5°C aproximadamente para verano, y en cuanto a humedad relativa del aire los valores recomendados se deben mantener entre 40% y 60% [31].

Por otra parte, la Figura 9 muestra las simulaciones realizadas del comportamiento de la temperatura y humedad relativa del aire en la sala de estudio grupal del edificio de la E3T.

Figura 9. Simulación tipo para la temperatura del aire y humedad relativa en la sala grupal.



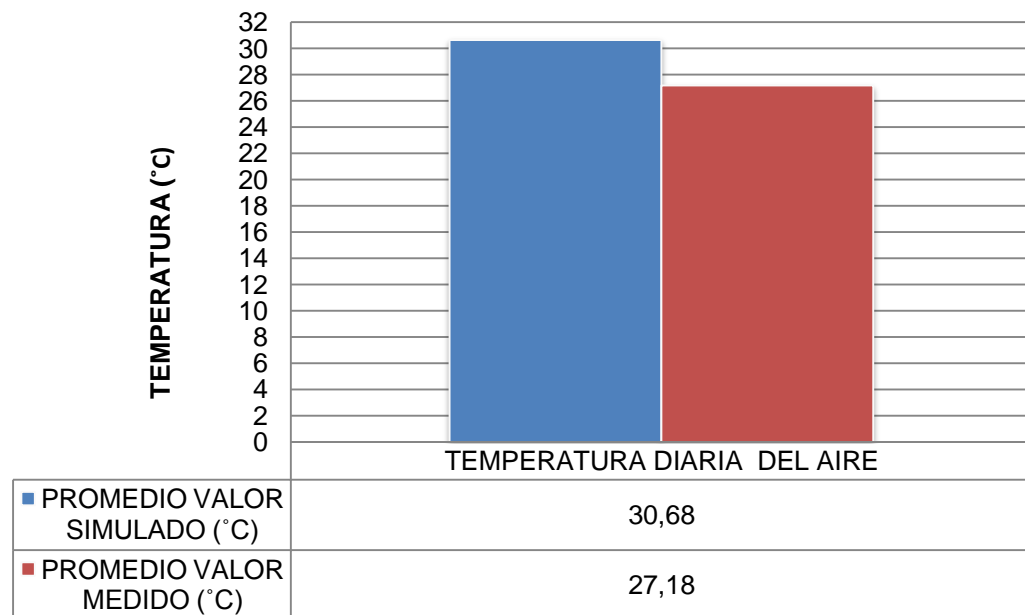
Con los valores recomendados para confort térmico y humedad relativa, se obtienen los valores críticos en cuanto a temperatura en el periodo comprendido de un día de funcionamiento normal de la zona elegida. Cabe recordar que para el rango de horas comprendidas de 10:00 horas y las 17:00 horas se nota una gran concurrencia

de personas, presentando así una ocupación considerable para la zona de sala de estudio grupal, sitio en el que se efectuaron las mediciones.

Observando los resultados obtenidos para sala de estudio grupal, se puede notar que no se presentan los niveles de confort térmicos recomendables, pero la sensación de calor no se hace tan perceptible debido a que las ventanas del sitio permanecen la mayor parte del periodo de ocupación abiertas con un porcentaje de apertura establecido del 50%, lo cual permite una renovación de aire constante y brinda la sensación de confort térmico a los ocupantes de la sala.

La Figura 10 muestra el contraste entre el valor promedio de la temperatura aire medida, y los resultados obtenidos de la temperatura del aire por simulación, en la sala de estudio grupal.

Figura 10. Contraste entre los datos simulados con el modelo sintonizado y los datos medidos para la temperatura del aire.



La diferencia que se presenta al contrastar las mediciones efectuadas en el mes de junio y las simulaciones realizadas Para el rango de los meses comprendidos entre abril y julio es del orden del 12,9%.

Es indispensable tener en cuenta que se presenta el anterior resultado, debido a que la simulación arroja valores para los cálculos de temperatura durante 24 horas

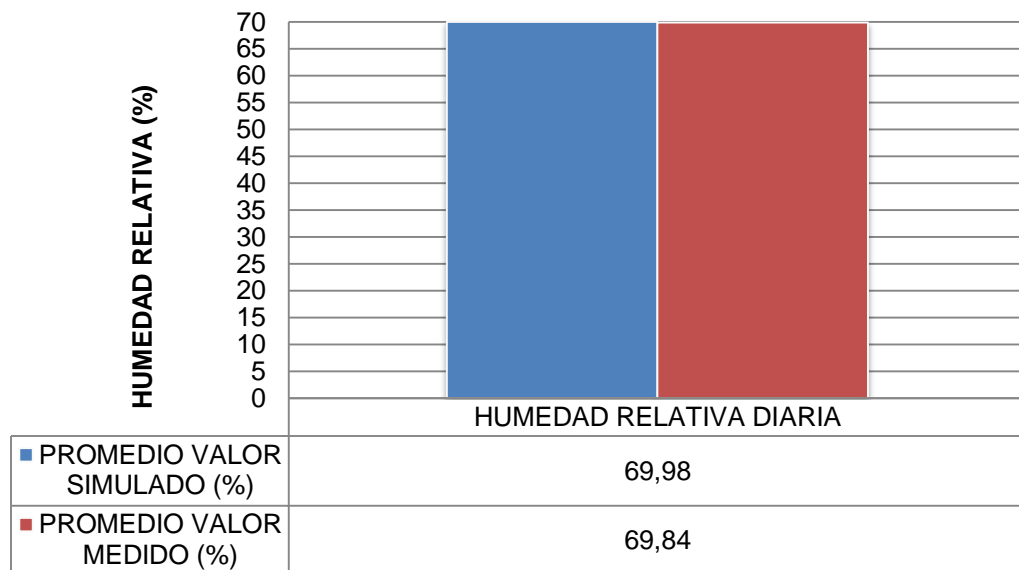
que corresponden a un día, durante un mes, para un periodo de un año. Mientras que los valores presentados en las mediciones fueron tomados para un periodo de 8 horas comprendidas entre las 08:00 horas y 17:00 horas, durante un periodo de tres días para la sala de estudio grupal. Por lo tanto, esta condición influye en el resultado.

La Figura 10 muestra una correlación importante entre la medición de variables y la simulación realizada, es decir, las dos series presentan un valor de comportamiento promedio similar, con lo cual se puede considerar, que a pesar de las diferencias entre los días de medición, días de simulación, valores medidos y valores simulados para este análisis, se tiene una buena calibración de la temperatura del aire para la zona presentada.

El análisis para contrastar las mediciones efectuadas con las simulaciones realizadas, fue realizado para cada una de las zonas críticas identificadas y definidas mostrando en todos los casos porcentajes de diferencias pequeños, por ende se puede dar por sintonizada la variable de temperatura del aire para el modelo tridimensional.

Con relación a la humedad relativa del aire, en la Figura 11 se comparan los valores medios estimados mediante el proceso de medición y los obtenidos realizando la simulación.

Figura 11. Contraste entre los datos simulados con el modelo sintonizado y los datos medidos para la humedad relativa.



La correlación entre el valor medio obtenido con la simulación con el valor medio estimado con el proceso de medición de la variable humedad relativa, presenta un margen de diferencia del orden del 0,2 %, dicha diferencia es bajo considerando la tendencia uniforme entre las dos series. Por tal motivo se puede determinar que hay una adecuada sintonización de la variable de humedad relativa. Este estudio se llevó a cabo para todas las zonas térmicas consideradas como críticas en la edificación, arrojando porcentajes de diferencia similares, logrando de esta manera una completa sintonización de la variable humedad relativa para el modelo.

Análisis interno CFD

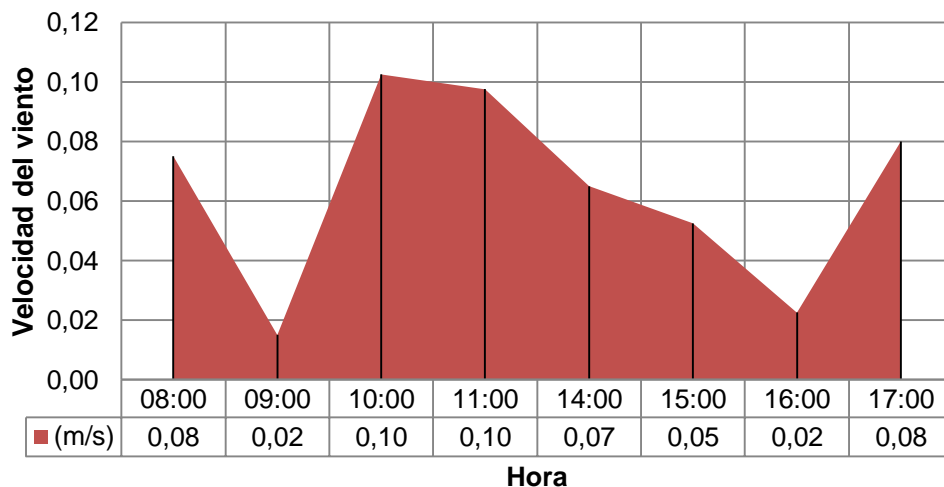
Un análisis interno CFD proporciona información sobre la distribución de la velocidad del aire, (y otros parámetros) para todo el interior de los espacios de la edificación[36]. También calcula la renovación del aire para indicar la frescura relativa del aire a través del espacio y un índice de confort[36]. Esta información puede utilizarse para evaluar la eficacia de diversos diseños de los sistemas de climatización (HVAC) y sistemas de los sistemas de ventilación natural, para de esta forma evaluar las condiciones de confort interior.

Con el fin de interpretar de forma adecuada las simulaciones CFD, se tiene en cuenta la información gráfica que brindan los resultados obtenidos posterior a la simulación; mediante la presentación de una escala la cual cuenta con rangos de valores numéricos, y colores que muestran el comportamiento de la temperatura en las superficies y la velocidad del viento; además de contar con vectores de velocidad que permiten apreciar tanto la dirección como la magnitud de este último, acorde a las escalas mencionadas previamente.

Contando con la información anterior para CFD, se analizan las zonas que presentan mayor velocidad del viento, la dirección de este, así como su influencia en la temperatura de las superficies.

En la Figura 12 se presenta la medición de la velocidad del aire para la zona térmica seleccionada con el fin de realizar una comparación entre los resultados simulados y lo medido en el periodo comprendido para la calibración del modelo.

Figura 12. Medición del promedio de la velocidad del viento en sala grupal.



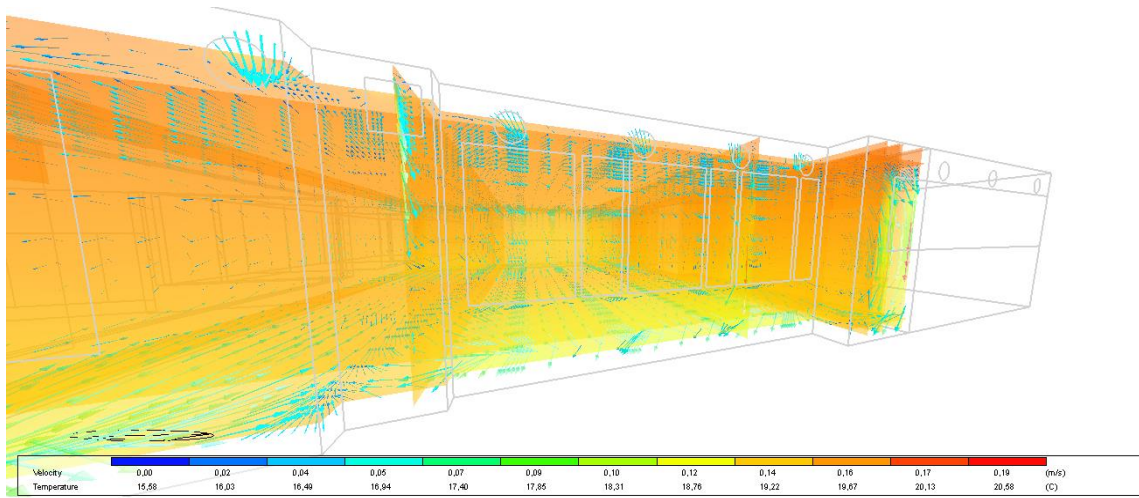
Para observar el comportamiento de la velocidad del aire en las demás zonas térmicas críticas se recomienda revisar en el anexo D las gráficas con las mediciones realizadas en situ.

Simulaciones de velocidad del viento

Para el modelado del viento, es conveniente distinguir dos escalas de tiempo, una con resolución pequeña, donde se consideran los fenómenos dominantes en un periodo de tiempo del orden de los segundos, y grandes escalas de tiempo con una resolución mayor para realizar gráficas que van desde minutos, hasta horas e inclusive días.

En la Figura 13 se puede observar una distribución de la velocidad del aire para la sala de estudio grupal, la cual muestra las velocidades promedio en el sitio; valores que para establecer condiciones de confort se aconseja mantener entre 0,18 m/s a 0,24m/s en verano [31]. Esto se contrasta con la Figura 8 que muestra la evolución de los valores medidos.

Figura 13. Simulación tipo de velocidad del aire de la sala grupal.



Con relación a la velocidad del viento, hay espacios del lugar de medición en los cuales se presentan velocidades de viento dentro del rango de confort mencionado previamente. Por otra parte, en otros espacios del edificio, a ciertas horas se presentan velocidades del viento tanto por debajo como por encima del rango de confort. Las velocidades bajas se deben a las condiciones climáticas a la hora de tomar la medida, o a la presencia de agentes externos que pueden interferir en la dirección del viento, como por ejemplo arboles alrededor. Los valores por encima se deben a ráfagas de viento de alta velocidad, que se presentan esporádicamente.

En general las velocidades de viento medidas en las áreas seleccionadas, se encuentran dentro de valores que se ajustan a niveles de confort establecidos. Los valores más altos de medición se presentan en las áreas de medición ubicadas en los pisos cuarto (4) y quinto (5), donde se encontraron valores de velocidad de viento superiores a 0,24 m/s. También hay sitios en los cuales se registraron valores de velocidad del viento de 0 m/s, como en la sala individual, que debido a su ubicación se dificulta la circulación del viento.

Cabe resaltar que la velocidad del viento es un factor climático muy complejo, difícil de controlar y que los resultados que se obtienen pueden variar debido a esta complejidad.

En la Figura 13 se muestra las velocidades del viento que se obtuvieron en la simulación en la sala de estudio grupal.

Análisis de confort térmico

DesignBuilder y el módulo EnergyPlus generan una gran cantidad de datos sobre las condiciones ambientales dentro del edificio y los niveles de confort de los ocupantes [37]. La Tabla 22 relaciona las variables de salida del confort térmico que ofrece el software.

Tabla 22. Variables de salida de confort mediante DesignBuilder.

VARIABLE DE SALIDA	CARACTERÍSTICAS
La temperatura del aire interno	La temperatura media calculada del aire
Temperatura radiante Interna	La temperatura radiante media de la zona, calcula suponiendo que la persona está en el centro de la zona, sin ponderación para cualquier superficie en particular.
Temperatura operativa interna	La media del aire interno y temperaturas radiantes.
Temperatura de bulbo seco	Datos del sitio.
Humedad relativa	La humedad relativa media calculada del aire.

- **Temperatura del aire interno:** A partir de las simulaciones obtenidas en DesignBuilder se observa que la temperatura del aire en los espacios de medición aunque presenta valores por encima de los de referencia, la percepción de este incremento no se aprecia debido a la presencia de sistemas de aire acondicionado para el cuarto y quinto piso, y la ventilación natural en el primer piso (sala grupal).
- **Temperatura radiante interna:** Los mayores valores de esta temperatura se presentan para las áreas del quinto piso, las cuales cuentan con gran cantidad de equipos de oficina, ya que dicha temperatura representa el calor en forma de radiación emitido por los mismos; además que estas áreas cuentan con gran cantidad de superficies otro factor que influye son las superficies, ya que la temperatura radiante se puede establecer a partir de las temperaturas de todas las superficies.
- **Temperatura operativa interna:** Esta temperatura presenta valores por encima de los valores de referencia que están entre 23-26 °C [38]. Para verano, rango por el cual las personas pueden percibir un aumento de temperatura; se atribuye a la actividad constante que se desarrolla, puesto que son áreas de trabajo de oficina.
- **Temperatura de bulbo seco:** La temperatura de bulbo seco, mostrada indica las condiciones al exterior de la edificación, puesto que representa una temperatura de referencia para en el cálculo estacionario del balance térmico del edificio.
- **Humedad relativa:** Pese a que en ciertas horas del día, como lo es las horas de la tarde, los valores exceden a los de referencia entre el 40% y el 60% [31], La percepción térmica de esta variable, no es tan notable, ya que se menciona anteriormente la posibilidad de contar con ventilación natural, permite una renovación constante de aire, lo cual implica que los cambios de esta variable no impacten notablemente sobre el confort térmico.

En general el hecho de contar con ventilación natural, y aire acondicionado (cuarto y quinto piso), permite que aunque los valores de las variables climáticas, se encuentren por encima de lo recomendado, no se presente disconfort en las personas que se encuentren en los espacios desarrollando sus actividades.

En el comportamiento de las variables climáticas al interior de las áreas del edificio influye además de las condiciones exteriores, el nivel de ocupación que presenten, como también el tiempo de apertura tanto de puertas como de ventanas, lo cual permite la circulación de aire, un factor importante al momento de establecer que tanto calor y humedad hay en los espacios.

Una descripción detallada de los valores de las variables comentadas anteriormente se presenta en el capítulo 6: “SIMULACIONES DEL MODELO REALIZADAS EN DESIGNBUILDER”.

8.3.2 Simulaciones con el modelo sintonización

Cálculos de iluminación natural

El cálculo de iluminación natural mediante Daylight presenta gráficos de contorno de iluminancia y el factor promedio de la luz del día y la uniformidad se generan para cada zona calculada utilizando el motor de simulación de trazado de rayos resplandor. En la Tabla 23 se establecen los criterios utilizados para la configuración del modelo de simulación implementado en Daylight.

Tabla 23. Criterios configurados al modelo para la simulación mediante Daylight.

Criterios	Descripción
Plantilla de iluminación	Se estableció el tipo de luminaria (empotrada, suspendida, superficial, con ducto de ventilación y techo luminoso) utilizada en cada estancia.
Energía de iluminación	Distribución en W/m^2 de la energía de la iluminación para cada área.
Control de la iluminación	Se estableció el tipo de control (lineal, lineal on, off y escalonado) usado en cada espacio, configurando el control escalonado.

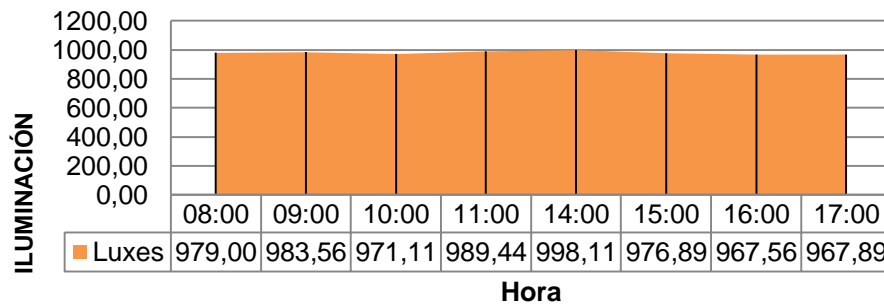
Datos que influyen en el cálculo de la iluminación natural

Para generar datos sobre la distribución de los niveles de iluminancia y factores de luz natural dentro de cada zona, para una o más zonas en el edificio, DesignBuilder utiliza los siguientes datos proporcionados en el modelo.

- Reflectivas de la superficie visible del material en la capa más interna de las construcciones.
- Transmitancia y acristalamiento de la ventana.
- Descripción geometría detallada incluyendo las superficies en 3-D.
- Opciones de cálculo de iluminación natural.
- Reflectancia del suelo.

En la Figura 14 se observa la medición de los niveles de iluminación promedio para la zona térmica seleccionada. Dicha medición se realizó según las observaciones del RETILAP. En el anexo E se pueden observar la ubicación de los puntos de medición a partir de una cuadrícula imaginaria para cada espacio determinado.

Figura 14. Niveles de iluminación medidos para la sala grupal.



En el capítulo 5, se aprecian los niveles de iluminación para todas las zonas críticas definidas previamente.

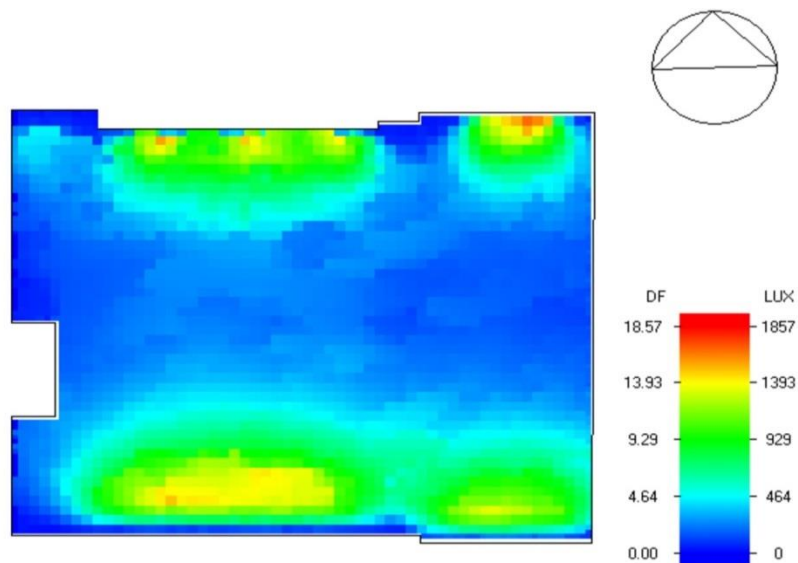
Simulaciones de niveles de iluminación

La Figura 15 muestra los niveles de iluminación natural de la sala grupal generados por DesignBuilder, que consiste en un mapa de contornos en el que se muestra la distribución de la luz del día a lo largo del plano de trabajo del objeto en la pantalla. Dicho cálculo se realizó a través de una simulación anual y con el modelo sintonizado.

El software calcula los datos mediante el motor de simulación Radiance que calcula la distribución de los factores de iluminancia de luz del día y en el plano de trabajo utilizando un método de trazado de rayos.

Observando la Figura 15, se establece que los niveles más elevados de iluminación se presentan en los lugares cercanos a las ventanas, ya que estas son una entrada directa de luz solar al espacio; para el aporte de luz día, en el lugar de medición, los niveles de iluminación encontrados, a pesar de que en algunas zonas del sitio de medición son elevadas, son tolerables para el trabajo desempeñado en esta área, adaptándose a los niveles exigidos en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP.

Figura 15. Simulación tipo de los niveles de iluminación natural de la sala grupal.



En general, las mediciones realizadas en las áreas seleccionadas, y los niveles de iluminación encontrados durante las tomas de medidas presentan valores que se ajustan a lo necesario, para desarrollar las labores propias de cada espacio. Cabe anotar que para la toma de medidas en los espacios del primer piso, la sala individual, y grupal, se contaba con la presencia tanto de iluminación natural, como artificial. Esto contribuía a que los valores obtenidos estuviesen en un rango mayor.

En cuanto a las zonas del cuarto (4) y quinto (5) piso las medidas se tomaron con la presencia de luz natural en la mayor parte del tiempo arrojando resultados que evidencian que estas áreas de medida cuentan con niveles de iluminación ajustados a las actividades propias de su uso, (clases en el cuarto (4) y administrativas en el quinto (5) piso), aunque en ocasiones se presentan valores elevados debido a la gran intensidad de iluminación aportada por el sol.

Análisis del confort visual

En la Tabla 24 se encuentran las características principales para definir un análisis del confort de iluminación visual. Estas variables tienen requerimientos mínimos para la creación de un ambiente interior confortable y productivo para los usuarios del edificio.

Tabla 24. Criterios principales aplicables al ambiente visual para el análisis del confort.

CARACTERÍSTICA	RECOMENDACIÓN
Nivel de iluminación	Los niveles mínimos de iluminación de los lugares de trabajo serán los establecidos por el RETILAP, según marco legal colombiano.
Iluminación natural	Siempre que sea posible, los lugares de trabajo tendrán una iluminación natural.
Iluminación artificial	Deberá ser complementaria, cuando la iluminación natural, por sí sola, no garantice las condiciones de visibilidad adecuadas.
Uniformidad	El área debería ser iluminada de la forma más uniforme posible, y el nivel de iluminación en los alrededores debe estar

	en relación con el nivel existente en el área de trabajo.
Equilibrio de luminarias	La distribución de luminancias en el campo visual debe ser similar a la existente en el campo visual del ocupante.
Deslumbramiento	Se evitarán fuentes de luz con luminancia excesiva en relación con la luminancia general existente en el interior del local (deslumbramiento directo), o bien, fuentes de luz que se reflejan sobre superficies pulidas (deslumbramiento por reflejos).

- **Nivel de iluminación:** A partir de las simulaciones realizadas mediante Daylight se determina que el edificio tiene un cumplimiento normativo del 100 por ciento, según los niveles recomendados por el RETILAP para cada uno de los espacios.
- **Iluminación natural:** Teniendo en cuenta la distribución espacial del edificio, se aprecia que la obstrucción más importante se da en la fachada Este, por el Edificio de Ingeniería Industrial. Con relación a la radiación solar, se determina que en la parte alta de la fachada Oeste tiene una penetración de la radiación solar al finalizar la tarde, en horas de la mañana se tiene un caso menos crítico para la fachada Este, debido a la sombra mencionada. Adicionalmente se tiene un mecanismo utilizado para aprovechar la iluminación natural, el cual se realiza mediante tubos solares.

A partir de las simulaciones y mediciones realizadas se determinó que para el cuarto piso se obtiene un cumplimiento normativo total, sin influencia de la iluminación artificial; discrepando con lo obtenido en el primer piso, ya que para este piso es necesario complementar la iluminación natural con la artificial, para poder dar un cumplimiento normativo.

Respecto al quinto piso se puede determinar que la iluminación artificial es suficiente para un 60 por ciento promedio del tiempo, viendo la necesidad de complementar con iluminación artificial en horas de la tarde.

- **Iluminación artificial:** Analizando los resultados obtenidos se determina que es complementaria ya que es necesaria en un 45 por ciento del tiempo, siendo más influyente en los pisos quinto, sótano y primero.

- **Uniformidad:** Este análisis se llevó a cabo en gran parte mediante las mediciones realizadas, y a partir de las gráficas obtenidas mostradas en el capítulo 5, GRÁFICAS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS EN SITU, se logra observar una uniformidad completa para cada una de las estancias medidas, dando total cumplimiento a este criterio de confort visual.
- **Equilibrio de luminarias:** Teniendo en cuenta que las mediciones y las simulaciones realizadas tienen como base de cálculo un plano definido de trabajo, y revisando el Anexo D. Puntos de medición en las áreas críticas, se observa que existe un equilibrio espacial en la distribución de las luminarias, esto contrastado con las mediciones realizadas y el plano definido en los parámetros para las simulaciones.
- **Deslumbramiento:** Para este parámetro se tuvo en cuenta las zonas del edificio que presentaban una medida o resultado de las simulaciones bastante elevado comparado con el promedio, esto para una misma zona térmica. Teniendo en cuenta lo anterior, se encontró que las posibles zonas susceptibles a deslumbramiento se encuentran en el cuarto y quinto piso en las zonas próximas a las ventanas.

Teniendo en cuenta que dentro de las zonas críticas un 64% son susceptibles a deslumbramiento, lo que corresponde para el quinto piso la sala de espera en el corredor exterior, el área de archivo, la sala de estar, la sala de reuniones y el ante sala a dirección. Finalmente para el cuarto piso las zonas con posible deslumbramiento son las aulas 402 y 401, dichas zonas corresponden a las áreas más próximas a la radiación solar directa. La Tabla 25 muestra las iluminancias promedio de las aulas 402 y 401 del cuarto piso para un día parcialmente nublado.

Tabla 25. Iluminancias promedio para un día promedio con cielo parcialmente nublado.

ÁREA	MODELO SIMULADO	ILUMINANCIA PROMEDIO
Aula 402	Modelo con tubos solares	1010 Lux
	Modelo sin tubos solares	813 Lux

Aula 401	Modelo con tubos solares	583 Lux
	Modelo sin tubos solares	826 Lux

Se puede considerar que el 58% de las zonas susceptibles a deslumbramiento son áreas de tránsito de personas, es decir, no corresponde a áreas con un elevado volumen de estancamiento de personas y no tiene un ambiente laborable. A partir de este análisis se obtiene que un 9% de las áreas críticas sean susceptibles a deslumbramiento y son zonas con un plano de trabajo correspondiente a oficinas y a aulas.

Mediante las simulaciones Daylighting realizadas para un día promedio nublado se logra determinar un aumento en los niveles de iluminación que varía entre un 24% y un 42%, teniendo como promedio un aumento del 33% en los niveles de iluminación de las áreas proporcionadas con tubos solares. La Tabla 26 muestra las iluminancias promedio de las aulas 401 y 402 del cuarto piso para un día parcialmente nublado.

Tabla 26. Iluminancias promedio para el día con mayor radiancia del año para un cielo parcialmente nublado.

ÁREA	HORA DEL DÍA	ILUMINANCIA PROMEDIO SIN TUBOS SOLARES, LX	ILUMINANCIA PROMEDIO CON TUBOS SOLARES, LX
Aula 402	6:00	120	136
	8:00	1069	1156
	10:00	932	1114
	12:00	631	760
	14:00	1073	1183
	16:00	998	1078
	18:00	72	81
Aula 401	6:00	70	90

8:00	511	672
10:00	527	808
12:00	430	610
14:00	610	882
16:00	618	795
18:00	48	65

Para las simulaciones Daylighting realizadas en el día más soleado del año y con cielo parcialmente nublado realizado en el capítulo 6, sección 6.1 *SIMULACIONES CON DAYLIGHTING*, se verifica la tendencia en el aumento de la iluminación para las áreas con tubos solares.

Si se comparan los resultados obtenidos en las simulaciones con la Tabla 410.1 del RETILAP (Nivel de Iluminación promedio para un salón de clase: 500 Lx), se tiene un aprovechamiento del 71% del tiempo de la iluminación natural de la geolocalización del edificio, esto si se considera que el día de clase inicia a las 6:00 y finaliza a las 20:00, mientras que para las mismas áreas, si no se contara con dicha aplicación solo se podría aprovechar en un 57% la iluminación natural. Es decir, con los tubos solares se tiene un aumento del 14% en el aprovechamiento de la iluminación natural para un día.

Dicho análisis se llevó a cabo para el día más soleado del año, a diferentes horas del día y para un cielo parcialmente nublado.

Simulaciones de consumo de energía

Con la simulación de consumo de energía mediante herramientas computacionales como se consigue optimizar las soluciones arquitectónicas y constructivas de un proyecto para reducir el gasto de energético y aumentar el confort. DesignBuilder arroja consumos totales de combustible para la construcción.

El software tiene como limitante que los resultados se encuentran disponibles a nivel de construcción solamente, es decir, la visualización de los consumos de energía se encuentran a nivel bloque y no por estancias térmicas o zonas. En la Tabla 27, se encuentran las consideraciones y criterios establecidos con el modelo sintonizado para obtener los consumos de potencia anuales por piso.

Tabla 27. Criterios configurados al modelo para simular el consumo de potencia anual.

CRITERIOS	DESCRIPCIÓN
Iluminación	Se estableció el aporte de iluminación artificial (se especifica la cantidad de luxes por zona) + aporte de luz natural según datos climáticos.
Sistema HVAC	Se programó que los sistemas de aire acondicionado se encendieran en los periodos en los que la temperatura excedía los 25°C, consigna determinada de la programación real del edificio.
Ocupación	Se programó mediante el promedio anual, teniendo en cuenta dos semestres consecutivos, para cada estancia.

Las figuras 16 y 17 muestran los consumos de energía total del Edificio de Ingeniería Eléctrica, para un periodo de doce (12) meses, medido y simulado.

Figura 16. Consolidado anual del consumo de energía por piso y total del edificio de Ingeniería Eléctrica (datos medidos).

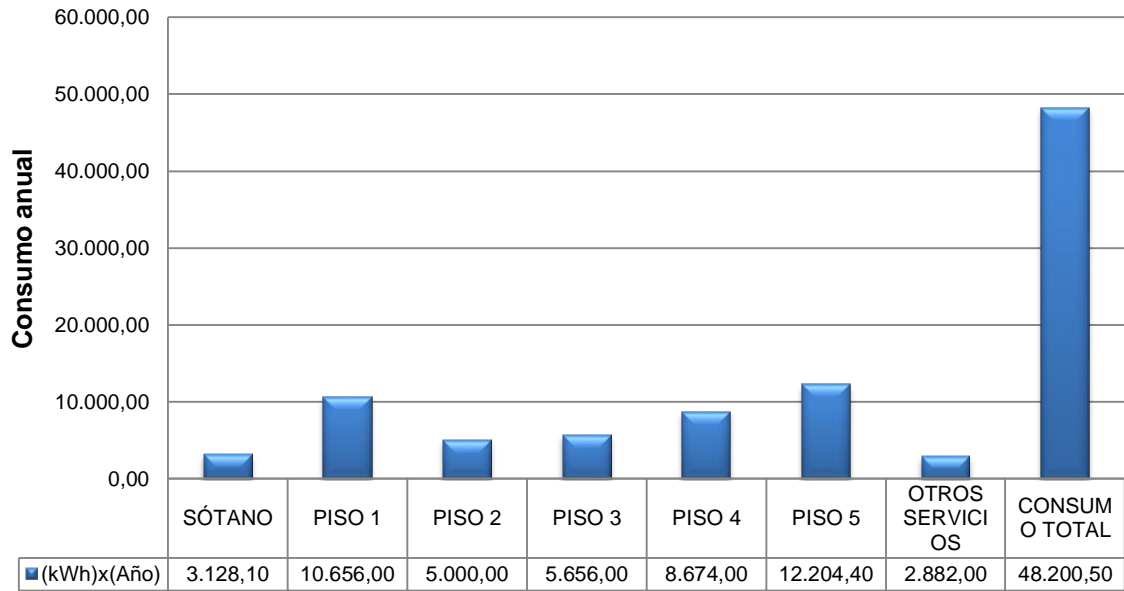
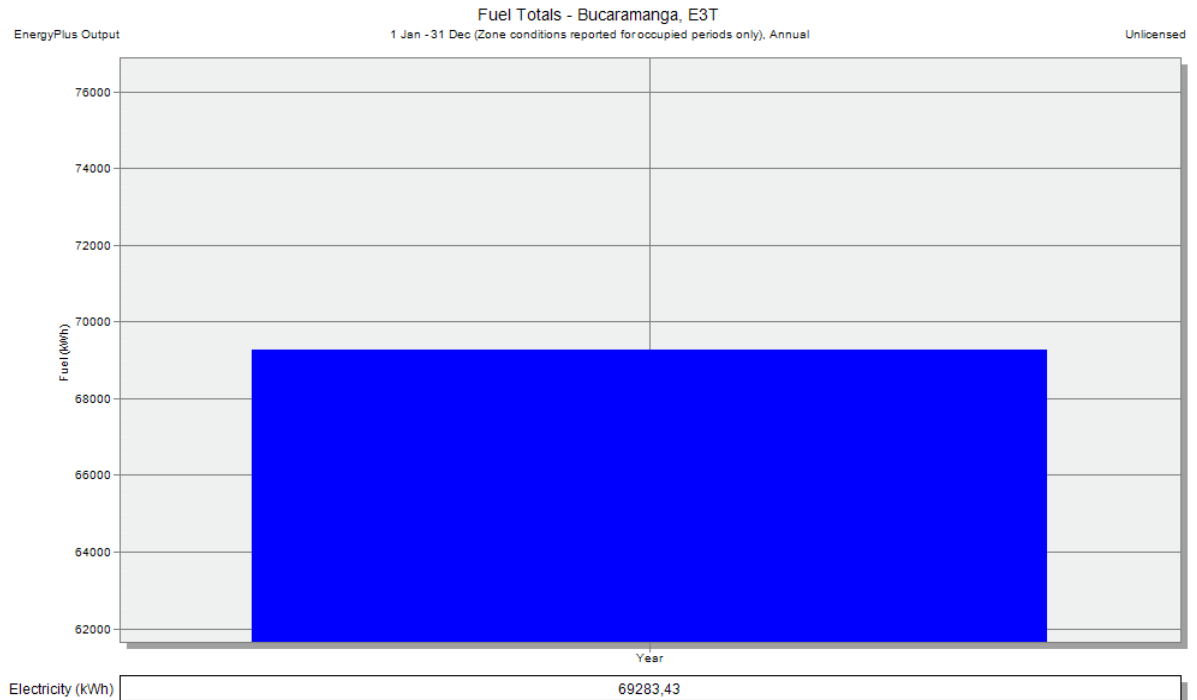


Figura 17. Consolidado anual del consumo de energía total del Edificio de Ingeniería Eléctrica (datos simulados).



Se observa una diferencia entre los valores medidos y simulados que tiene que ver con las condiciones establecida en el modelo simulado y las que se presentaron cuando se realizó la medición, dado que las condiciones de utilización no coinciden plenamente con las de la simulación como se detalla a continuación.

En la creación del modelo geométrico del edificio en DesignBuilder, para el cual se crean plantillas de iluminación, materiales, HVAC, aperturas, actividad, siendo esta última una posible fuente de diferencias entre lo medido y lo simulado, ya que gran parte de las entradas físicas con las que cuenta esta plantilla son modificadas para obtener la sintonización del modelo.

Por ejemplo el consumo del sistema de ventilación artificial presentado por los aires acondicionados, juega un papel muy importante en los resultados obtenidos para el consumo total de energía eléctrica (kWh), ya que al momento de realizar las mediciones no siempre van estar en funcionamiento todos los sistemas de aire acondicionado, y durante todo el día. Mientras que para las simulaciones realizadas, si se activan los aires acondicionados al colocar a simular por un periodo de un año, estos van a estar funcionando y consumiendo energía en todo ese tiempo, lo cual genera un incremento en el consumo total de energía eléctrica del edificio, en comparación con los resultados obtenidos en las mediciones.

Teniendo en consideración el consumo anual total simulado, el consumo anual total medido, las limitaciones a nivel de construcción, y la diferencia en el periodo y tiempo de funcionamiento de los aires acondicionados entre lo medido y lo simulado; se establece que el modelo global del Edificio de Ingeniería Eléctrica presenta una buena sintonización y calibración.

Simulaciones energéticas asociadas a ganancias térmicas y consumo por climatización

Luego de haber concluido con la sintonización y calibración del modelo del edificio en DesignBuilder se procede a realizar una serie de simulaciones para el estudio del edificio, con el fin de poder observar con detalles el comportamiento, que este presenta, para consumos energéticos por climatización, ganancias térmicas obtenidas por medio de los distintos componentes que conforman la edificación, y por las transferencias de calor en las zonas de estudios. A continuación se muestra

los resultados realizados para los comportamientos anuales de las variables anteriormente mencionadas:

- **Ganancias térmicas asociadas a distintos componentes del edificio**

Se analizan los valores de ganancias y la relación que presenta el acristalamiento externo con otros componentes del edificio para el Aula 402, observando el incremento de la ganancia térmica en kWh, al pasar de un techo convencional en concreto a un techo verde.

La Tabla 28 presenta las ganancias térmicas presentadas con y sin techo verde. Por otra parte, la Tabla 29 resume las diferencias entre el acristalamiento y las otras ganancias térmicas del aula 402.

Tabla 28. Ganancias térmicas en (kWh) del aula 402, y la diferencia con y sin techo verde.

SIMULACIONES ENERGETICAS (ANUAL)	AULA 402		CAMBIO QUE EXISTE APLICANDO TECHO VERDE (ANUAL)	
	GANANCIAS TÉRMICAS DE LOS MATERIALES	SIN TECHO VERDE	CON TECHO VERDE	AUMENTO DE GANANCIA TÉRMICA (kWh)
Acrisolamiento	- 3509,36 0	- 3881,520	-372,160	10,605
Paredes	- 2381,30 0	-525,010	1856,290	-77,953
Techos(int)	4,270	4,020	-0,250	-5,855
Particiones(int)	- 540,820	-599,760	-58,940	10,898
Aire externo	-43,700	-46,590	-2,890	6,613
Ganancias solares ventanas exteriores	4894,37 0	4917,320	22,950	0,469

Tabla 29. Diferencia entre el acristalamiento y las otras ganancias térmicas para el aula 402.

DIFERENCIA ANUAL ENTRE ACRISTALAMIENTO Y LAS OTRAS GANANCIAS	
Acrisolamiento comparado con	Diferencia a favor (%)
Ganancias solares ventanas exteriores	10,136
Aire externo	3,992
Particiones(int)	-0,293
Techos(int)	16,460
Paredes	88,558

- **Ganancias térmicas asociadas a la transferencia de calor a través de las cubiertas exteriores:**

Las ganancias térmicas obtenidas a través de las cubiertas exteriores para este análisis se obtienen por medio de las ganancias dadas por el techo exterior. En la Tabla 30 se muestra el comportamiento para las dos condiciones que se pueden presentar en el techo de la zona crítica oficinas tipo modulares.

Tabla 30. Ganancias térmicas anuales en (kWh) de las oficinas tipo modulares.

SIMULACIONES ENERGETICAS (ANUAL)	OFICINAS TIPO MODULARES		CAMBIO QUE EXISTE APLICANDO TECHO VERDE (ANUAL)	
	Sin techo verde (kWh)	Con techo verde (kWh)	Aumento de ganancia térmica (kWh)	disminución de ganancia térmica (%)
Ganancias térmicas de cubiertas exteriores	-	-	-251,120	31,483
Techos	797,630	1048,750		

- **Consumo energético en climatización para una zona del cuarto piso:**

El comportamiento anual de consumo energético por climatización, se obtiene por la ganancia en consumo total por enfriamiento obtenido con la simulación realizada en DesignBuilder para el aula 401 y se resume en la Tabla 31. Con estos resultados se observa el cambio que tuvo cuando se pasa de un techo en concreto convencional a un techo con cubierta verde.

Tabla 31. Consumos y ganancia energética promedio anual del aula 401.

SIMULACIONES ENERGETICAS (ANUAL)	AULA 401		AUMENTO EN CONSUMO Y GANANCIA AL APLICAR TECHO VERDE	
	Sin techo verde (kWh)	Con techo verde (kWh)	Aumento de consumo y ganancia (kWh)	disminución de consumo y ganancia (%)
Iluminación general	661,180	661,180	0,000	0,000
Misceláneo	200,720	200,720	0,000	0,000
Computadores + Equipos	246,300	246,300	0,000	0,000
Enfriamiento total	- 11945,18 0	- 12514,13 0	-568,950	4,763

En el capítulo 6, sección 6.2, Se muestra detalladamente el análisis completo, para el comportamiento anual, mensual, y diario, para los resultados de simulaciones energéticas mostradas en las tablas anteriores.

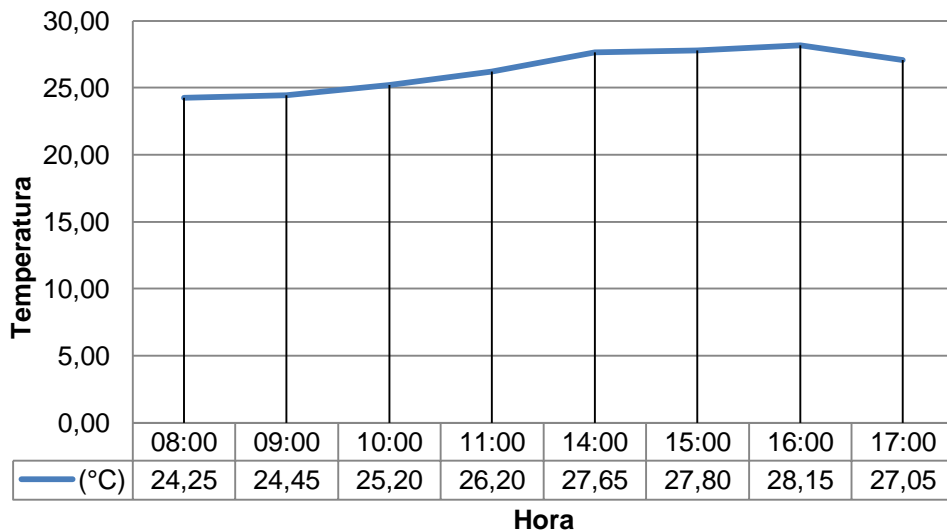
9. GRAFICAS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS IN SITU

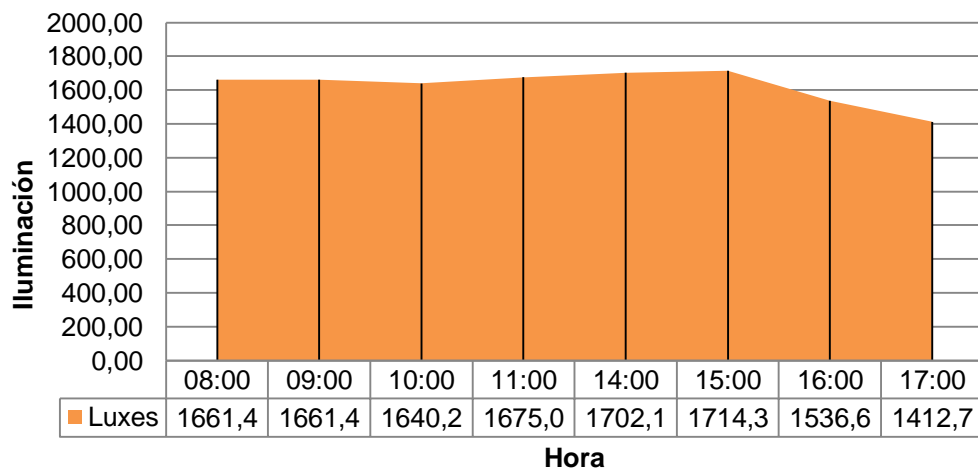
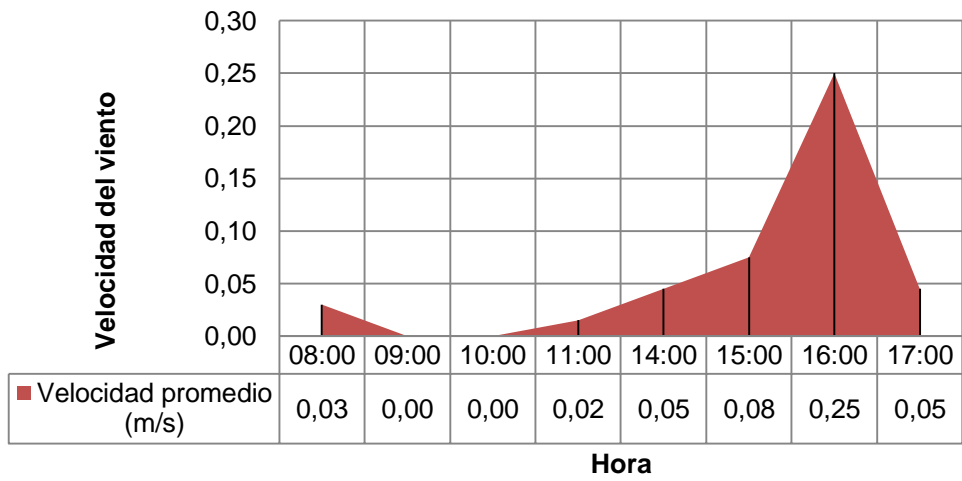
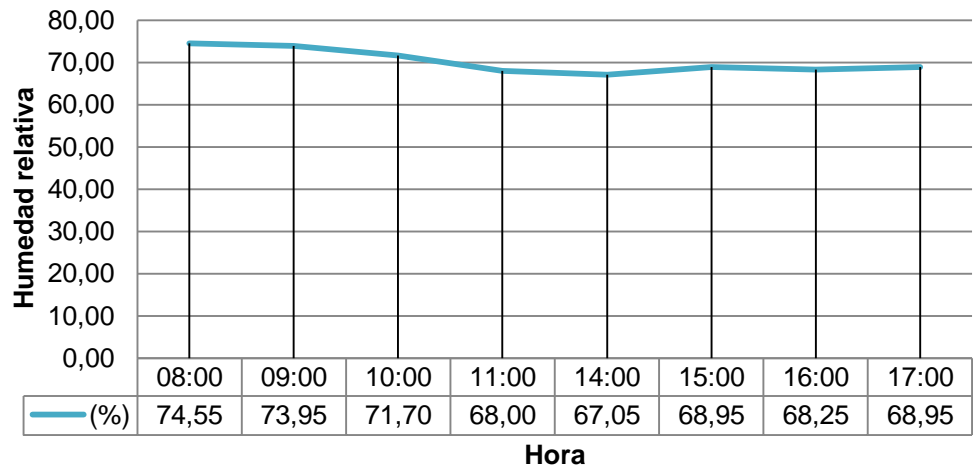
Para realizar el análisis energético en el Edificio de Ingeniería Eléctrica, se necesitó de dos fuentes de información como puntos de referencias, con el fin de poder hacer relaciones y comparaciones en donde se pudieran definir conclusiones acerca del comportamiento de la edificación. El análisis se realizó entre el modelo diseñado en DesignBuilder y los datos medidos en la edificación.

Los resultados arrojados por el software se dan en gráficas, mientras que los obtenidos en las mediciones se recopilaron en tablas mostradas previamente en el anexo C.

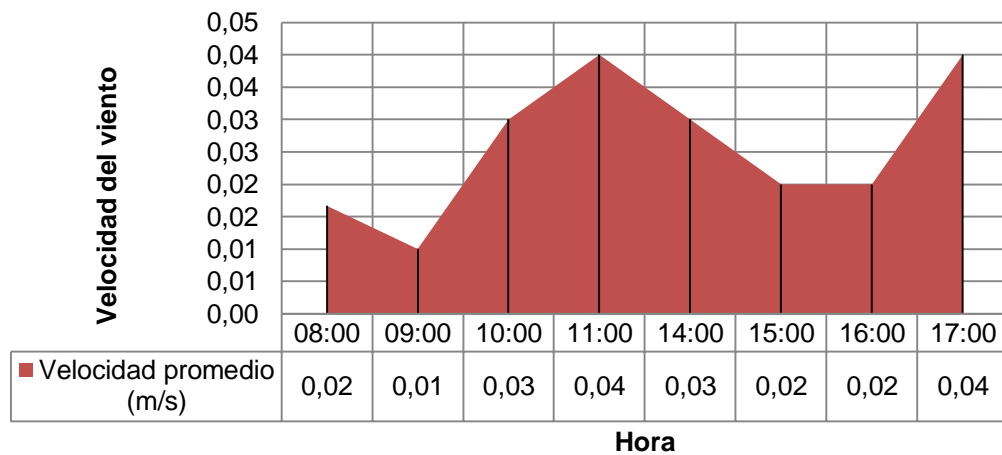
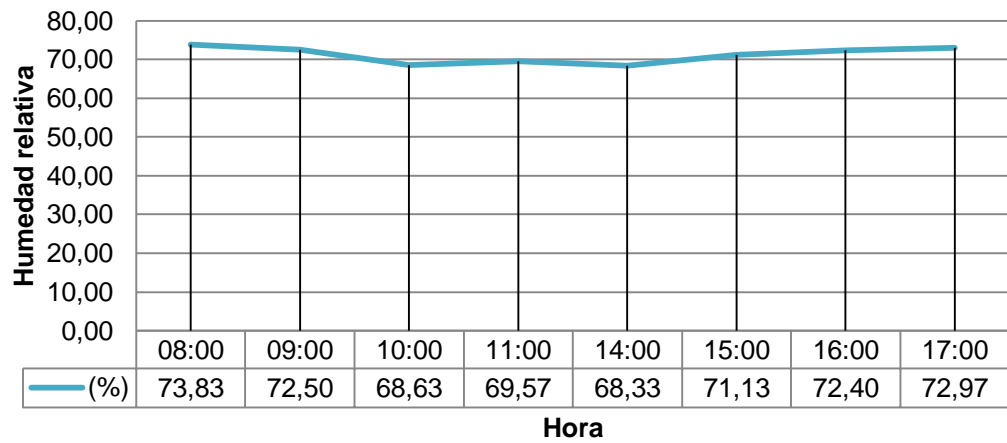
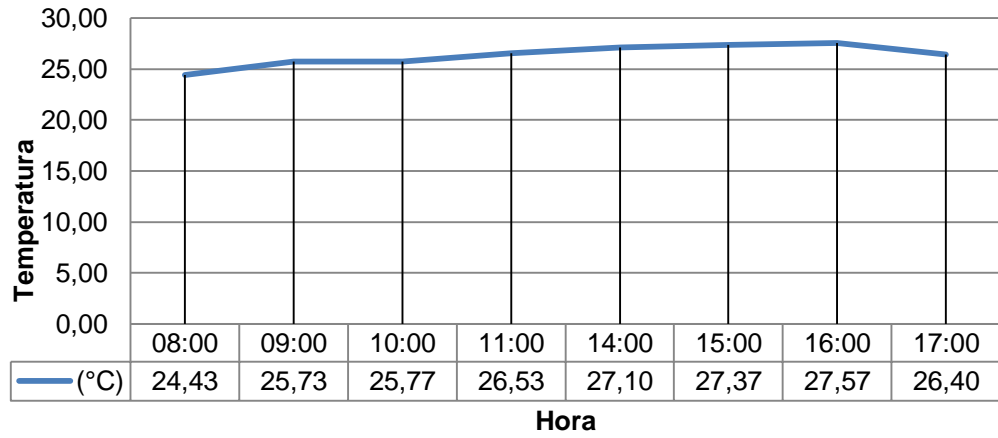
Las mediciones se graficaron en Excel, y se elaboraron en cada una de las zonas críticas asignadas, para las medidas en el quinto (5), cuarto (4), y primer (1) piso del edificio. A continuación se presentan las gráficas obtenidas:

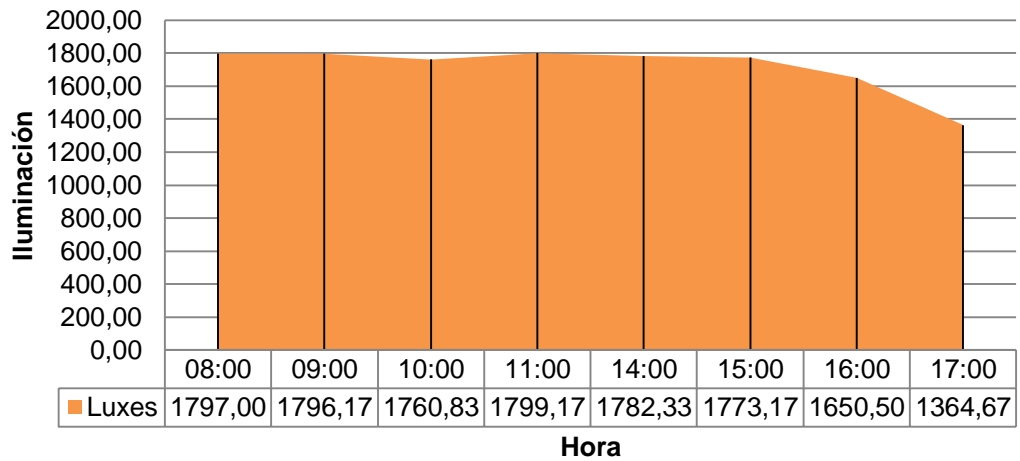
Figuras 18. Mediciones para el día (1) del quinto piso, zona de proyectos y servicios.



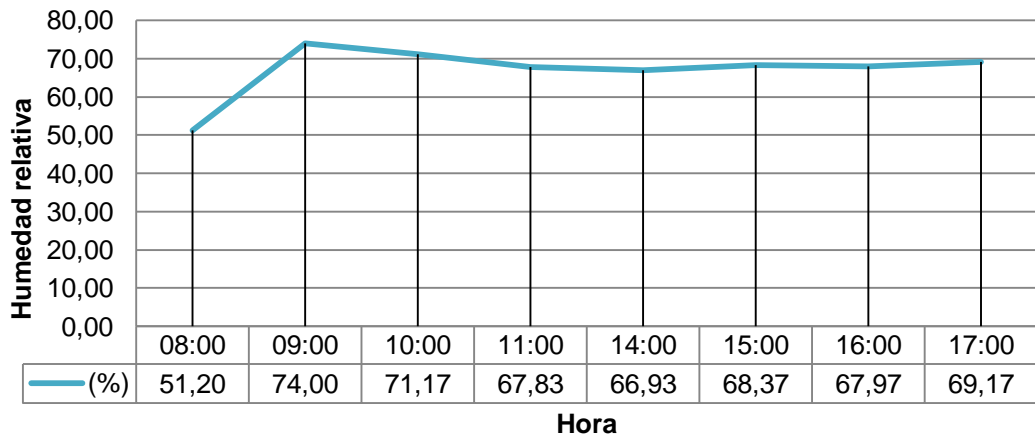
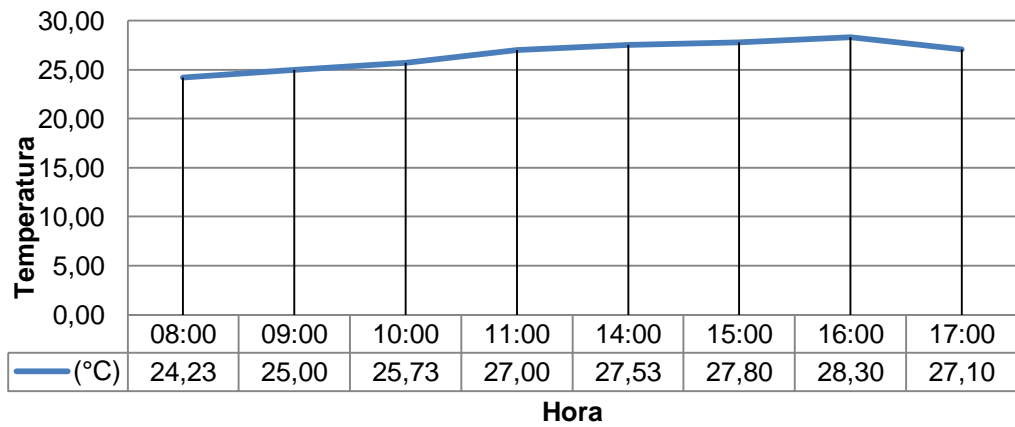


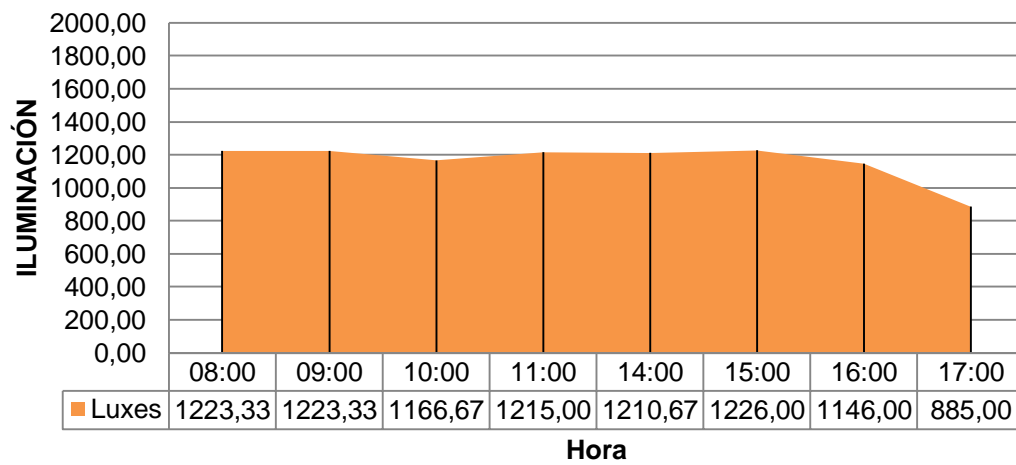
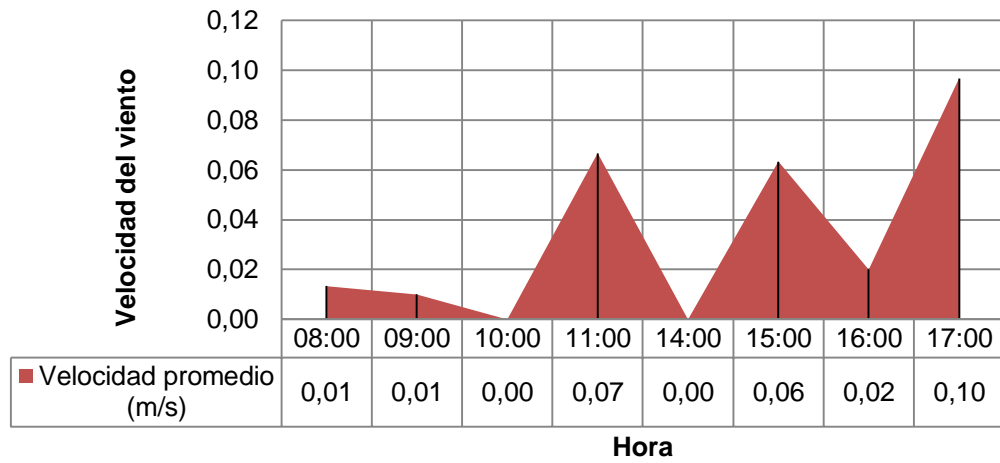
Figuras 19. Mediciones para el día (1) del quinto piso, zona sala de pregrado.



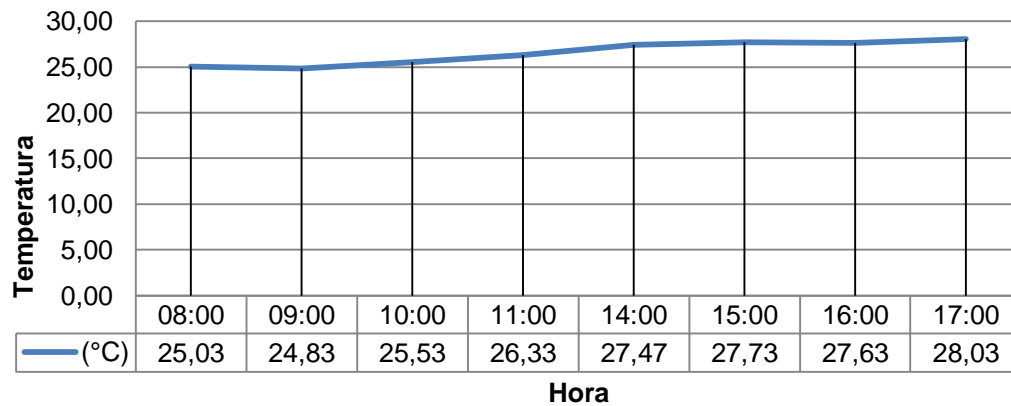


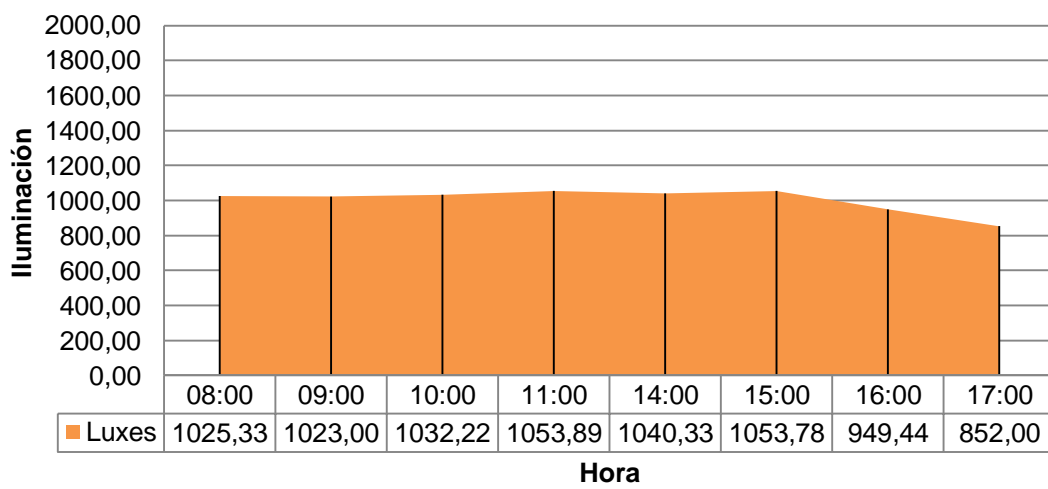
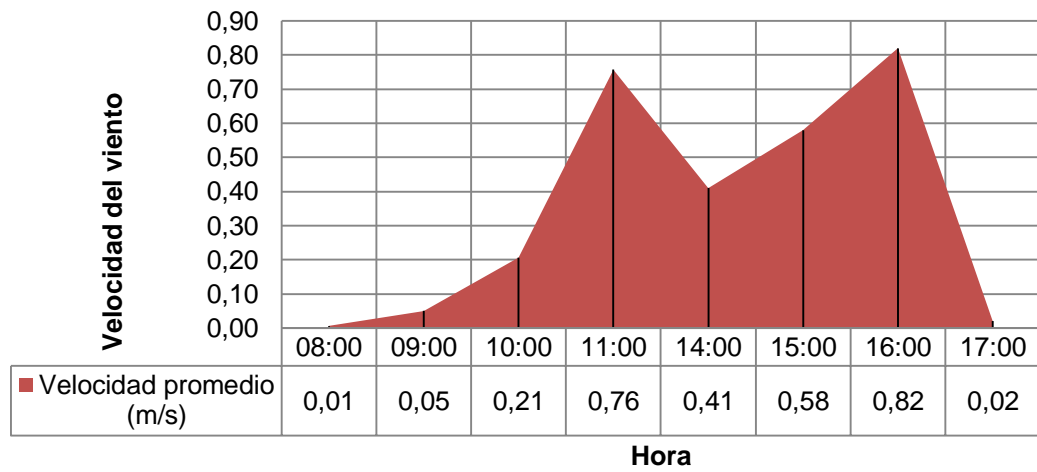
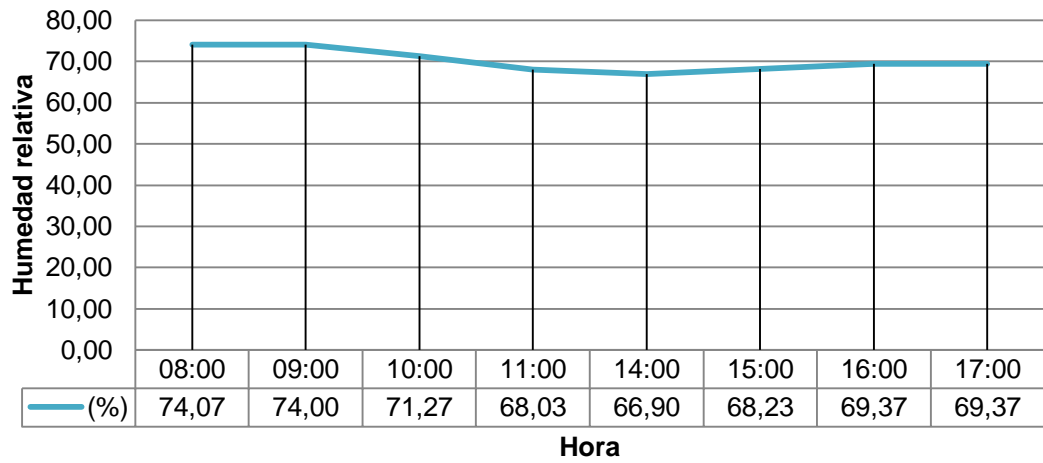
Figuras 20. Mediciones para el día (1) del quinto piso, zona de archivos.



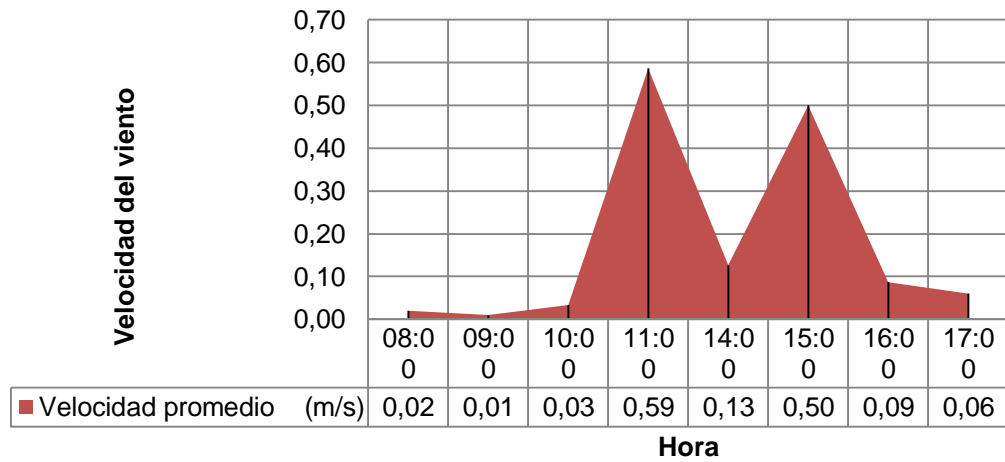
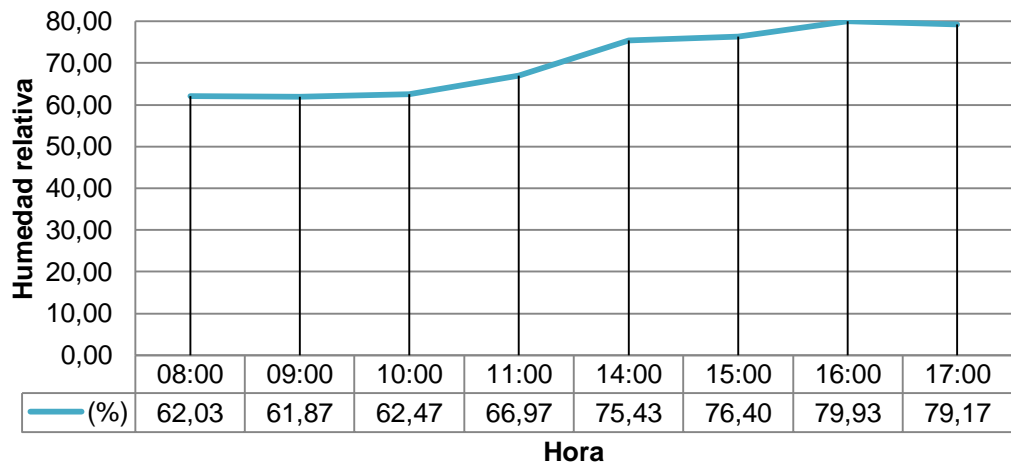
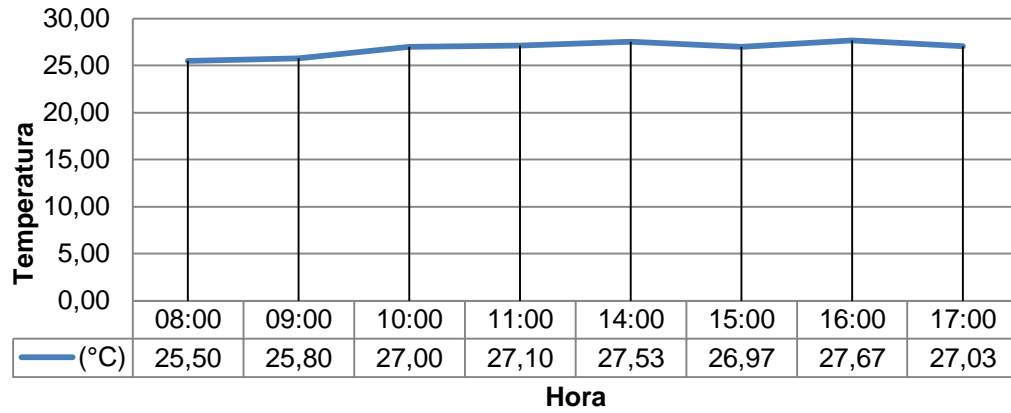


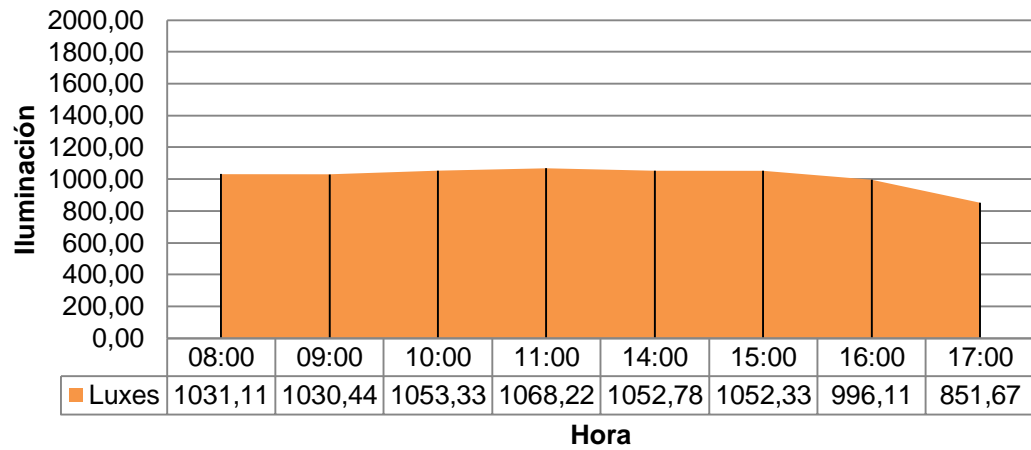
Figuras 21. Mediciones para el día (1) del quinto piso, zona sala de estar.



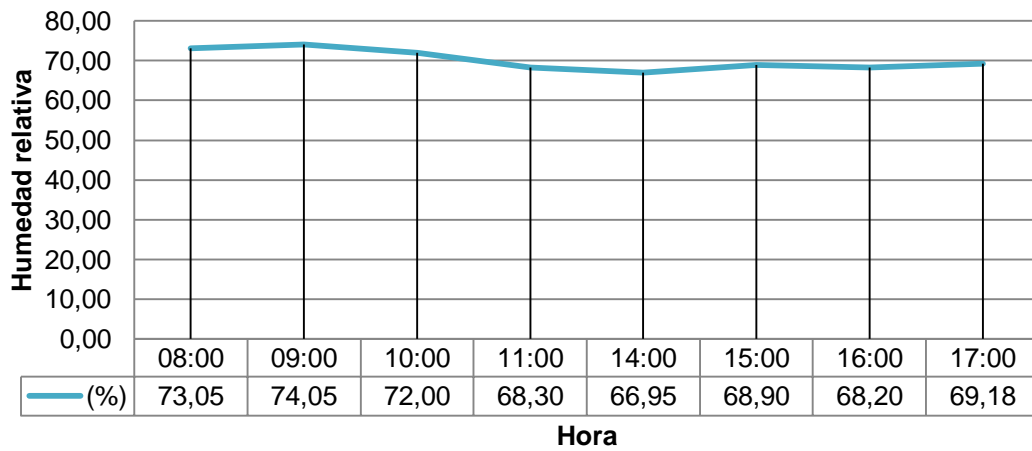
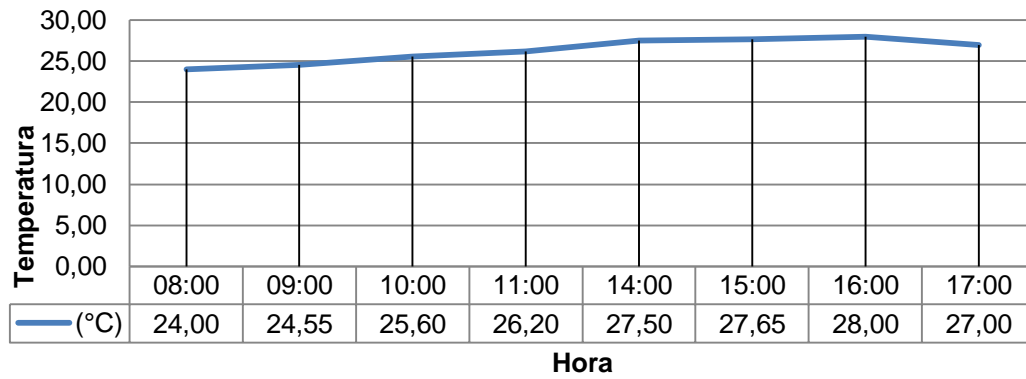


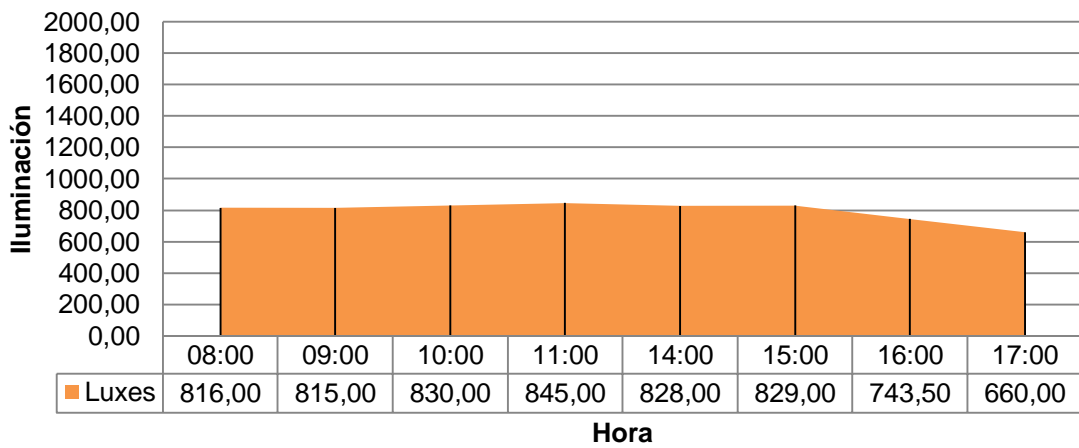
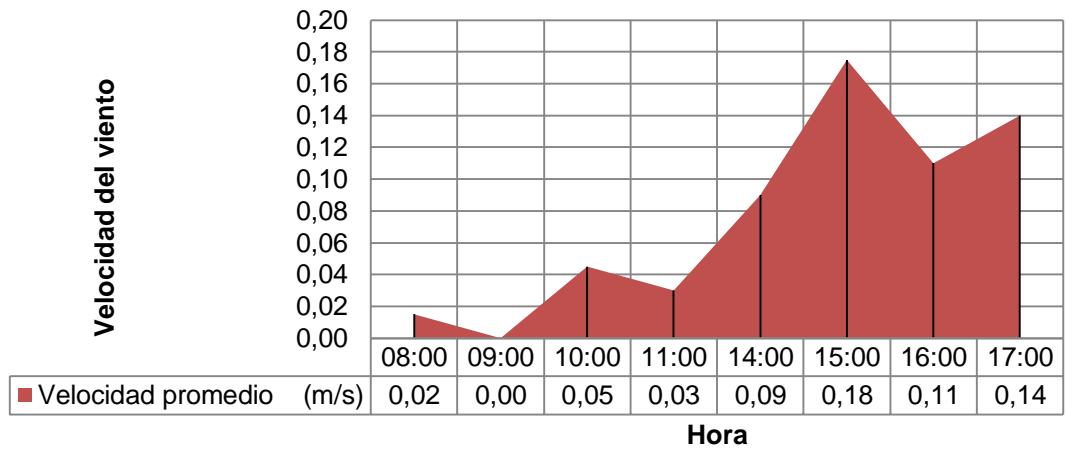
Figuras 22. Mediciones para el día (1) del quinto piso, zona sala de reuniones.



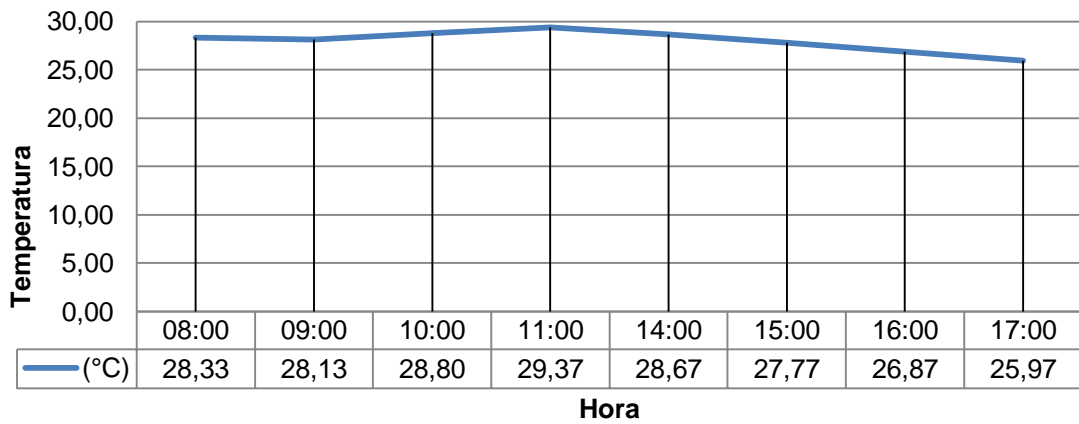


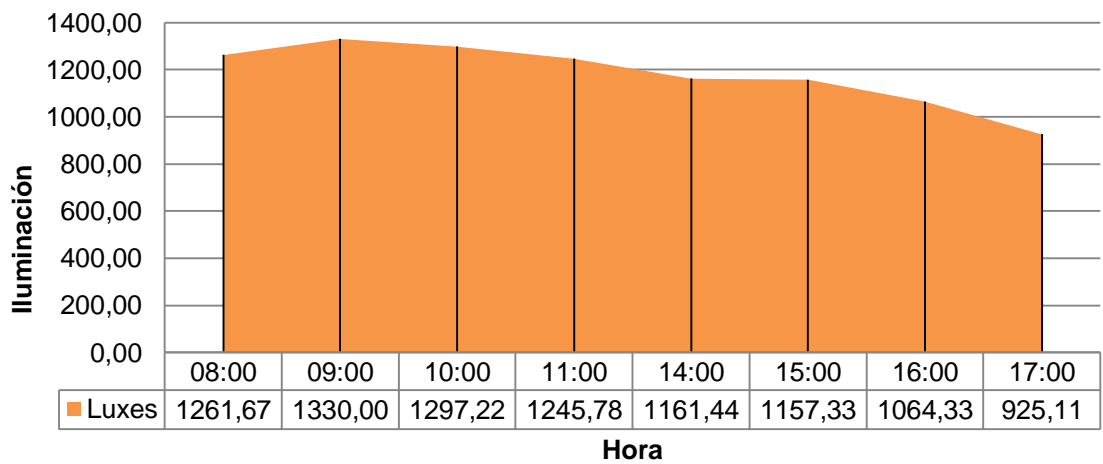
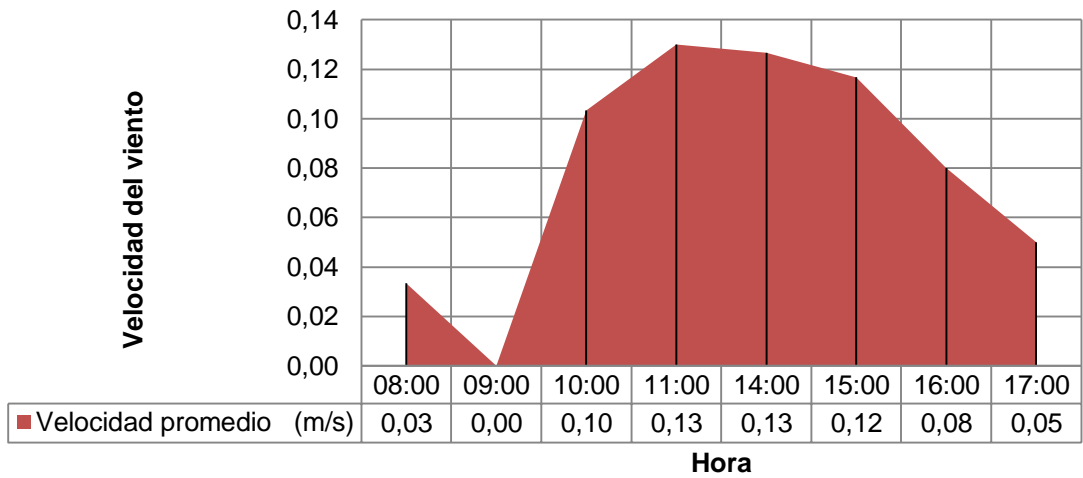
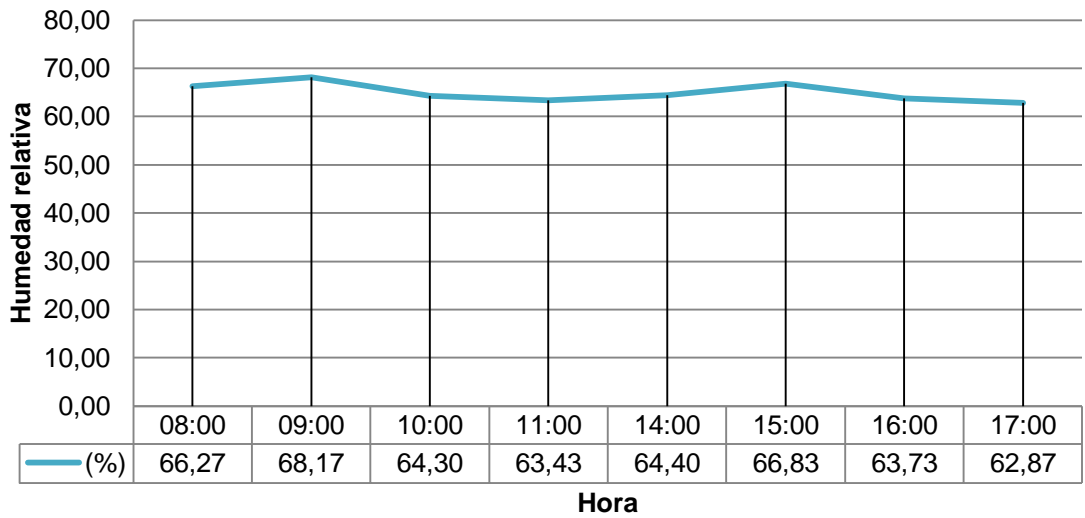
Figuras 23. Mediciones para el día (1) del quinto piso, zona ante sala dirección.



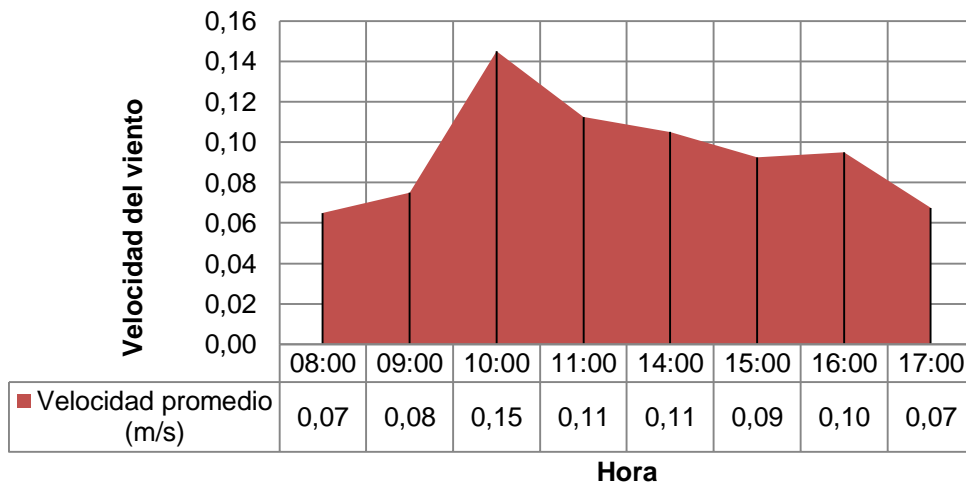
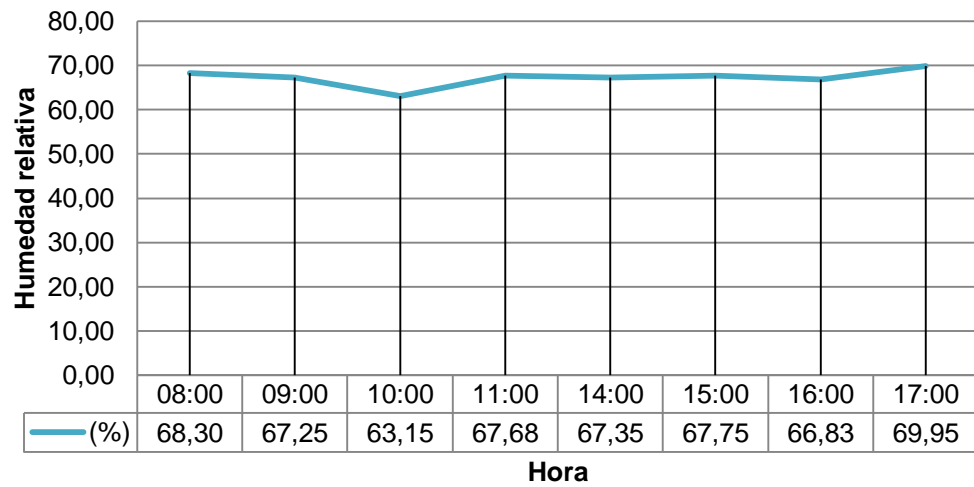
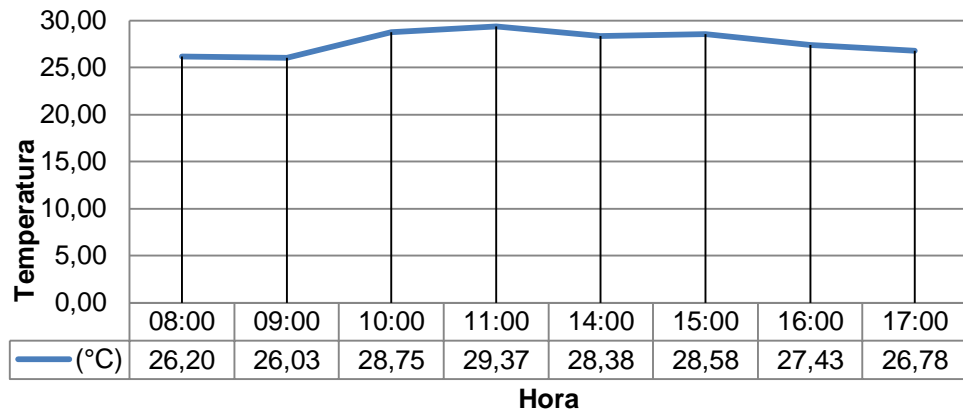


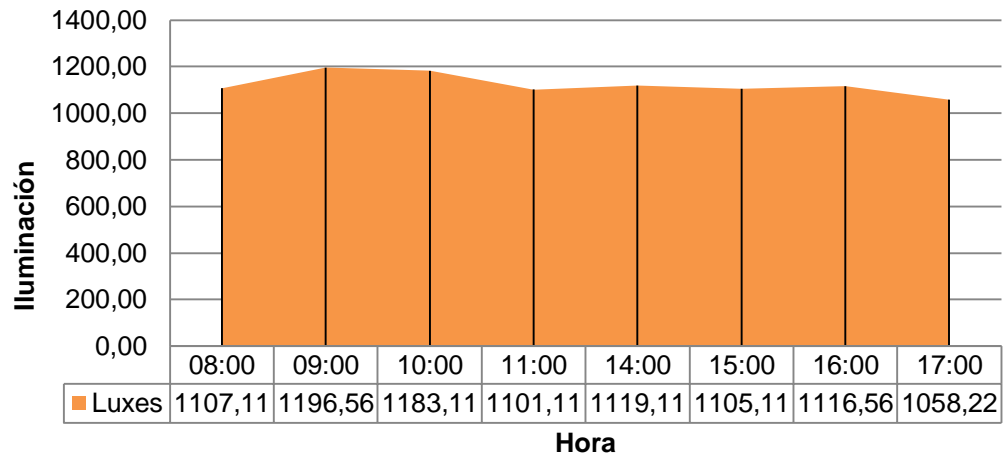
Figuras 24. Mediciones para el día (1) del cuarto piso, zona aula 402.



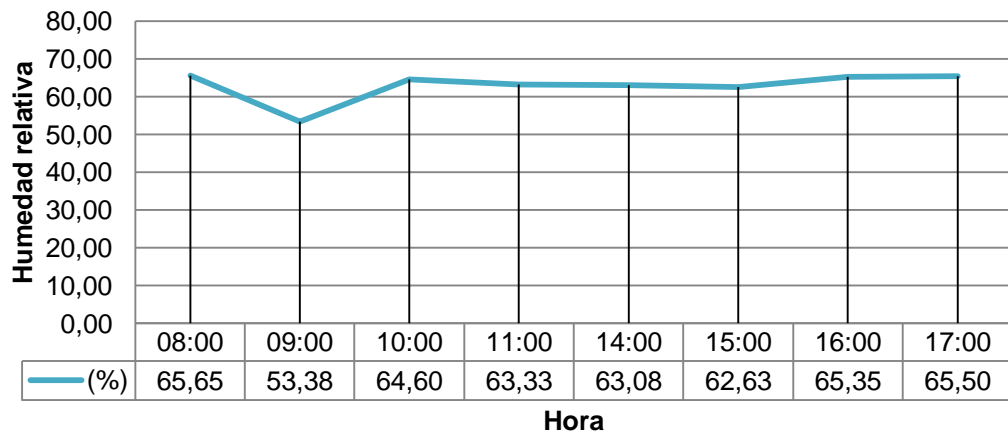
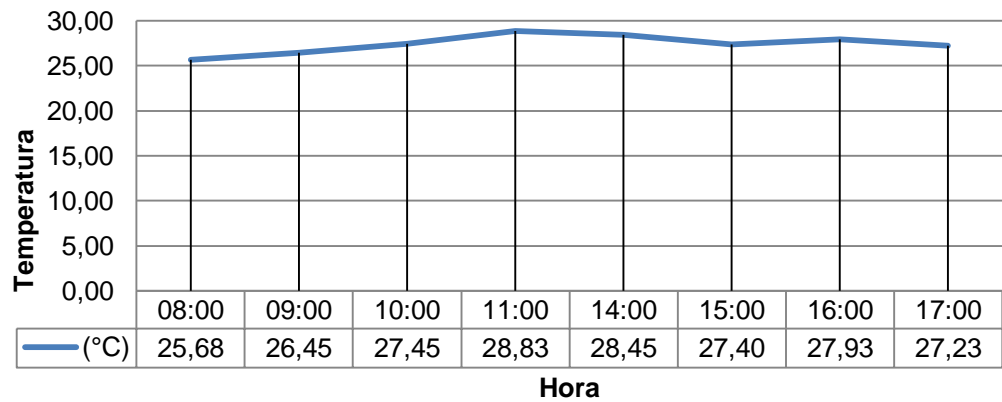


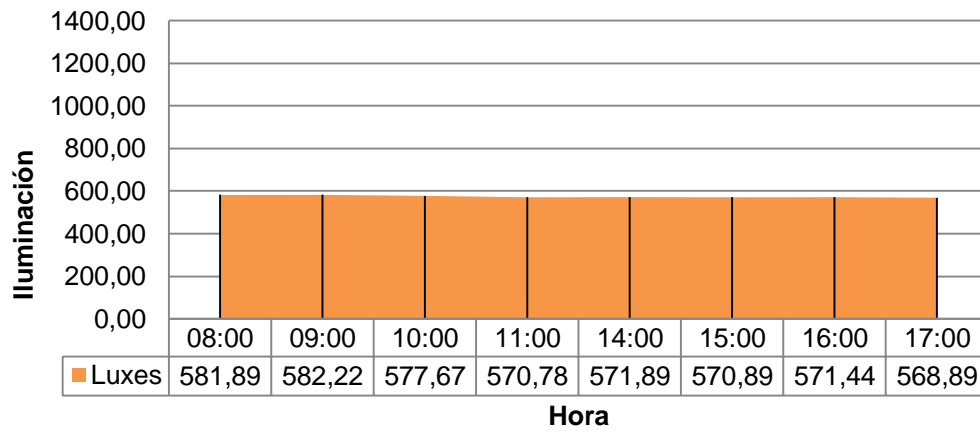
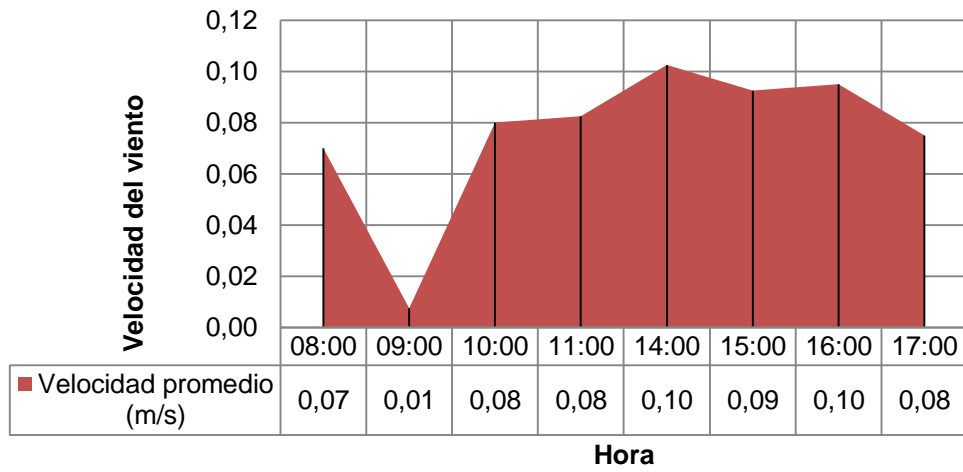
Figuras 25. Mediciones para el día (1) del cuarto piso, zona aula 404.



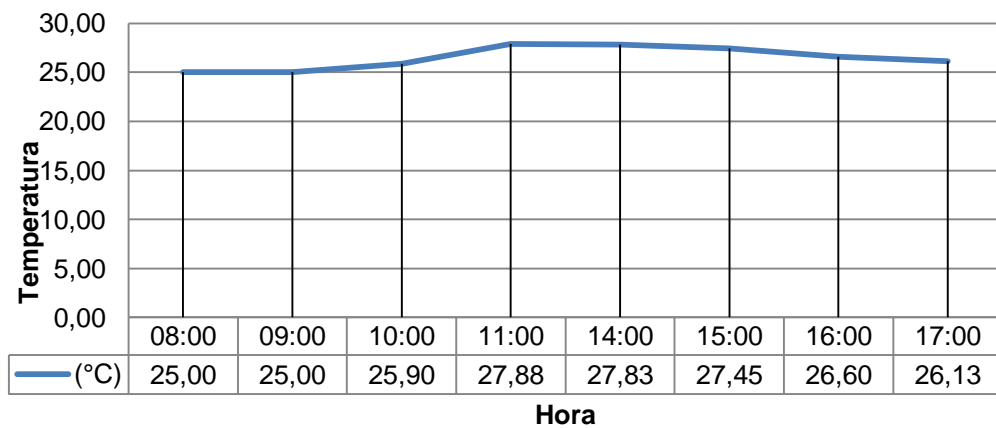


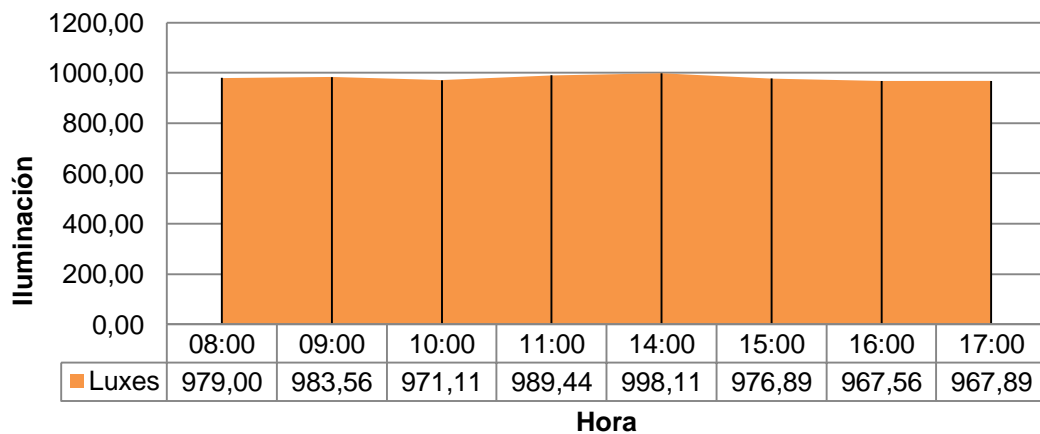
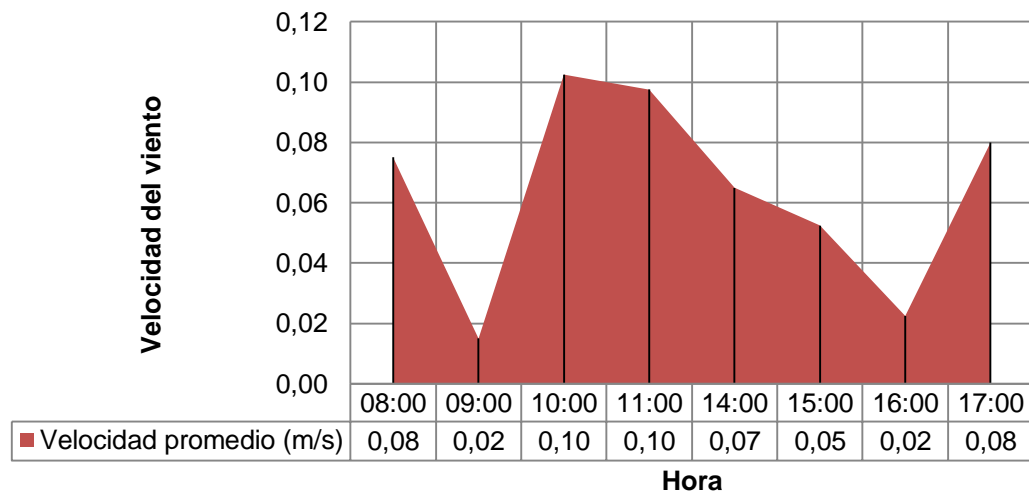
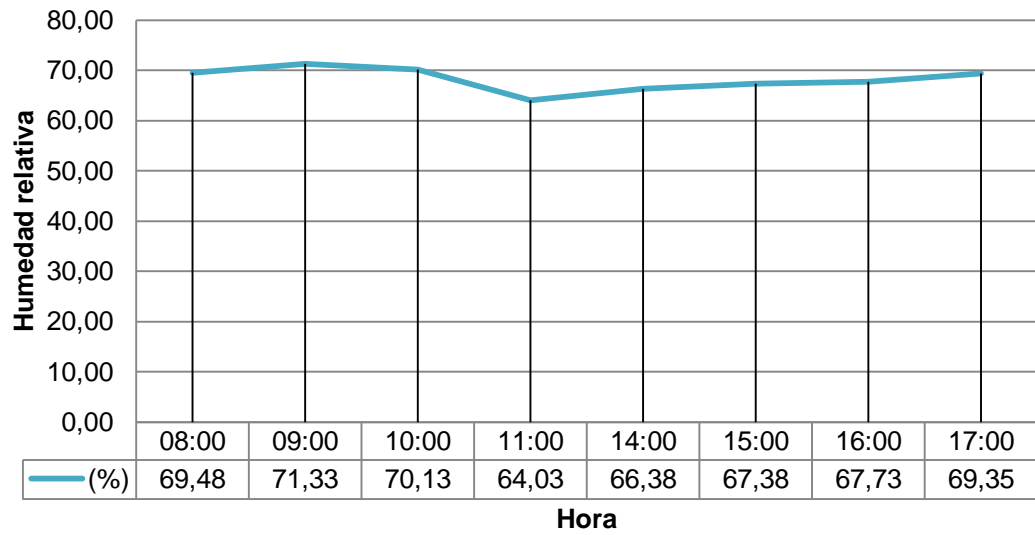
Figuras 26. Mediciones para el día (1) del cuarto piso, zona aula 406.



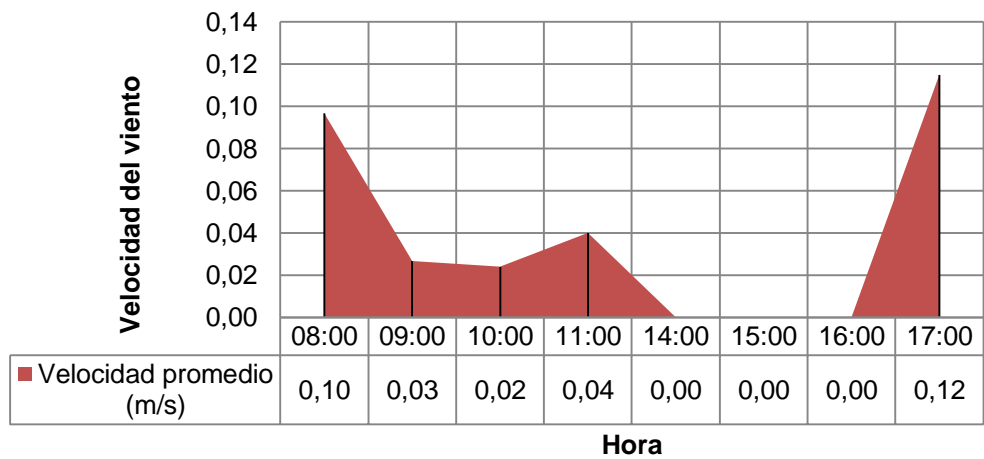
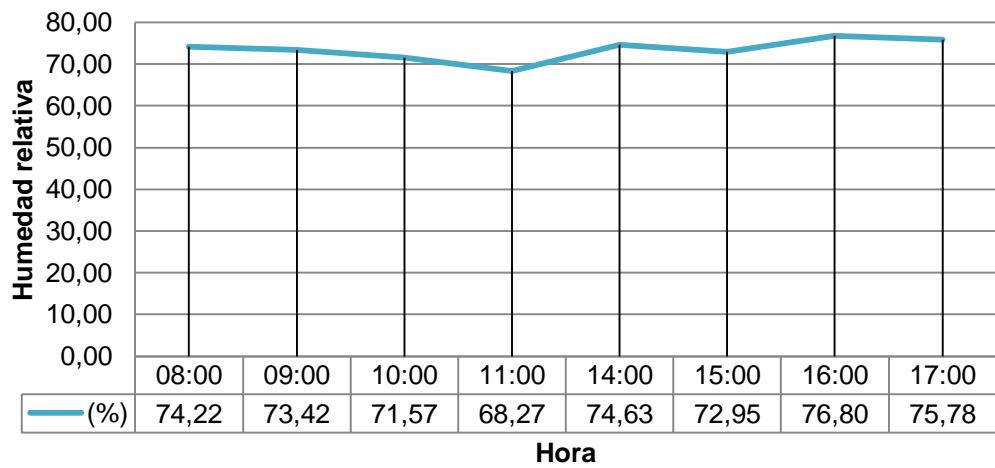
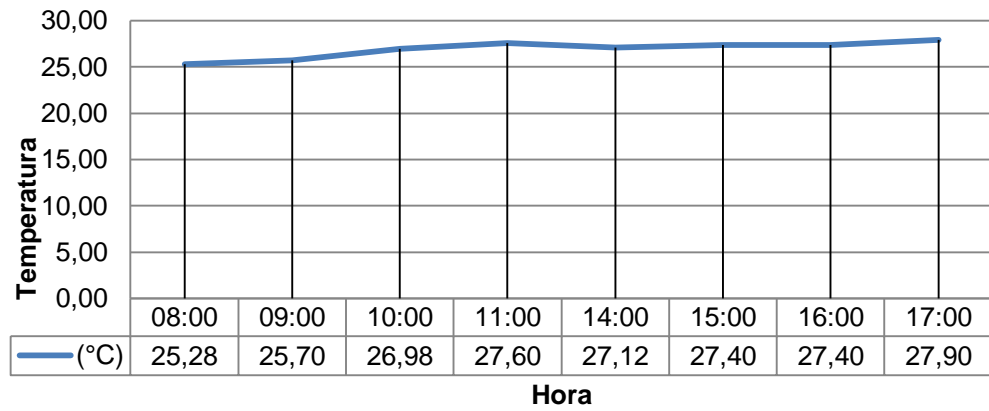


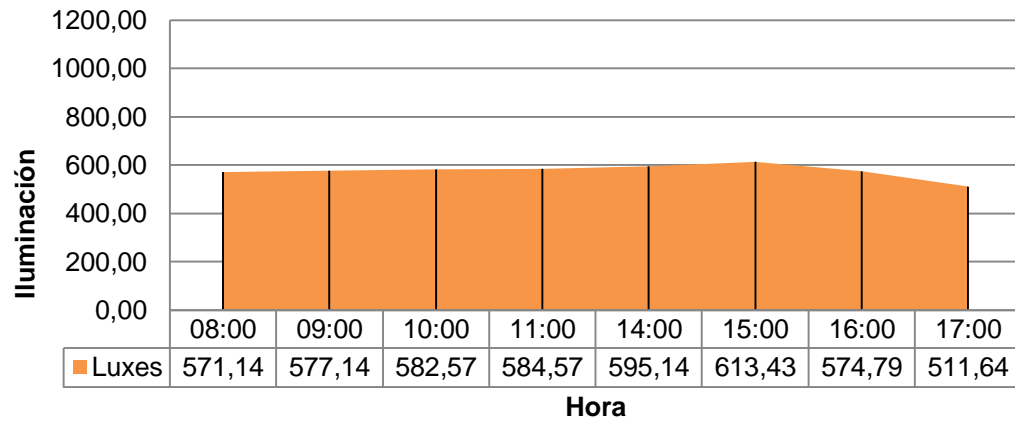
Figuras 27. Mediciones para el día (1) del primer piso, zona sala grupal.





Figuras 28. Mediciones para el día (1) del primer piso, zona sala individual.

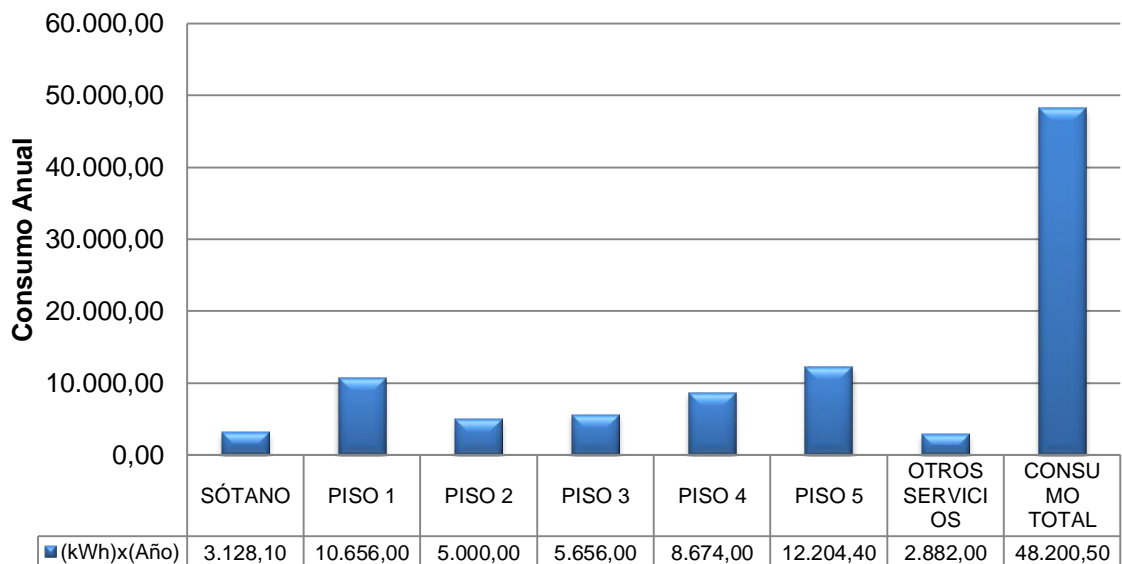




Al igual que las medidas obtenidas en el Edificio de Ingeniería Eléctrica para las variables de temperatura del aire, humedad relativa, iluminación, y velocidad del viento. También se realizaron medidas en el analizador de redes para determinar el consumo anual de esta edificación.

Los resultados obtenidos en el tiempo de medición para el analizador de redes se recopiló en una tabla, en donde se establecieron los resultados anuales por piso del consumo en kWh de la edificación. A continuación se muestra gráficamente los resultados anuales por piso:

Figuras 29. Consolidado del consumo anual por piso en kWh.



10. SIMULACIONES DEL MODELO REALIZADAS EN DESIGNBUILDER

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en cada una de las simulaciones realizadas para las variables de medición establecidas para este estudio.

Las simulaciones se realizaron para cada área crítica establecida en los pisos quinto, cuarto, y primero del Edificio de Ingeniería Eléctrica, esto con la única intención de poder observar el comportamiento energético de la edificación, y así comparar los resultados arrojados en cada simulación con los valores obtenidos en las mediciones realizadas en la edificación real.

Se muestran simulaciones daylighting, confort, ventilación, y de consumo anual en kWh, todas están dadas por piso.

A continuación se podrá observar las simulaciones daylighting en todas las zonas de medición asignadas para cada uno de los pisos escogidos como críticos. Estas simulaciones muestran el comportamiento de iluminación en el modelo real:

Figura 30. Mapa de distribución de iluminancias en el quinto piso, para el corredor de coordinación de pregrado.

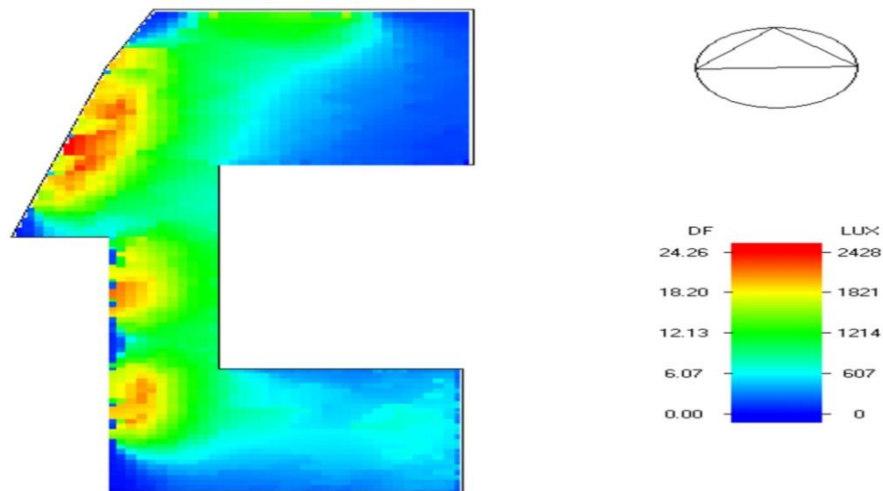


Figura 31. Mapa de distribución de iluminancias en el quinto piso, para las oficinas tipo modulares.

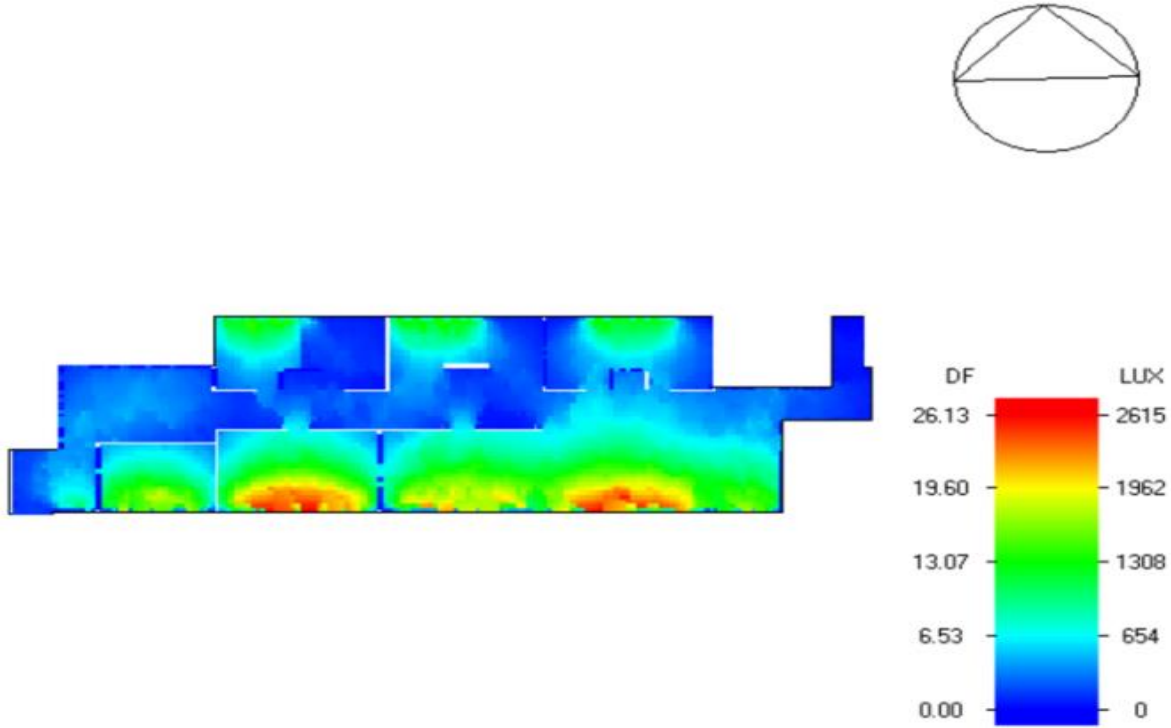


Figura 32. Mapa de distribución de iluminancias en el cuarto piso, para el aula 402.

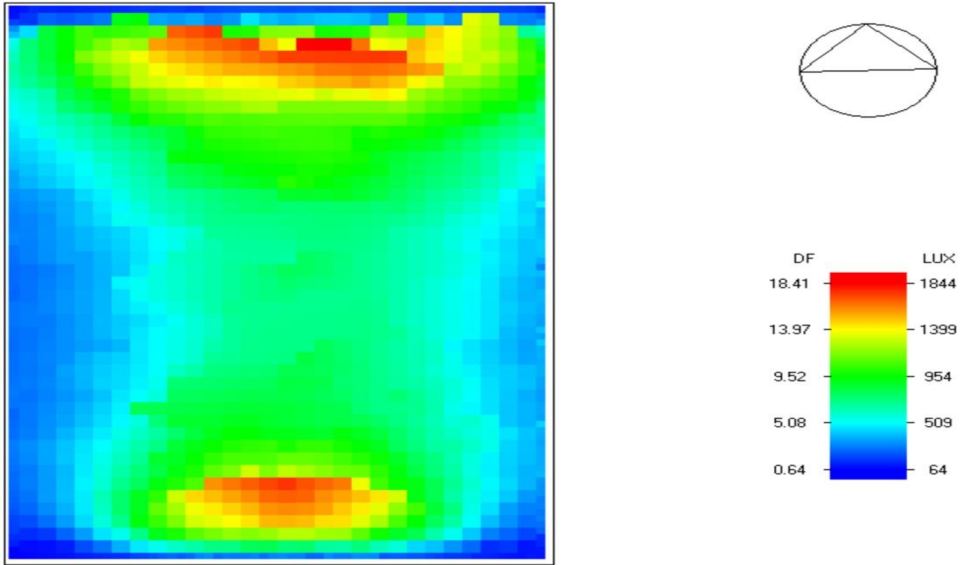


Figura 33. Mapa de distribución de iluminancias en el cuarto piso, para el aula 404.

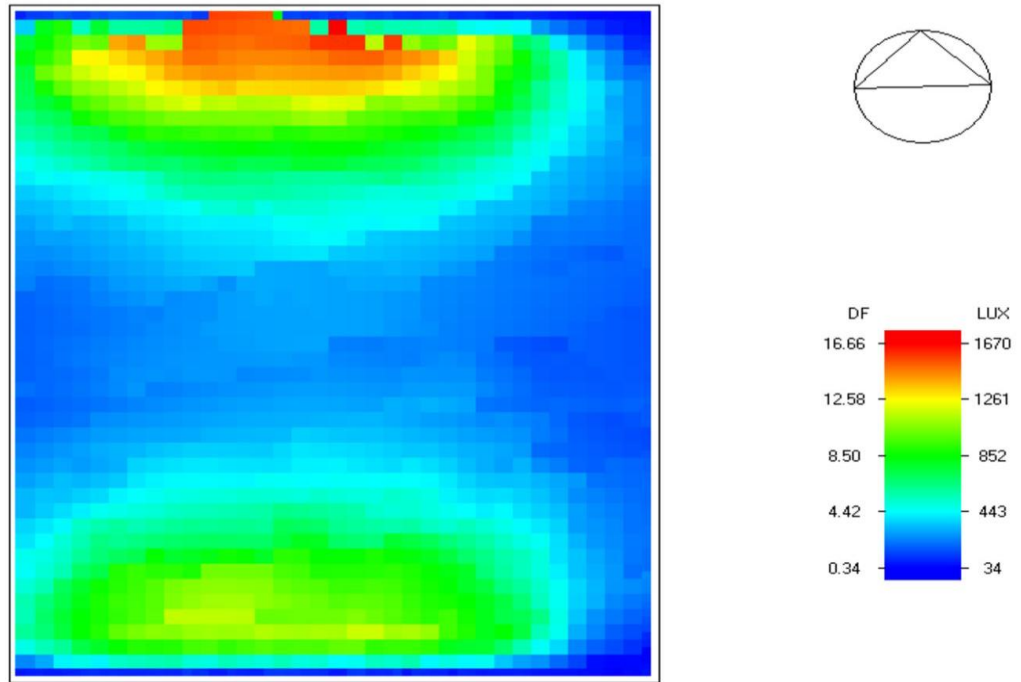


Figura 34. Mapa de distribución de iluminancias en el cuarto piso, para el aula 406.

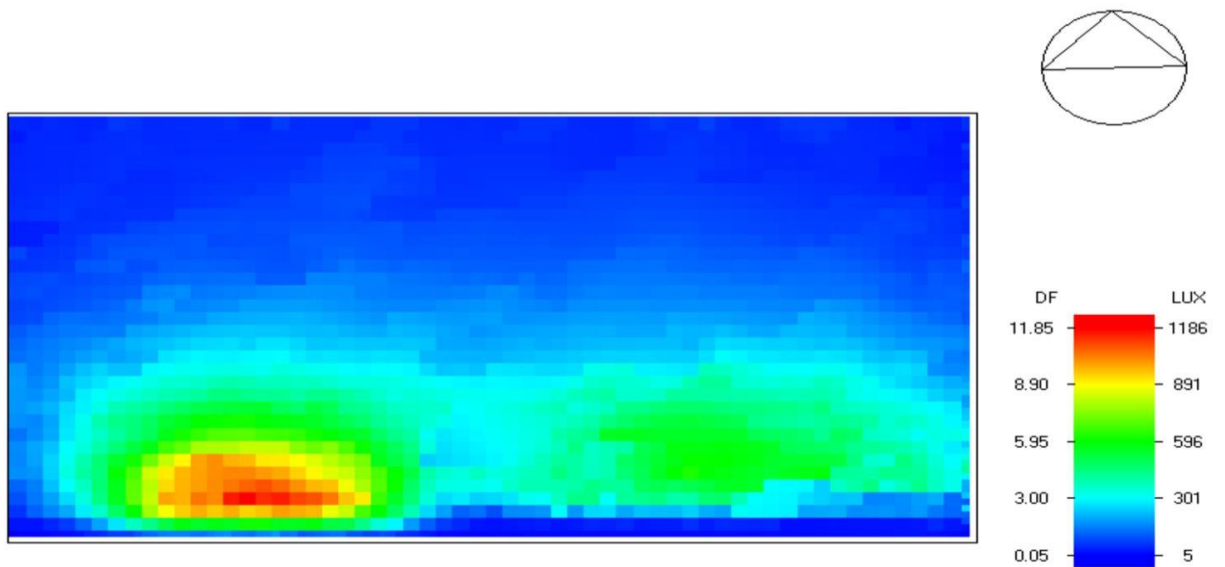


Figura 35. Mapa de distribución de iluminancias en el primer piso, para la sala grupal.

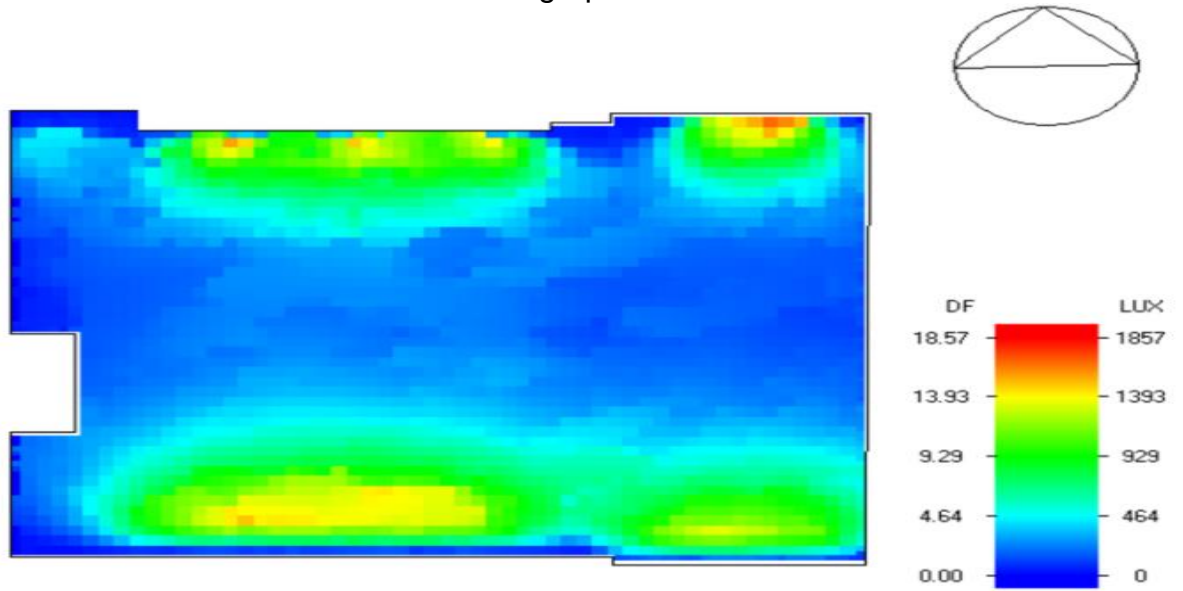
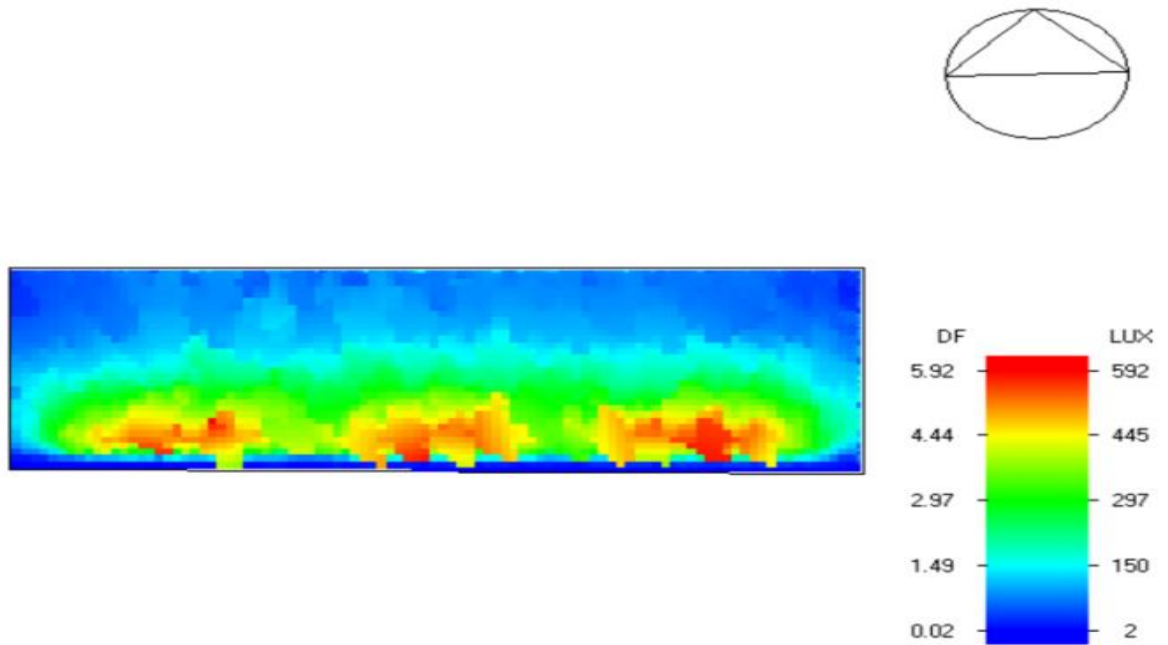


Figura 36. Mapa de distribución de iluminancias en el primer piso, para la sala individual.



Las simulaciones de confort también se presentan en graficas obtenidas en DesignBuilder, estas muestran el comportamiento de temperatura del aire y la humedad relativa, presentando los resultados en valores promedio de un día, para el mes correspondiente del año en el que se realizó las simulaciones. Los resultados se clasificaron tomando las zonas críticas establecidas para los pisos quinto, cuarto y primero del sitio de medida.

Se debe tener en cuenta, que de los resultados obtenidos en cada simulación se observa y se analiza el piso quinto, cuarto y primero, esto con el fin de poder ver los resultados de las simulaciones, en las zonas en donde se realizaron las mediciones de estudio. Estas mediciones fueron realizadas en los días comprendidos entre el 09 y el 14 del mes de junio para el quinto y cuarto piso, mientras que para el primer piso se realizaron en los días del 16 al 21 del mes de junio.

A continuación se muestran los resultados obtenidos, tomando los horarios de ocupación correspondientes a cada zona:

Figura 37. Temperatura del aire, y humedad relativa en el quinto piso, para el corredor de coordinación de pregrado.

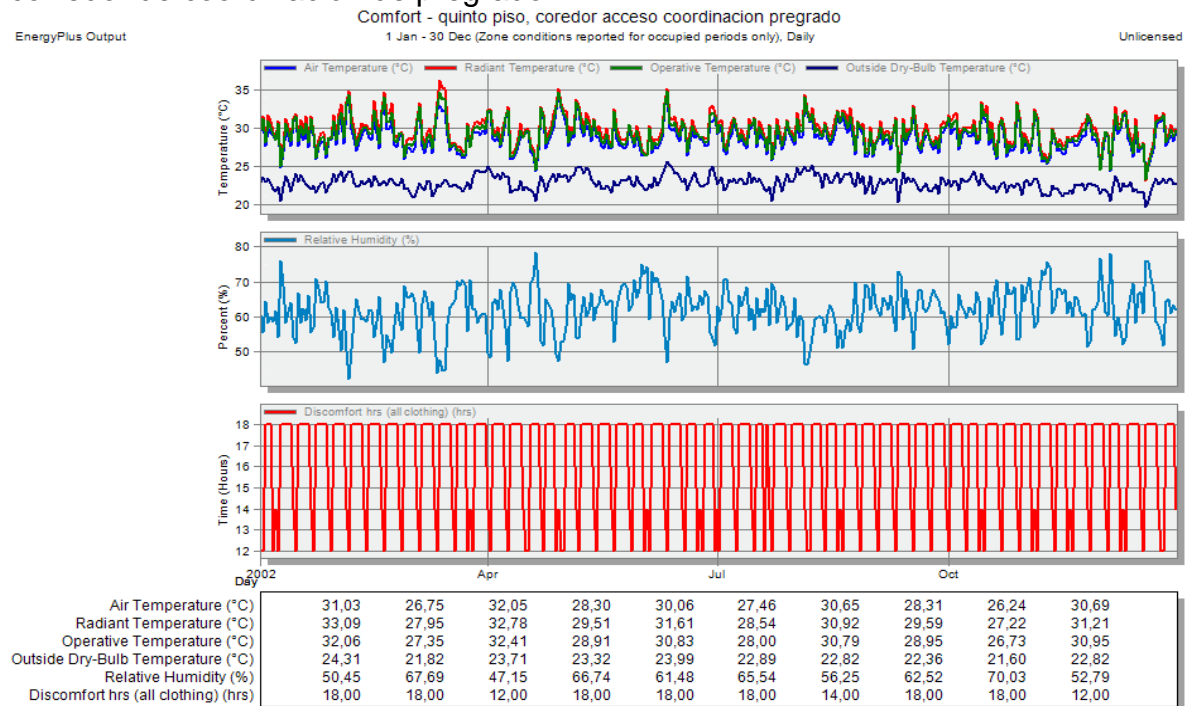


Figura 38. Temperatura del aire, y humedad relativa en el quinto piso, para las oficinas tipo modulares.

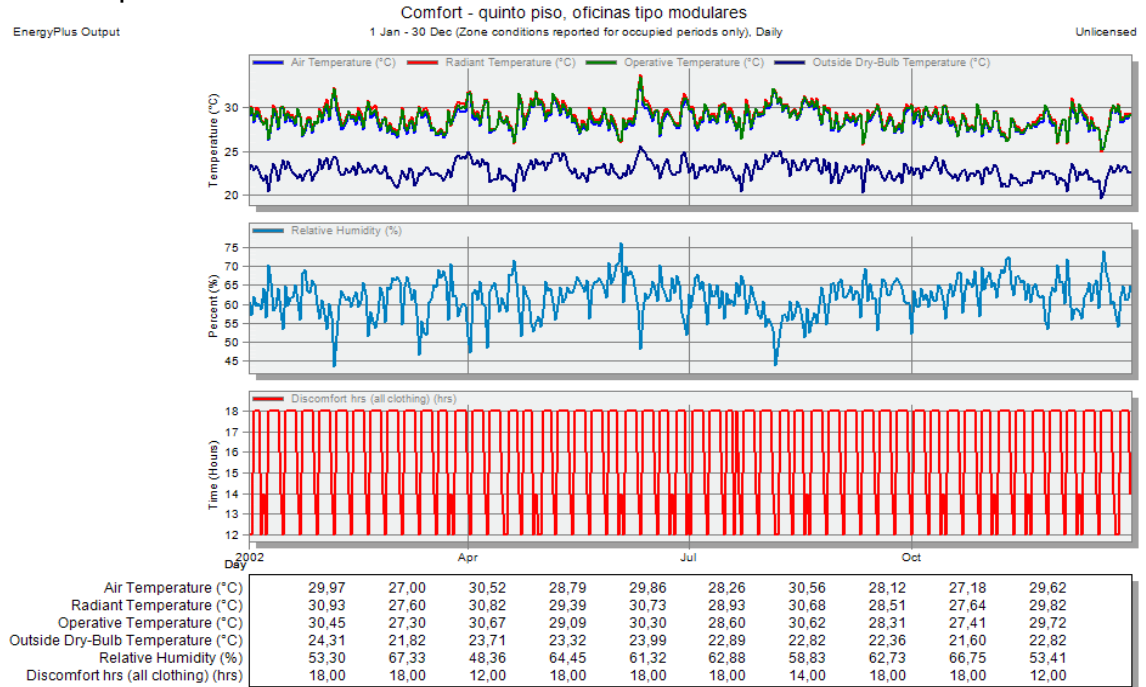


Figura 39. Temperatura del aire, y humedad relativa en el quinto piso, para la sala de reuniones.

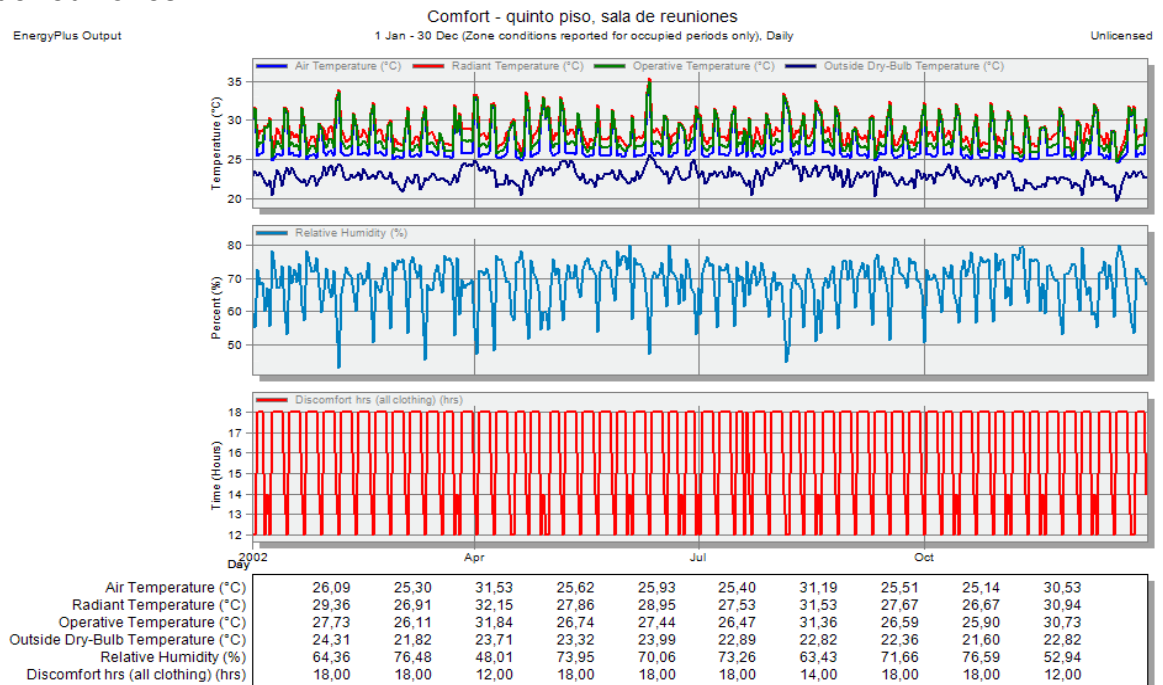


Figura 40. Temperatura del aire, y humedad relativa en el cuarto piso, para el aula 402.

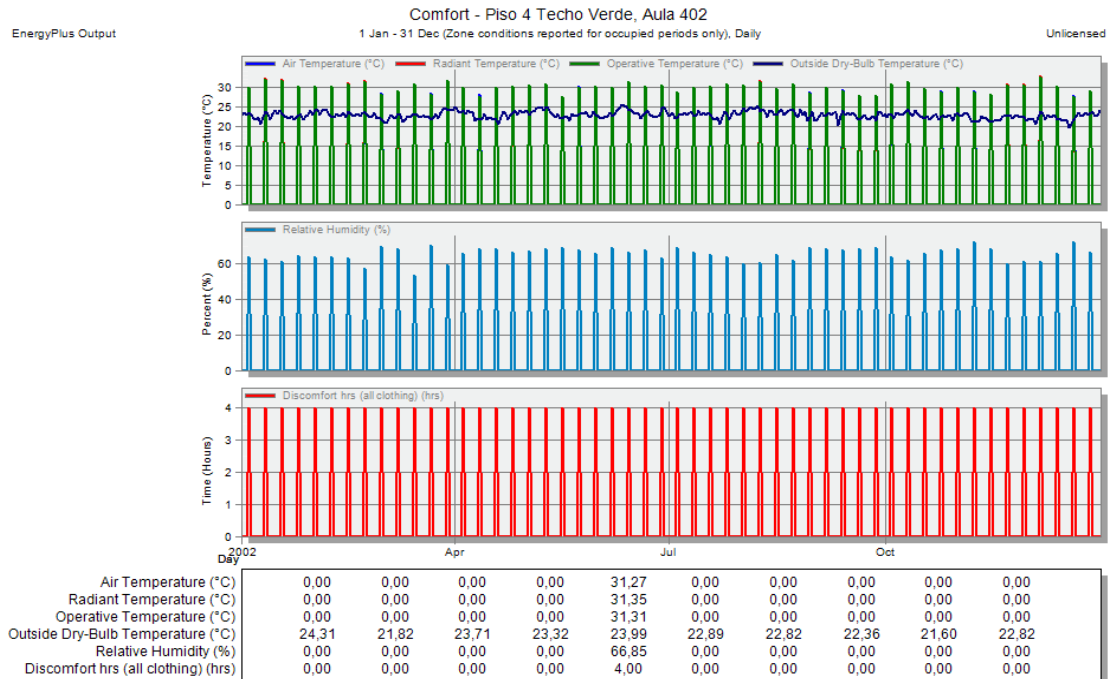


Figura 41. Temperatura del aire, y humedad relativa en el cuarto piso, para el aula 404.

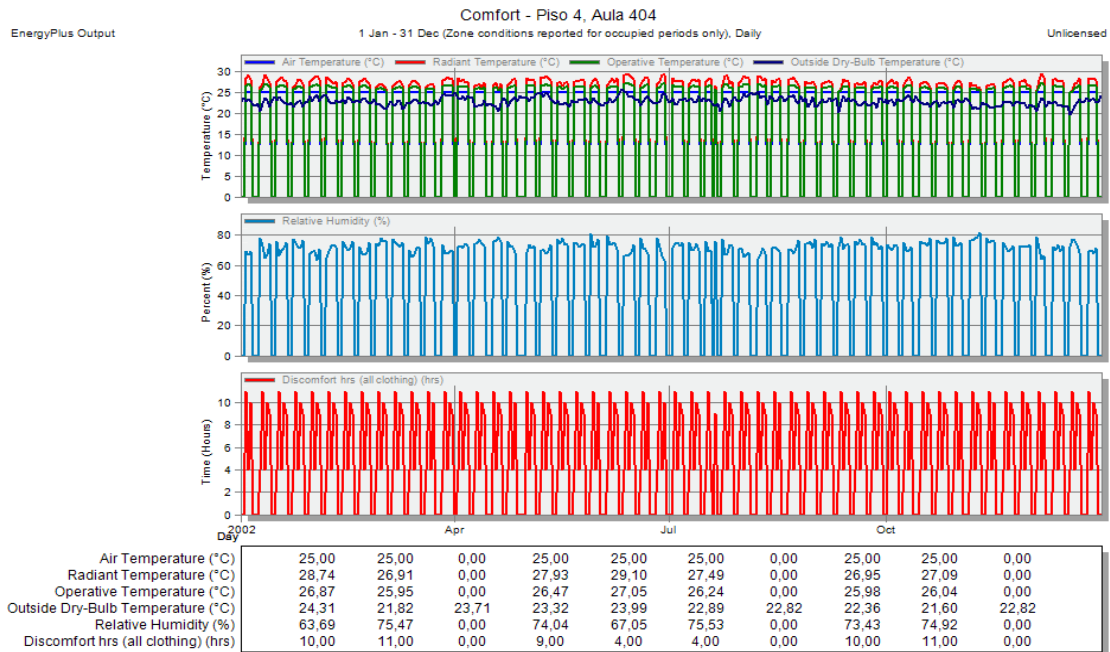


Figura 42. Temperatura del aire, y humedad relativa en el cuarto piso, para el aula 406.

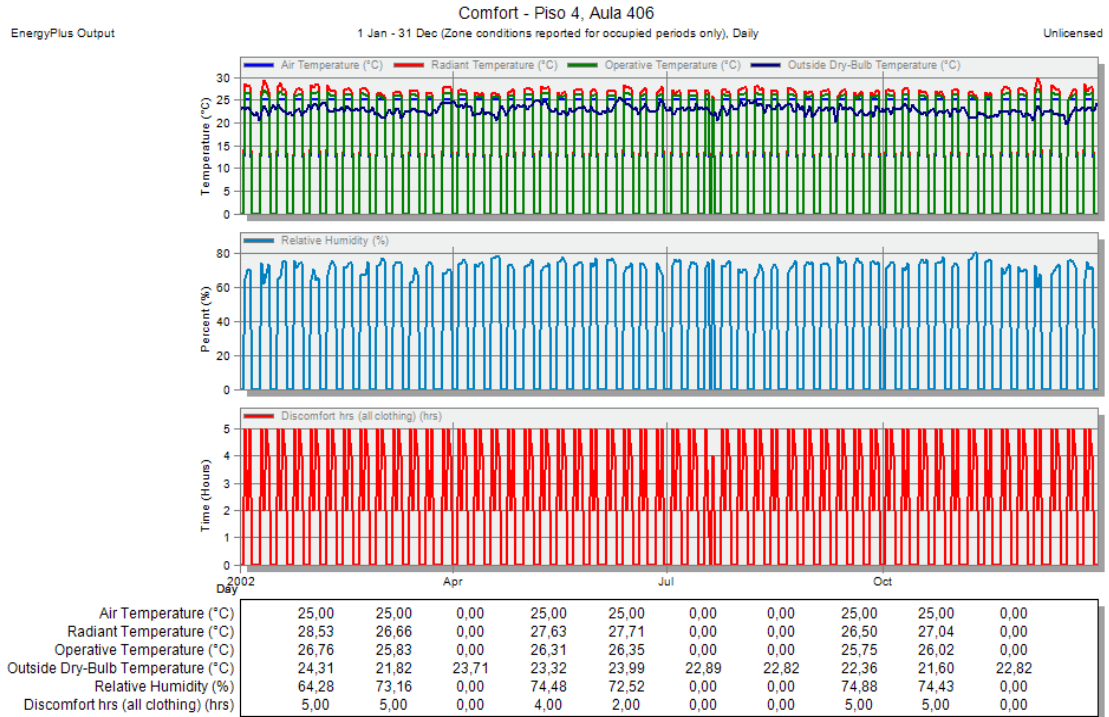


Figura 43. Temperatura del aire, y humedad relativa en el primer piso, para la sala grupal.

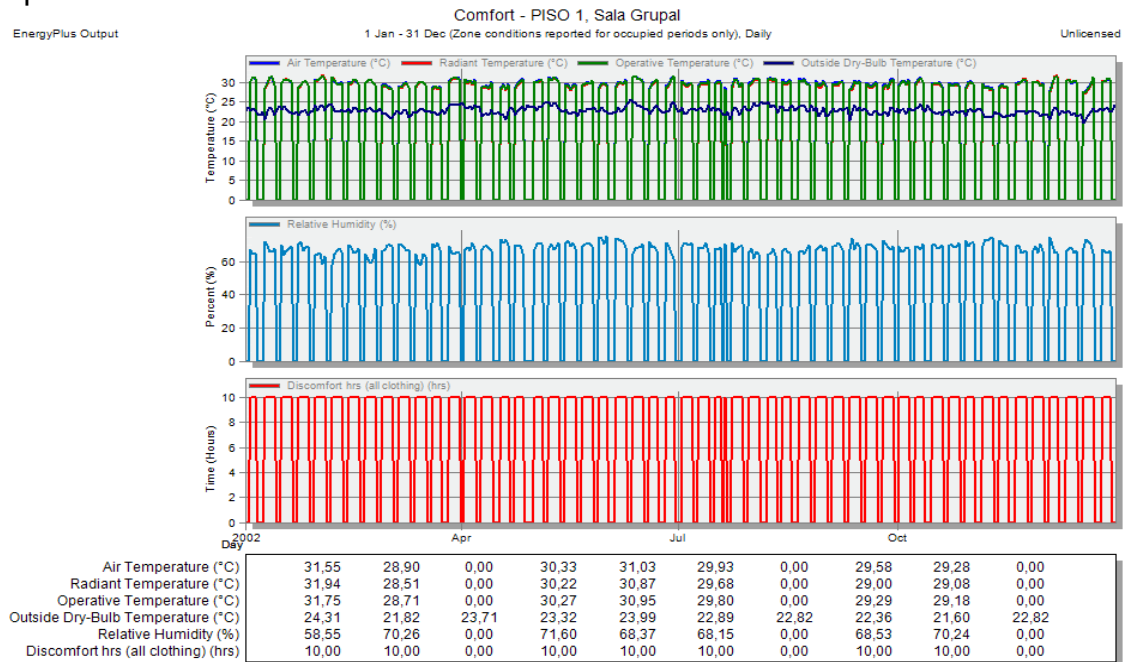
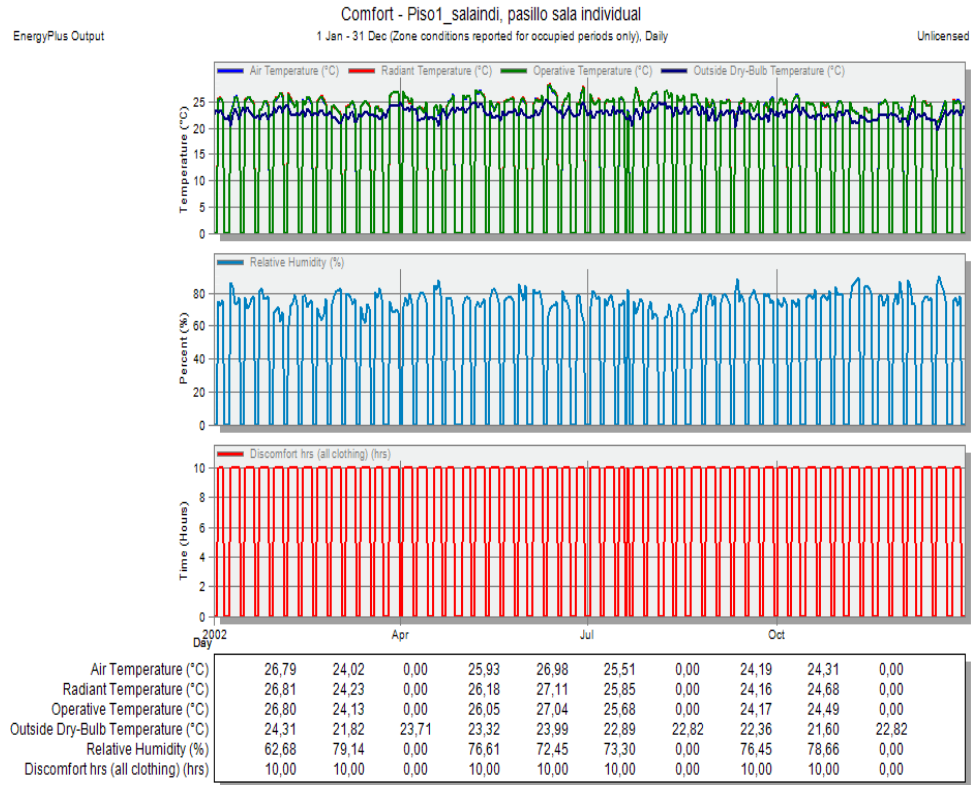


Figura 44. Temperatura del aire, y humedad relativa en el primer piso, para la sala individual.



También se muestran las simulaciones de velocidad del viento obtenidas en el estudio realizado en la edificación de Ingeniería Eléctrica. Estas se realizaron con el fin de analizar en qué puntos o en qué áreas, de las diferentes zonas medidas se presenta el déficit de ventilación natural, y en cuales se obtiene un adecuado comportamiento del viento, durante los horarios de ocupación en cada una de las áreas medidas.

Los rangos de valores obtenidos en la velocidad del viento para cada una de las zonas medidas, se muestran en las simulaciones a través de convenciones de colores. Mientras que para indicar la dirección en la cual circula el viento se utilizan vectores. A continuación se pueden visualizar lo anteriormente mencionado:

Figura 45. Comportamiento de la velocidad del viento en el quinto piso, para el corredor de coordinación de pregrado.

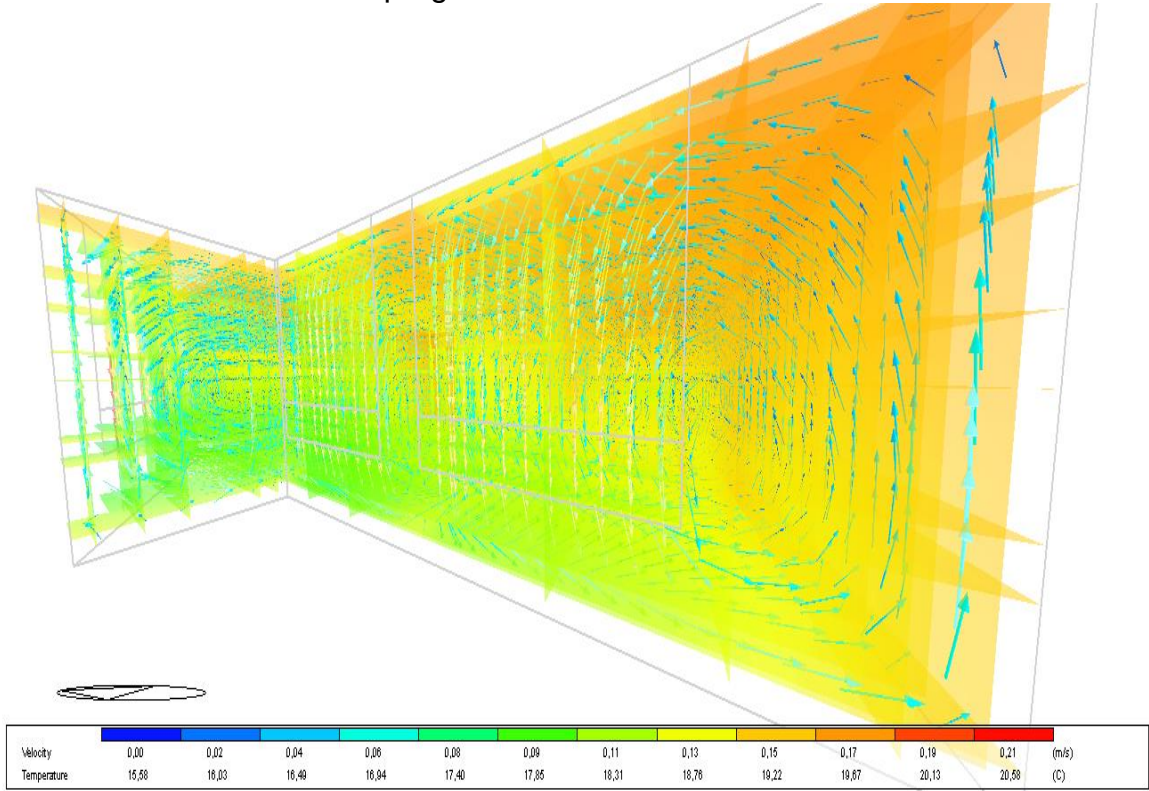


Figura 46. Comportamiento de la velocidad del viento en el quinto piso, para la zona de archivos.

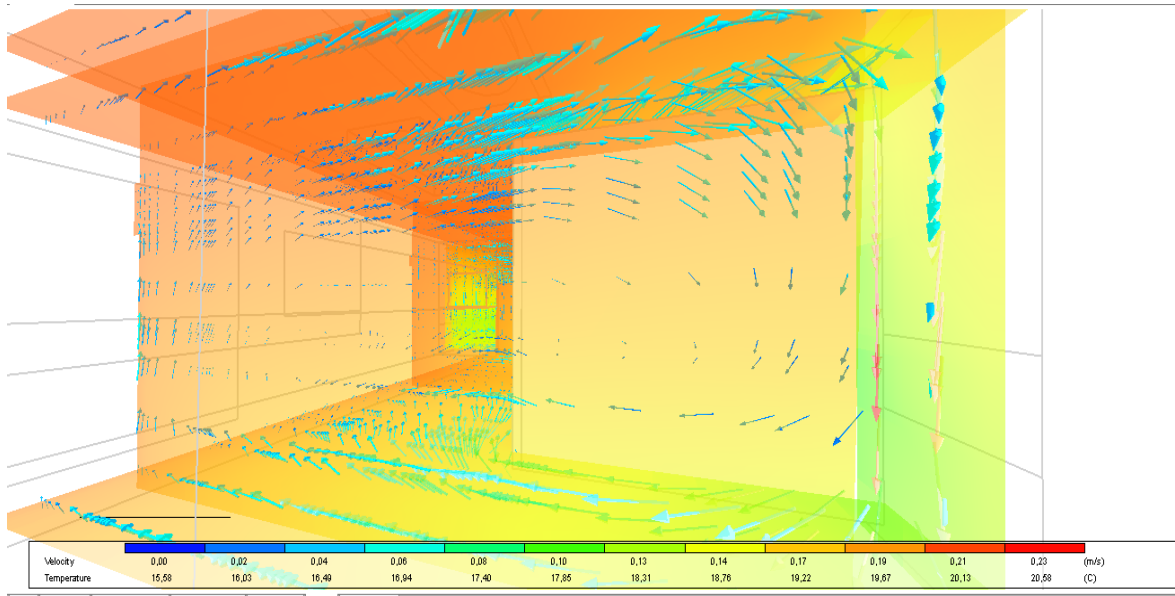


Figura 47. Comportamiento de la velocidad del viento en el quinto piso, para proyectos y servicios.

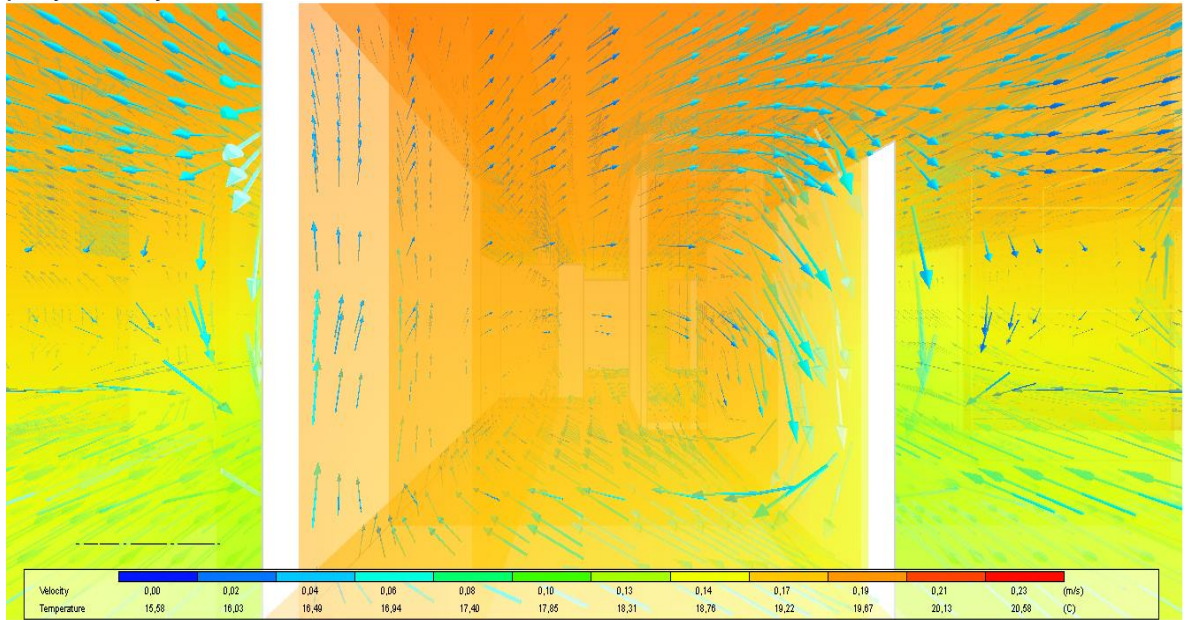


Figura 48. Comportamiento de la velocidad del viento en el quinto piso, para la sala de estar.

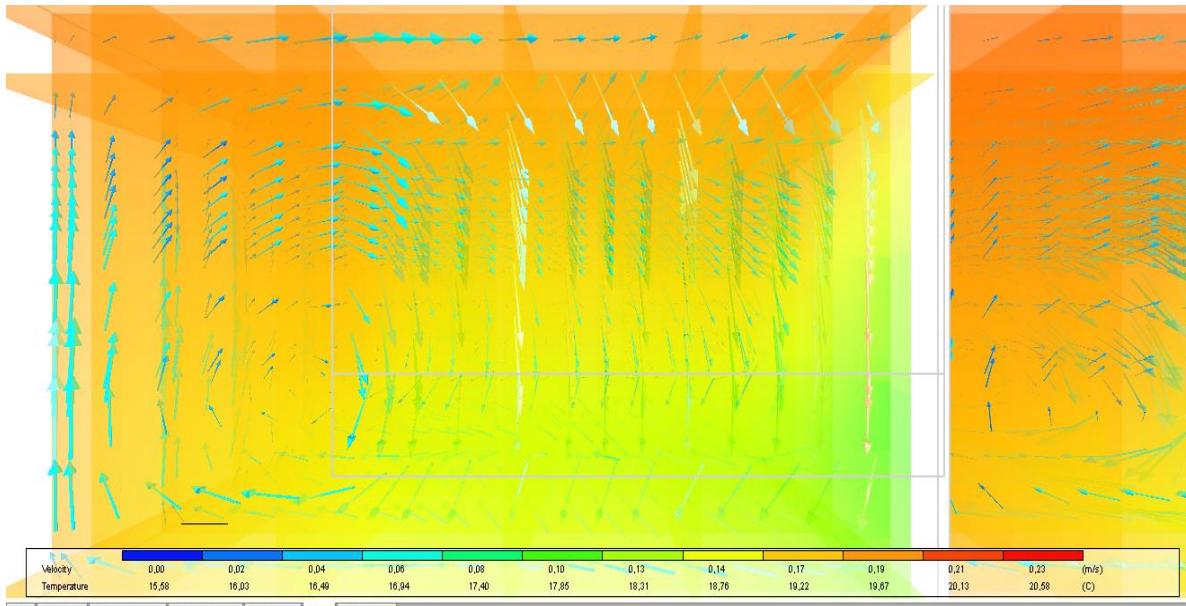


Figura 49. Comportamiento de la velocidad del viento en el quinto piso, para la sala de reuniones.

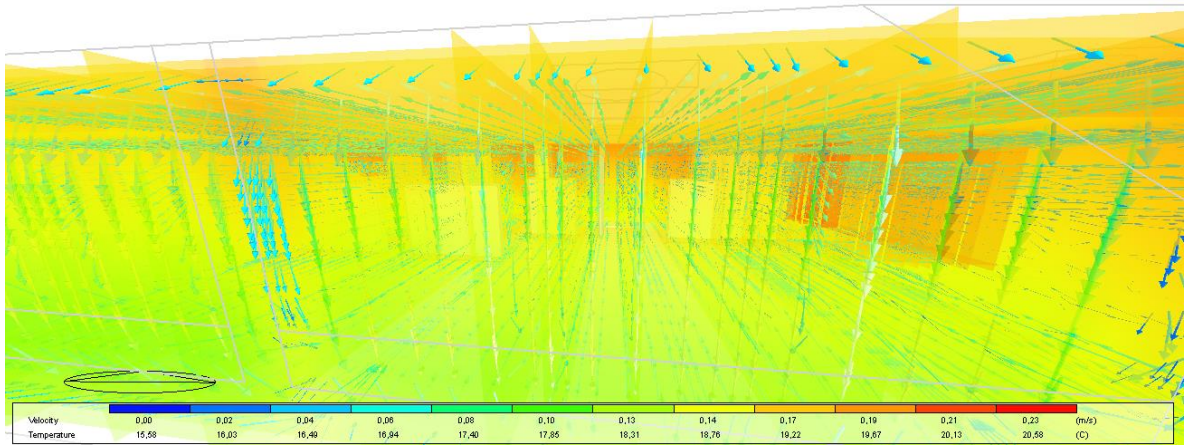
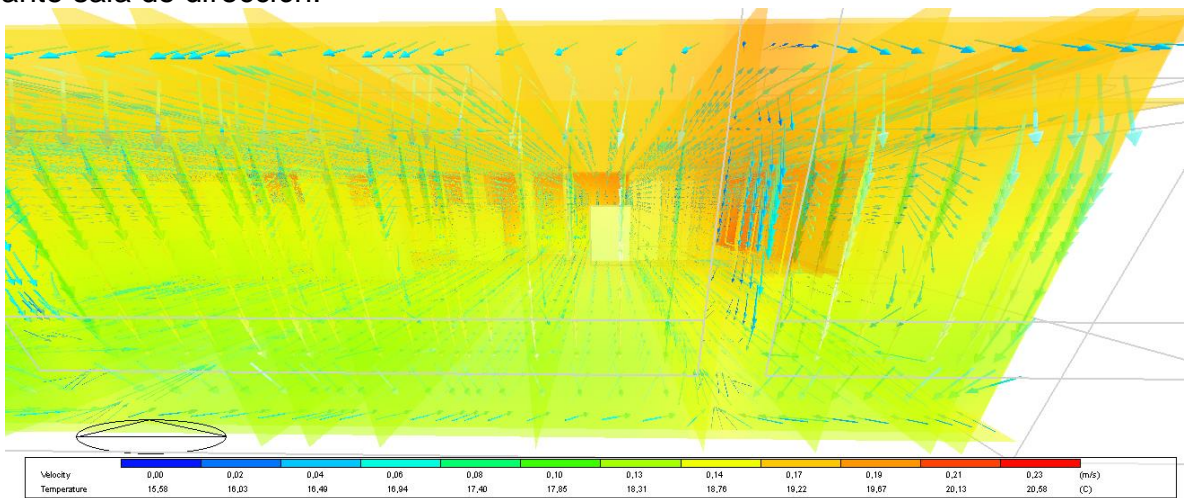


Figura 50. Comportamiento de la velocidad del viento en el quinto piso, para la ante sala de dirección.



Para el cuarto piso se realizaron mediciones en las áreas críticas conformada por el aula 402, aula 404, y el aula 406. En donde se obtuvieron los diferentes comportamientos de la velocidad del viento, en cada uno de los puntos de medición en el interior de las aulas. A continuación se observan los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas:

Figura 51. Comportamiento de la velocidad del viento en el cuarto piso, para el aula 402.

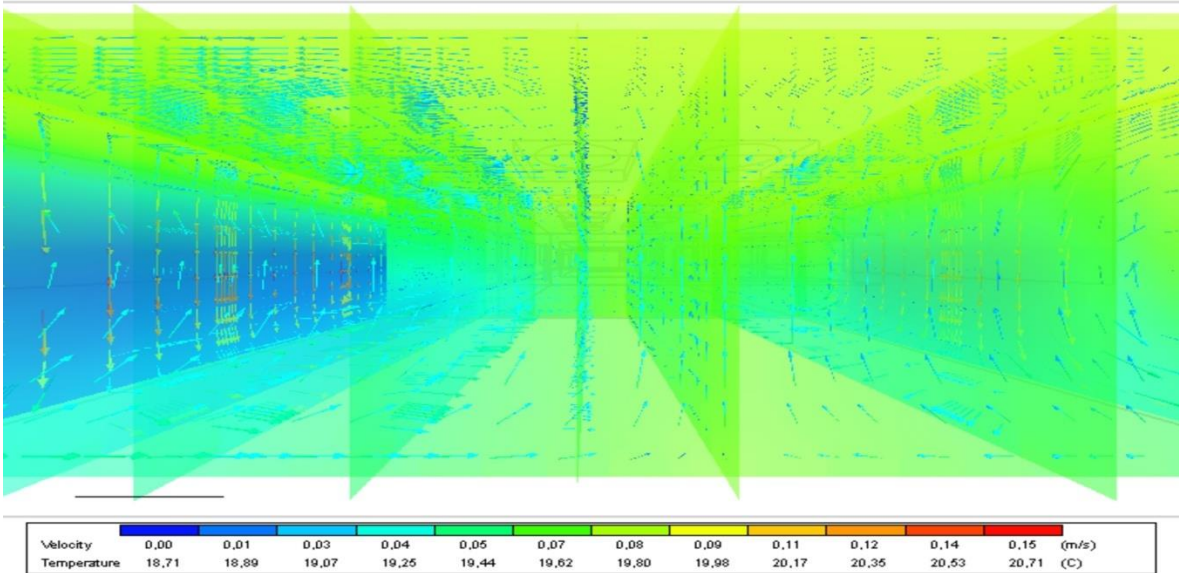


Figura 52. Comportamiento de la velocidad del viento en el cuarto piso, para el aula 404.

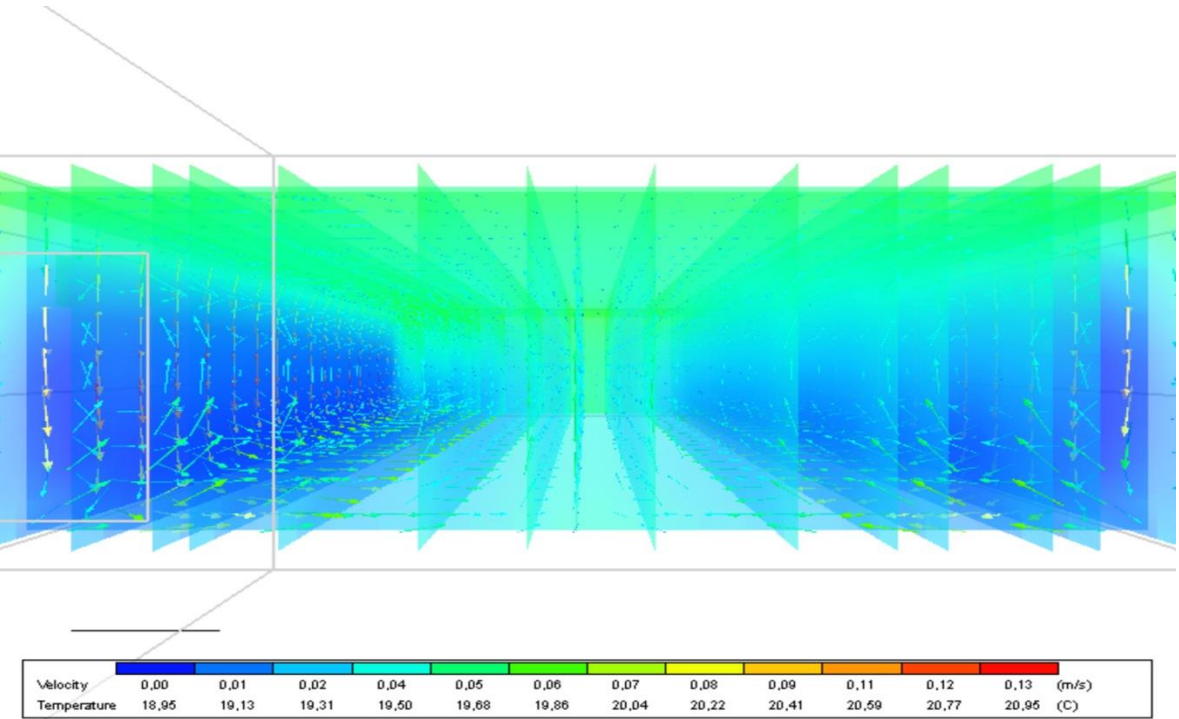
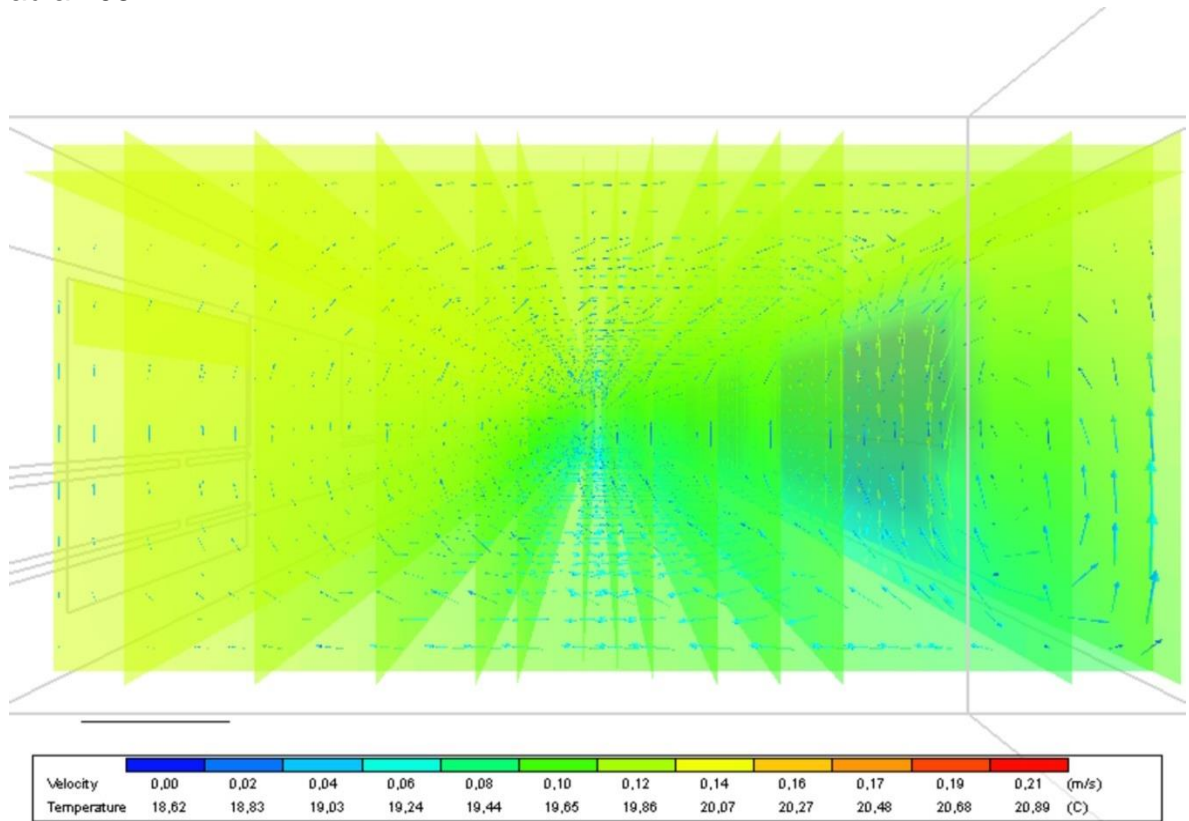


Figura 53. Comportamiento de la velocidad del viento en el cuarto piso, para el aula 406.



Al igual que los pisos anteriores, para el primer piso también se realizaron simulaciones para las salas de estudio grupal e individual, ya que estas se identificaron como las zonas más críticas para este piso, en confort térmico, y en confort visual. Debido a que son áreas con mayor ocupación y tránsito de las personas. A continuación se podrá observar los comportamientos de la velocidad del viento en cada sala:

Figura 54. Comportamiento de la velocidad del viento en el primer piso, para la sala grupal.

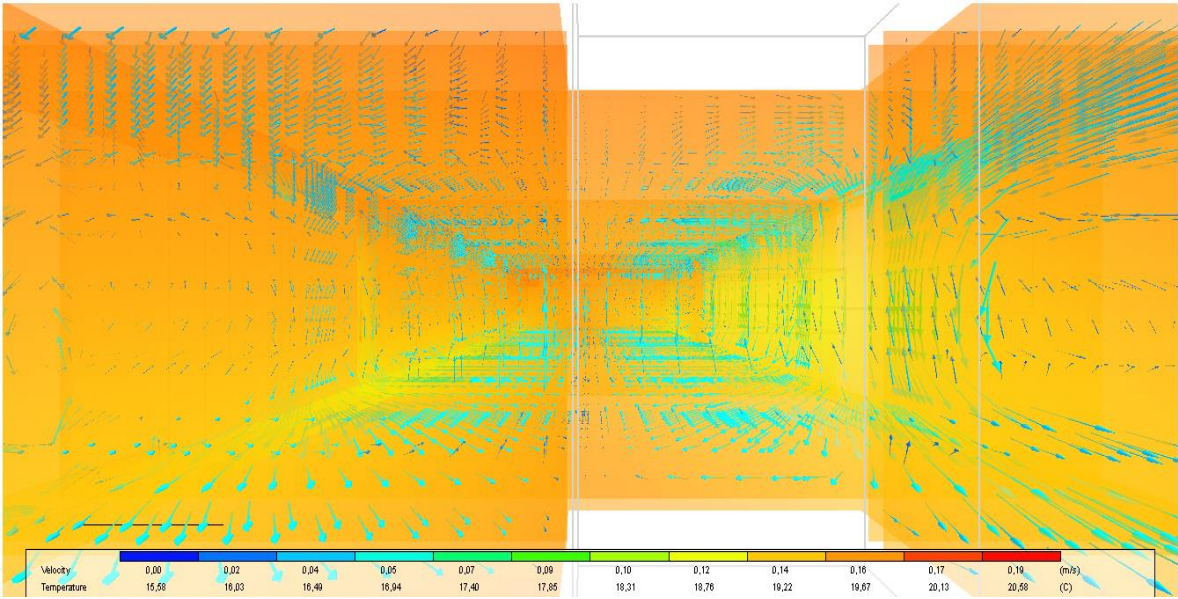
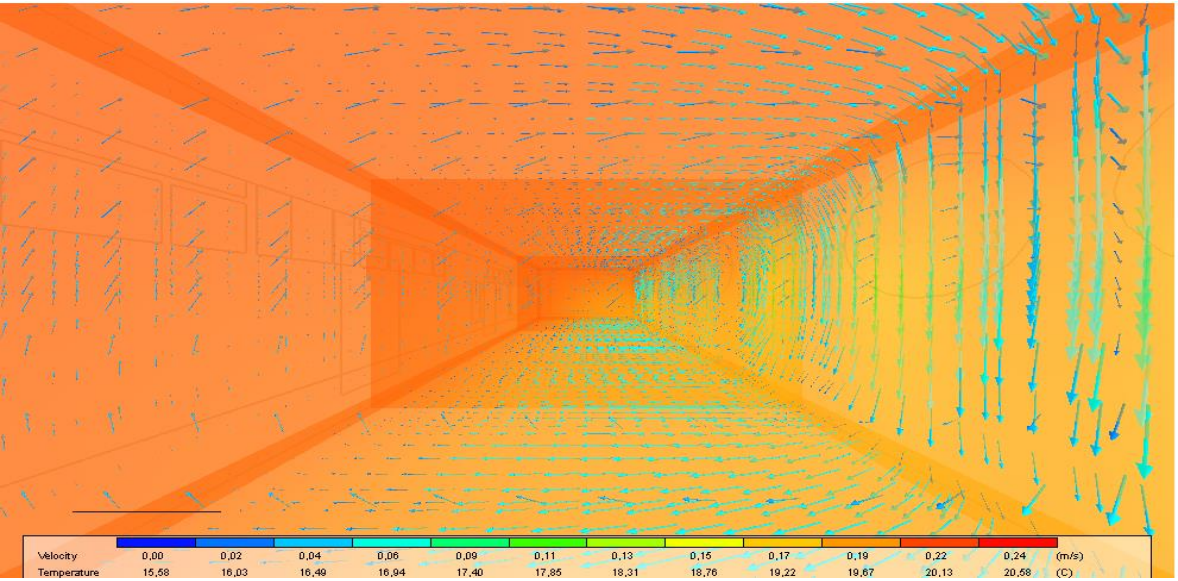


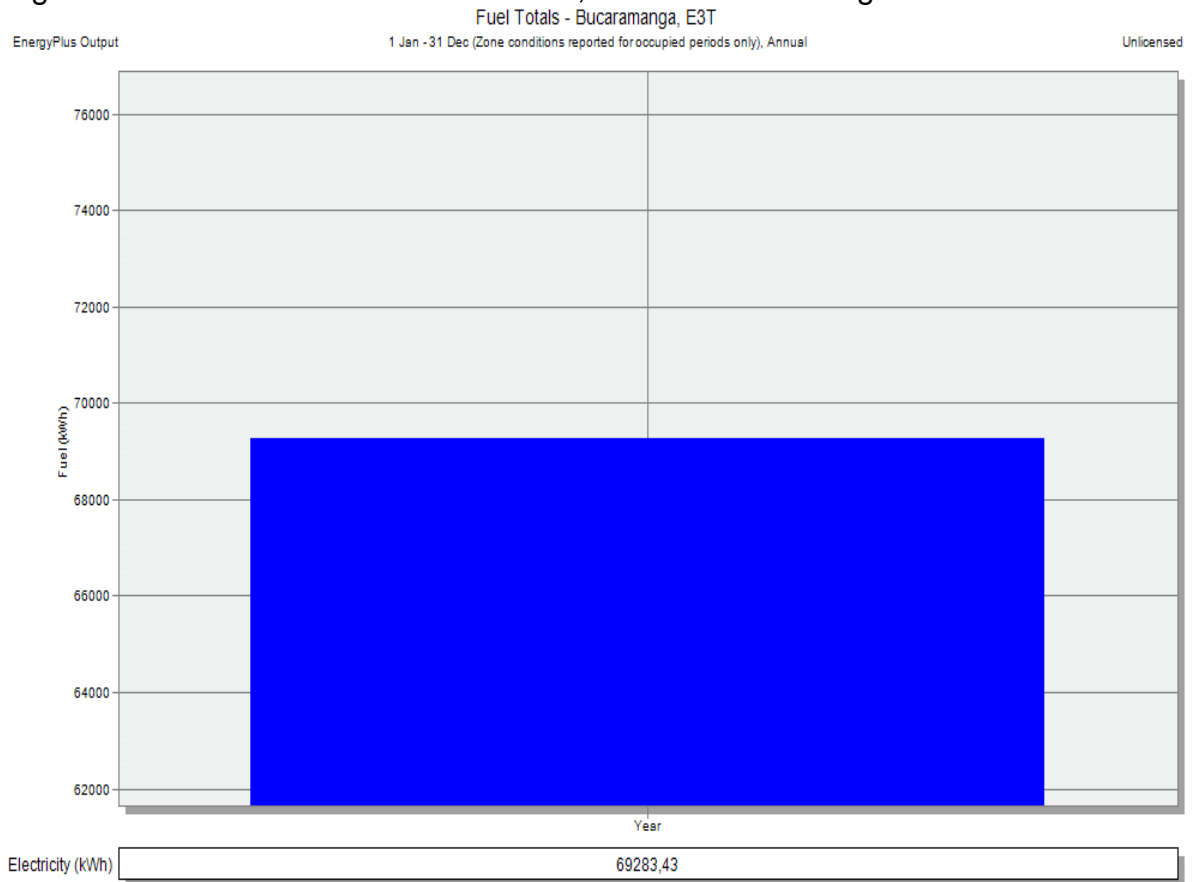
Figura 55. Comportamiento de la velocidad del viento en el primer piso, para la sala individual.



Después de haber realizado todas las simulaciones presentada anteriormente se procedió a simular el consumo de energía en kWh por año del modelo completo del Edificio de Ingeniería Eléctrica, esto se realizó con el fin de poder observar que tanto consume la edificación energéticamente, y cuanto representa esto en gastos. Con este resultado obtenido a continuación se hace una comparación con los valores obtenidos en el consolidado anual medido por piso en la edificación real a través de un analizador de redes.

Los resultados obtenidos en la simulación del consumo anual en kWh del modelo completo del edificio, realizadas en DesignBuilder se muestran a continuación:

Figura 56. Consumo total anual en kWh, en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.



10.1 SIMULACIONES CON DAYLIGHTING

En esta sección se realiza un análisis con el software DesignBuilder en el módulo Daylighting para determinar los niveles de iluminación natural de las áreas con tubos solares, se comparan los resultados para dos escenarios, uno con tubos solares y otro eliminando dicha aplicación, también se analiza cuánto se puede aprovechar en un día los niveles de confort visual con y sin la aplicación de los tubos solares, finalmente se compara el porcentaje que aporta dicha aplicación a la iluminación natural.

Figura 57. Aula 402 con tubo solar activado día promedio nublado.

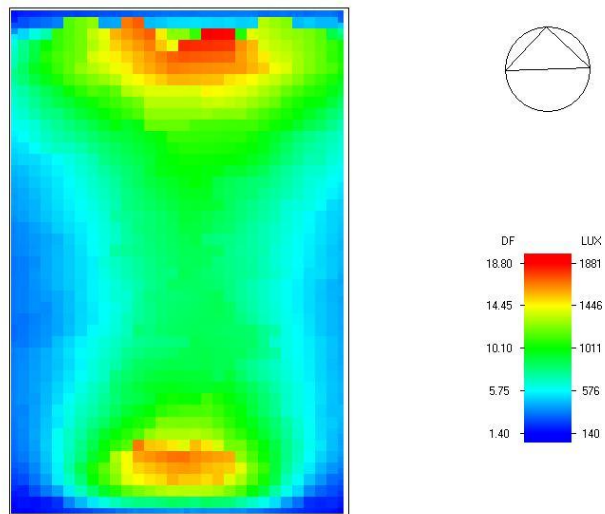


Figura 58. Aula 402 con tubo solar desactivado día promedio nublado.

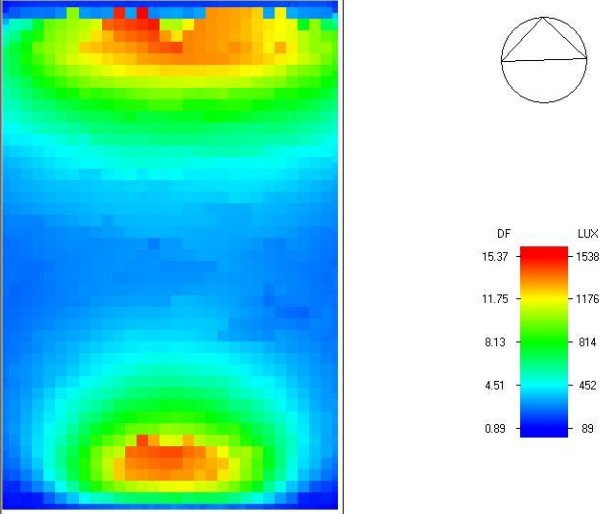


Figura 59. Aula 401 con tubo solar activado día promedio nublado

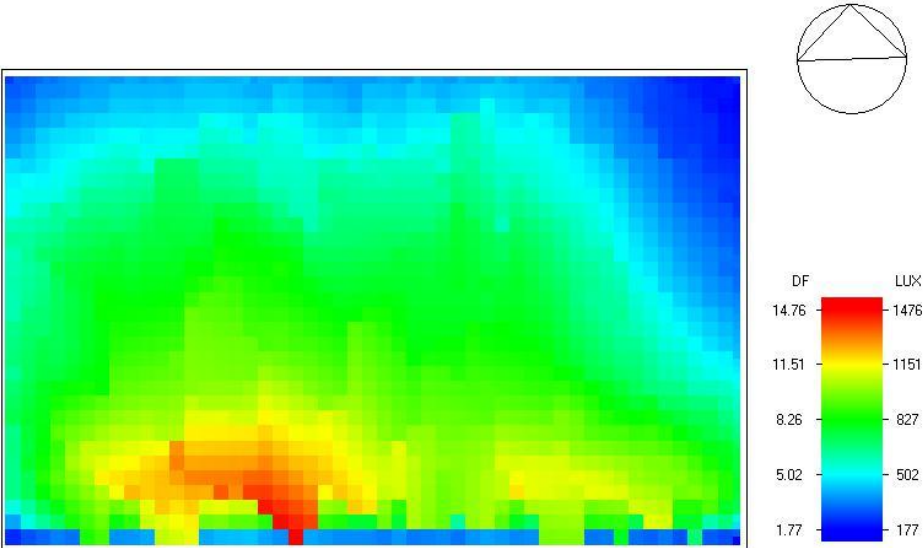


Figura 60. Aula 401 con tubo solar desactivado día promedio nublado

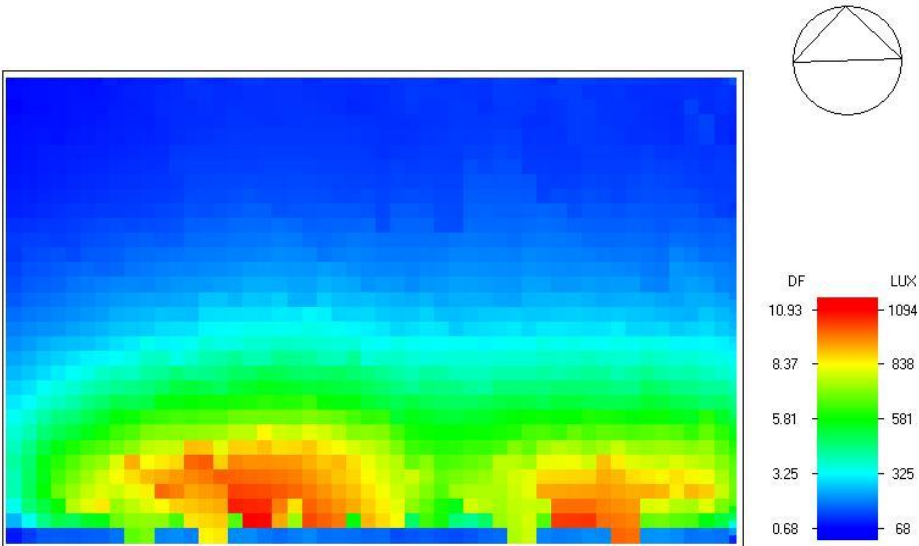


Figura 61. Aula 402 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 6:00

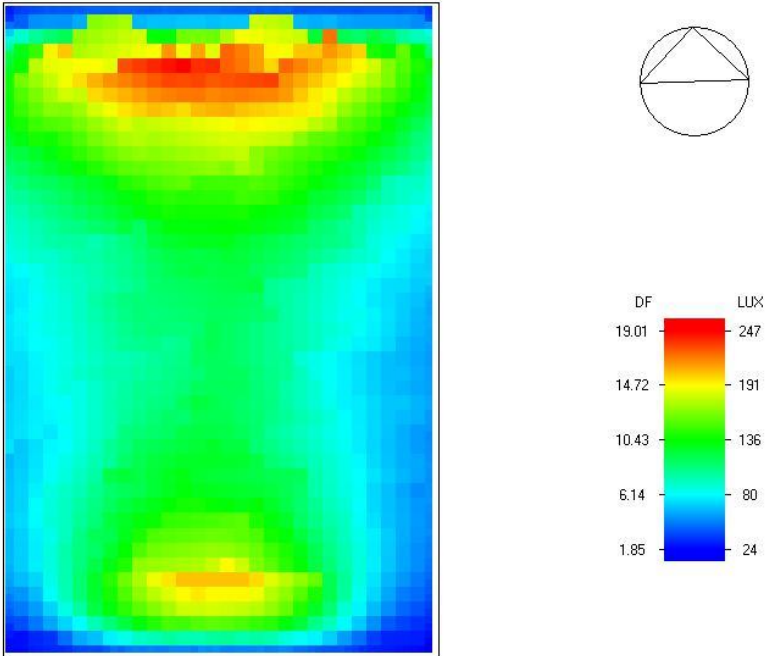


Figura 62. Aula 401 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 6:00

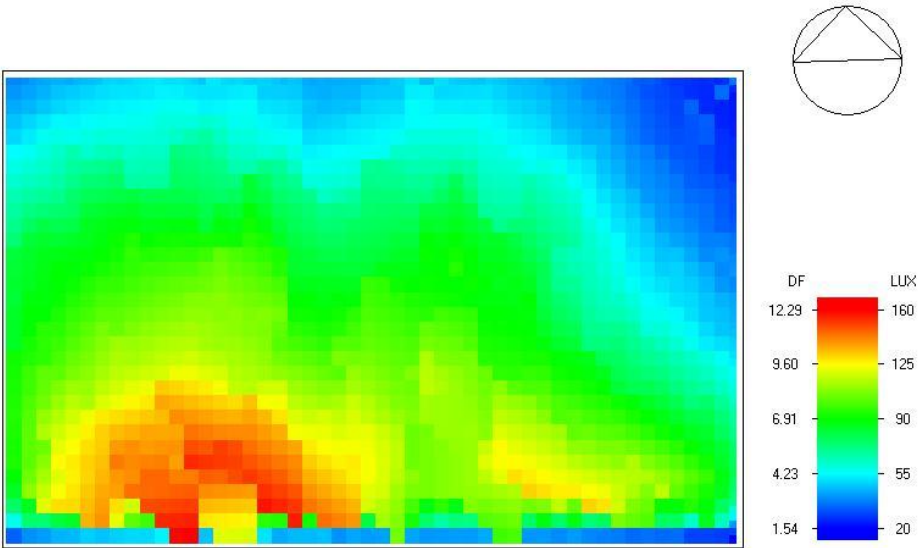


Figura 63. Aula 402 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 6:00

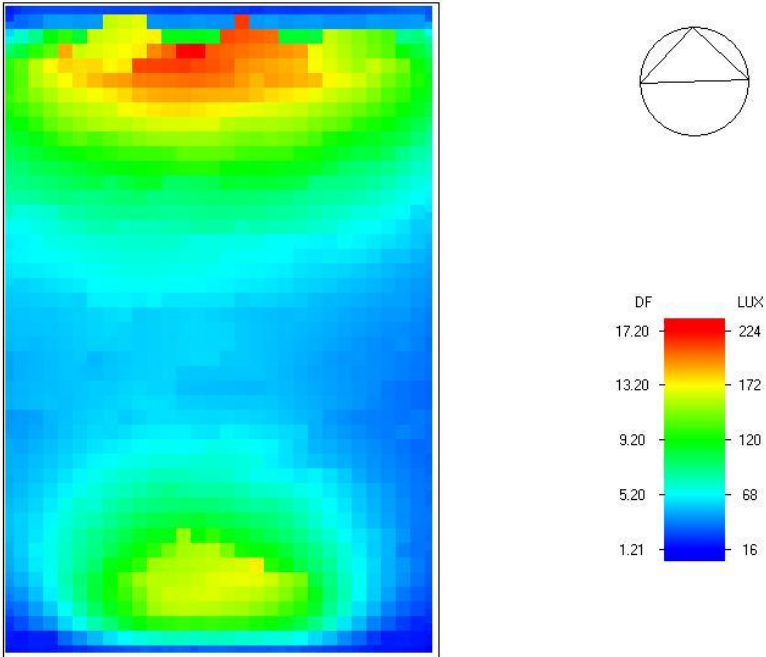


Figura 64. Aula 401 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 6:00

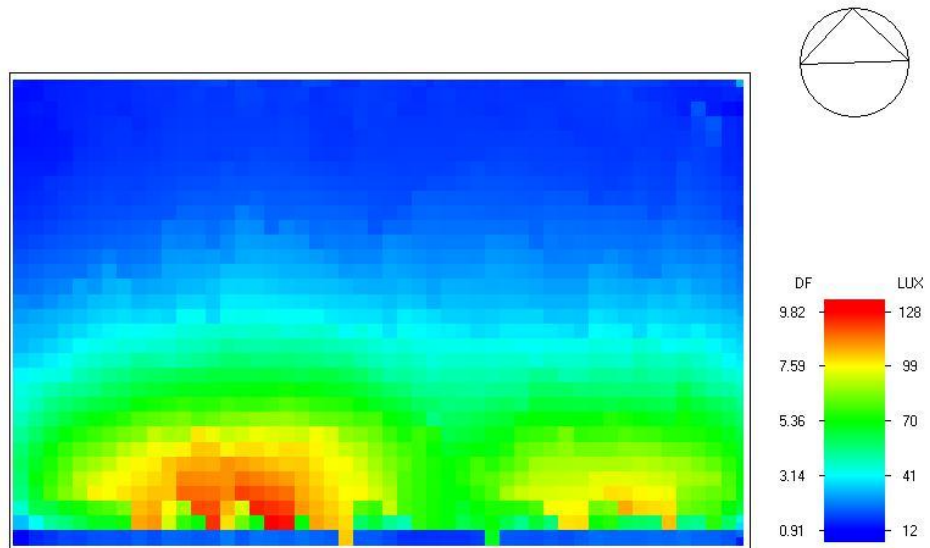


Figura 65. Aula 402 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 7:00

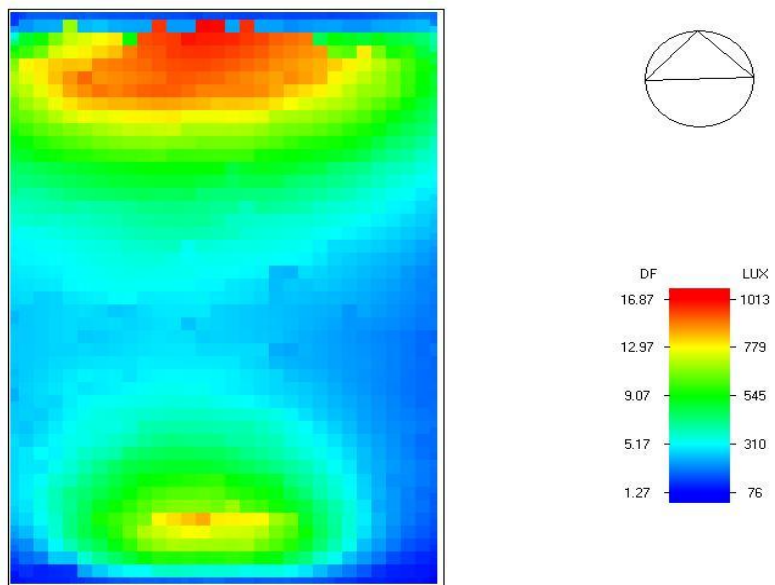


Figura 66. Aula 401 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 7:00

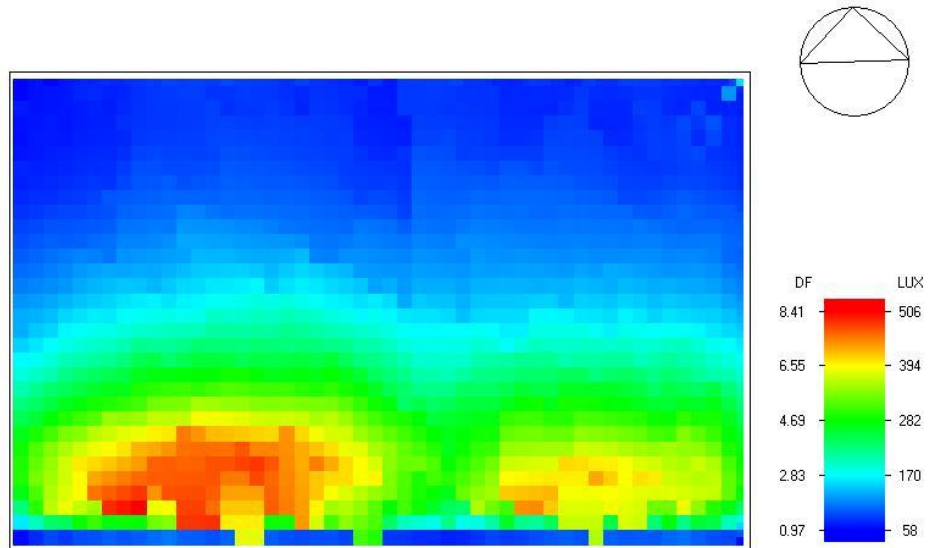


Figura 67. Aula 402 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 7:00

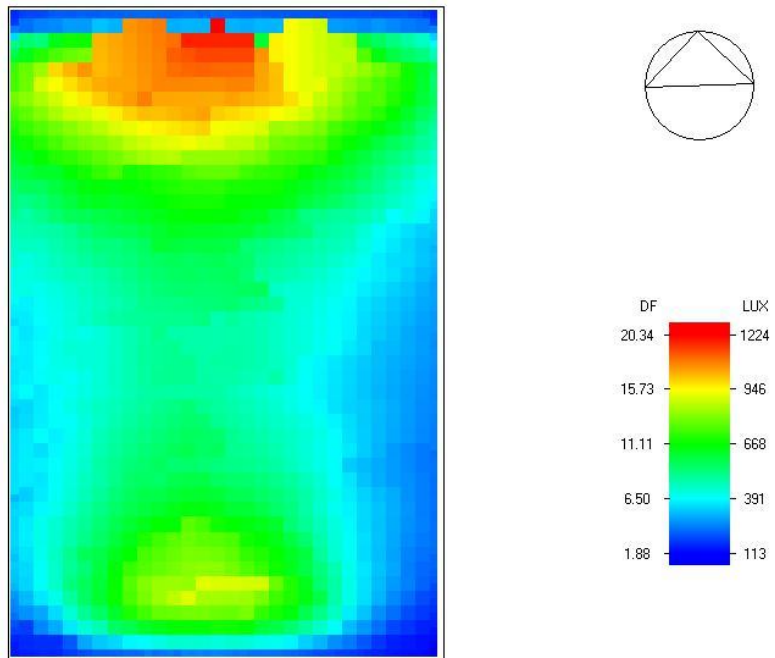


Figura 68. Aula 401 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 7:00

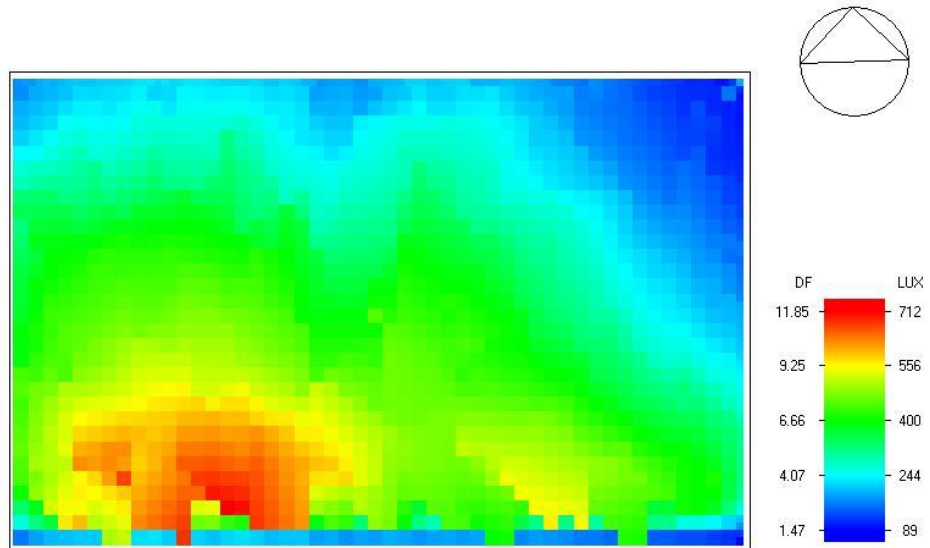


Figura 69. Aula 402 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 8:00

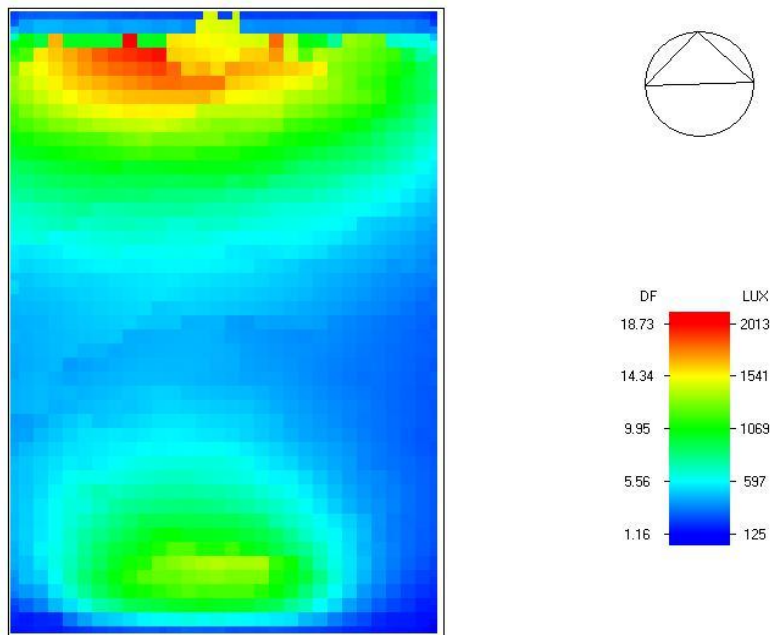


Figura 70. Aula 401 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 8:00

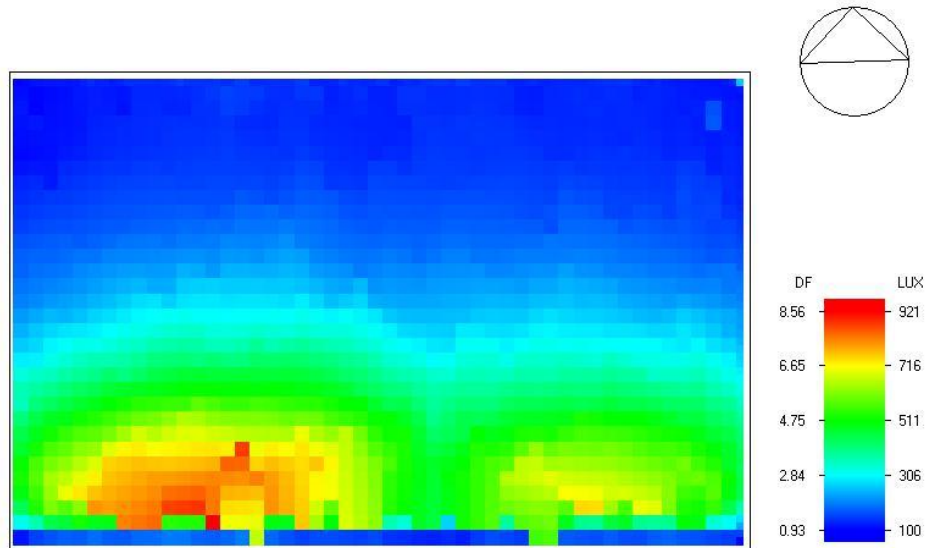


Figura 71. Aula 402 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 8:00

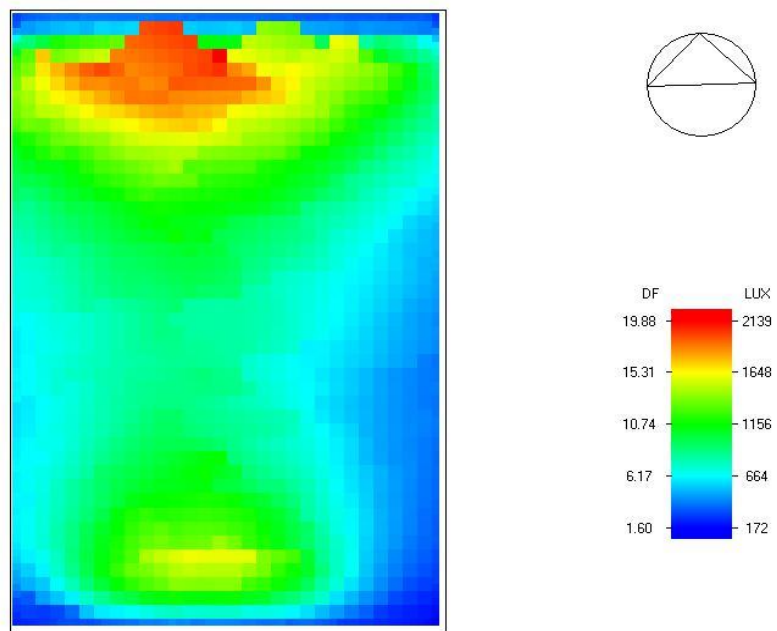


Figura 72. Aula 401 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 8:00

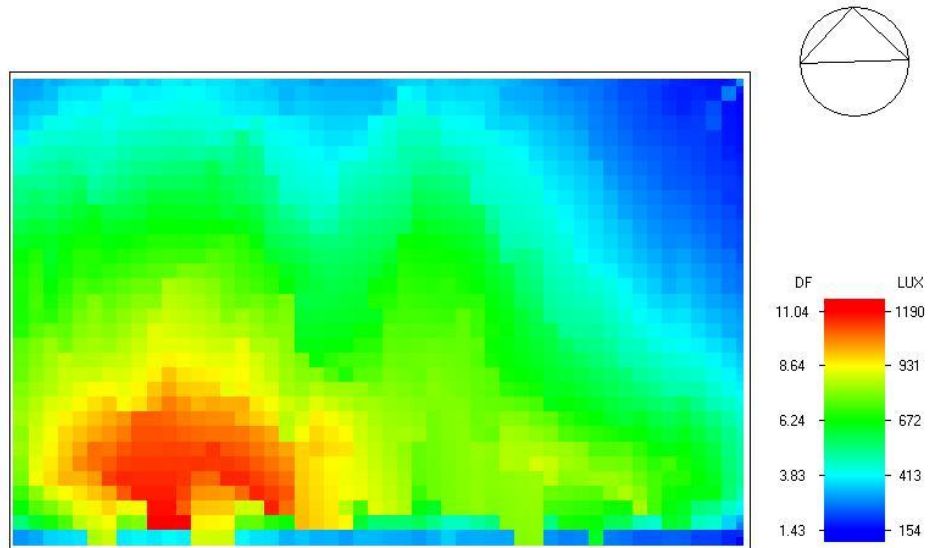


Figura 73. Aula 402 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 10:00

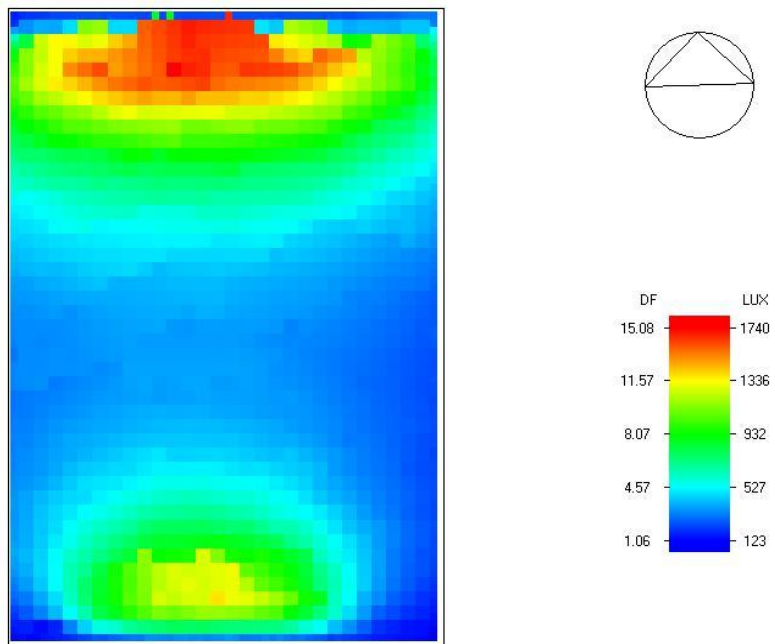


Figura 74. Aula 401 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 10:00

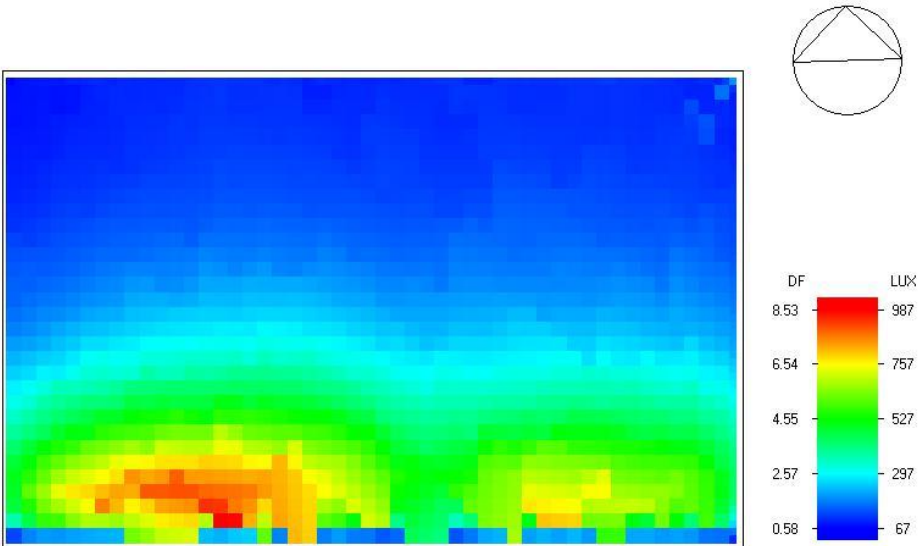


Figura 75. Aula 402 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 10:00

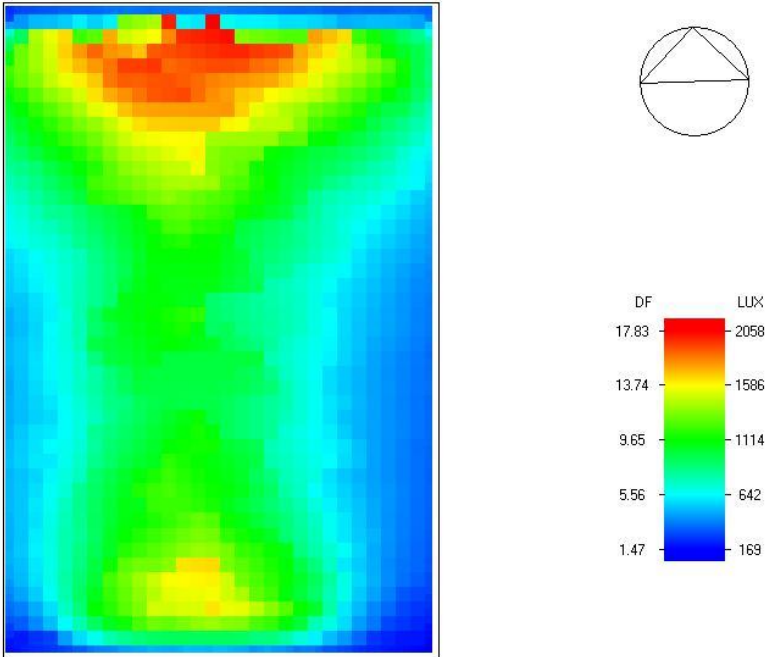


Figura 76. Aula 401 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 10:00

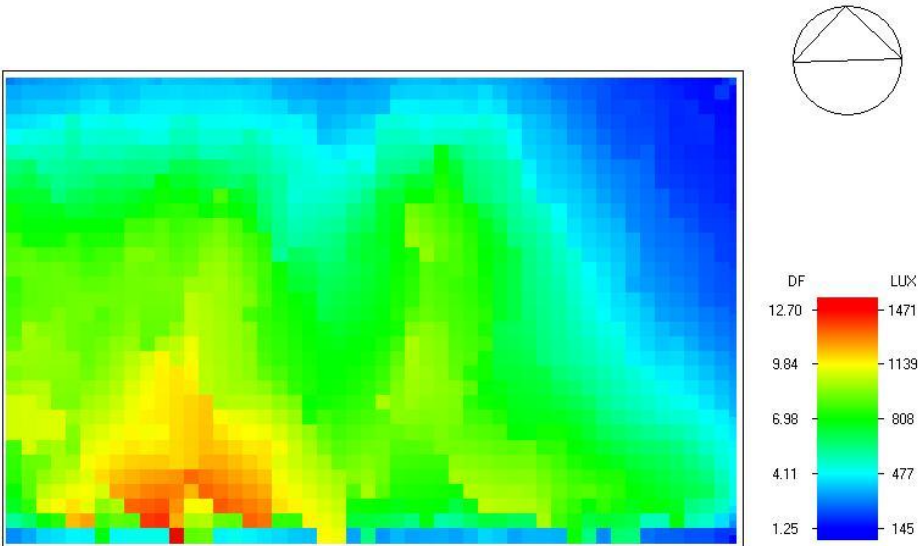


Figura 77. Aula 402 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 12:00

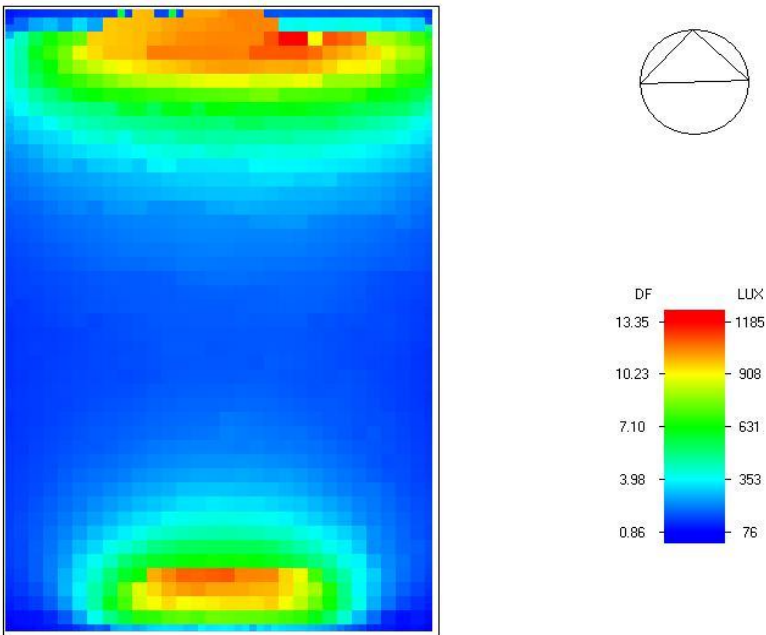


Figura 78. Aula 401 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 12:00

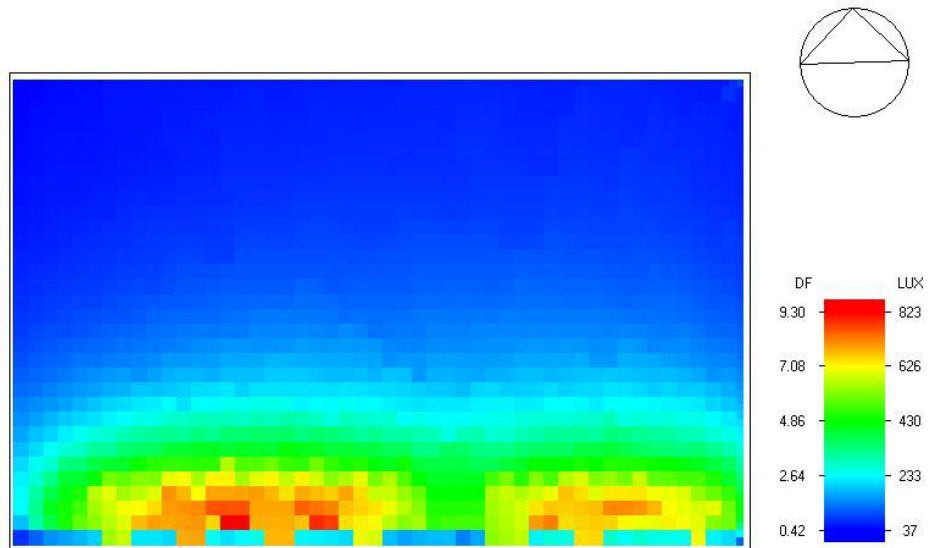


Figura 79. Aula 402 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 12:00

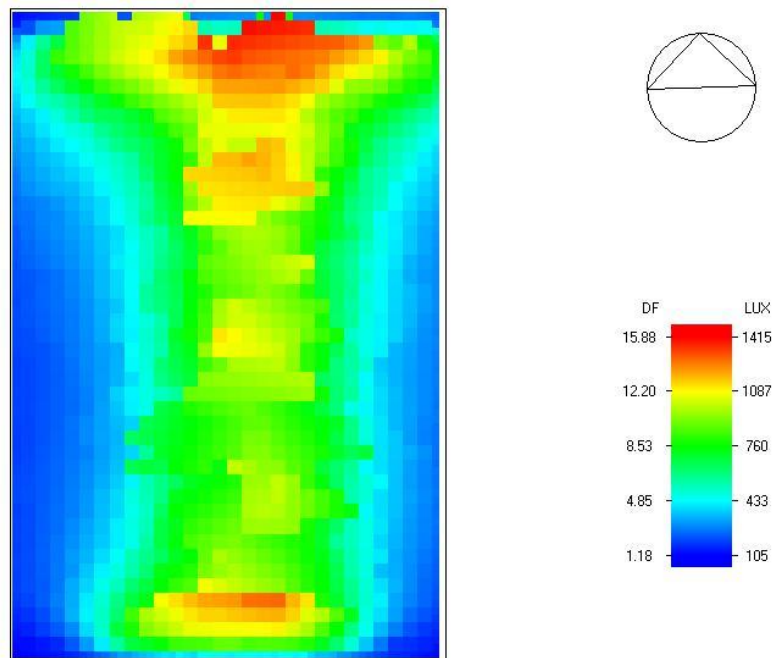


Figura 80. Aula 401 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 12:00

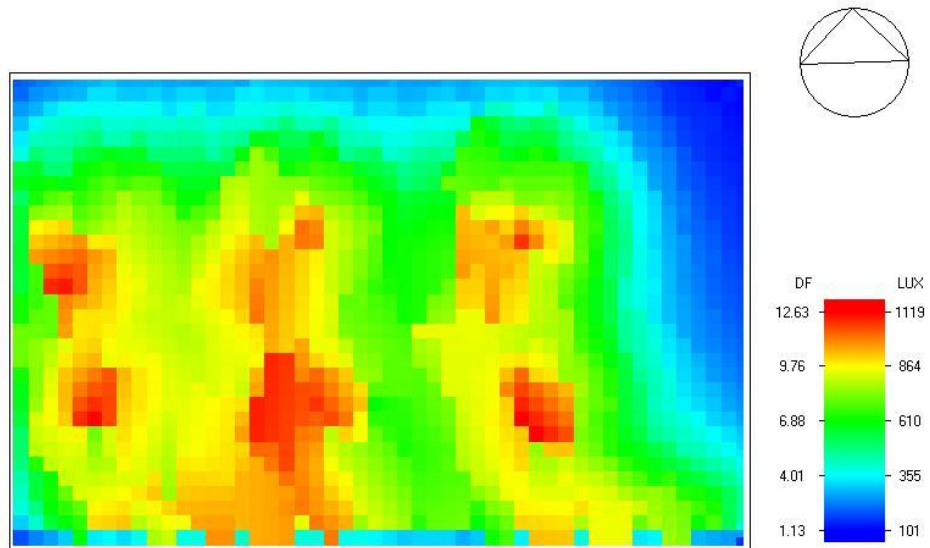


Figura 81. Aula 402 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 14:00

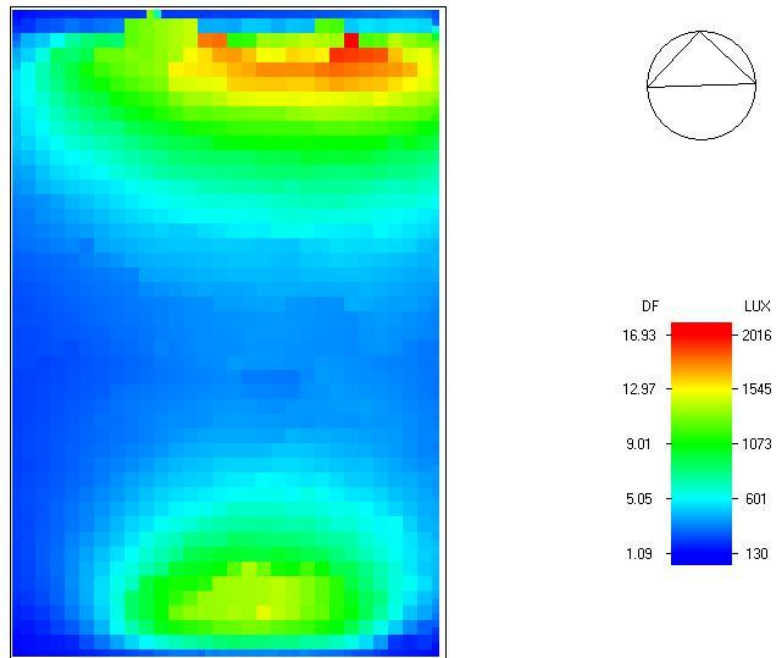


Figura 82. Aula 401 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 14:00

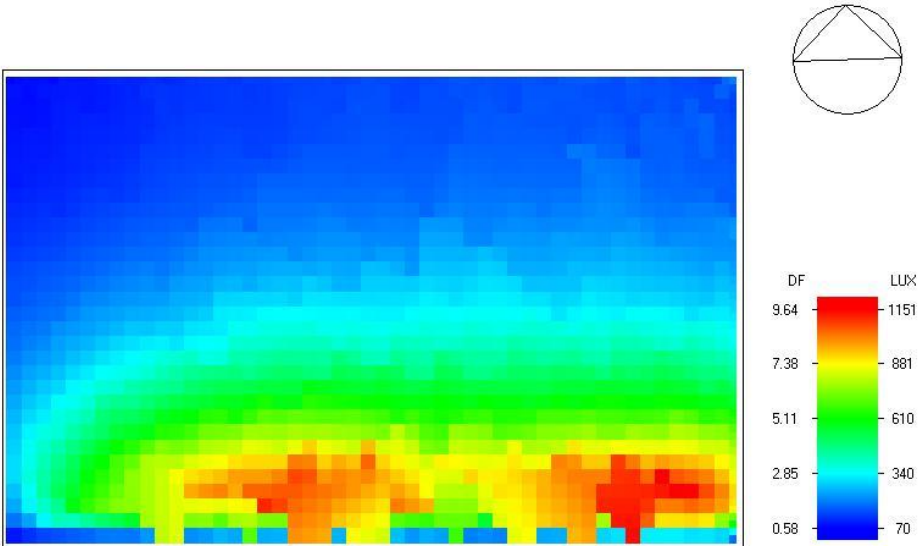


Figura 83. Aula 402 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 14:00

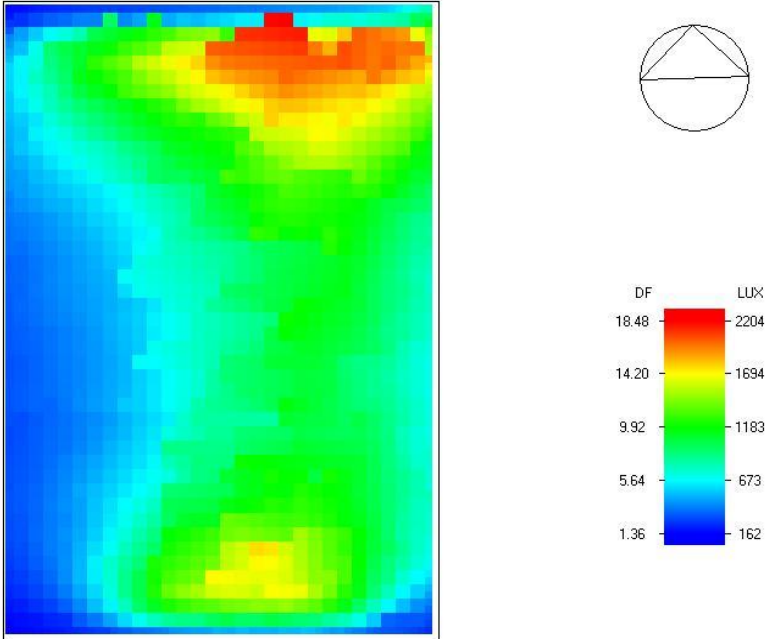


Figura 84. Aula 401 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 14:00

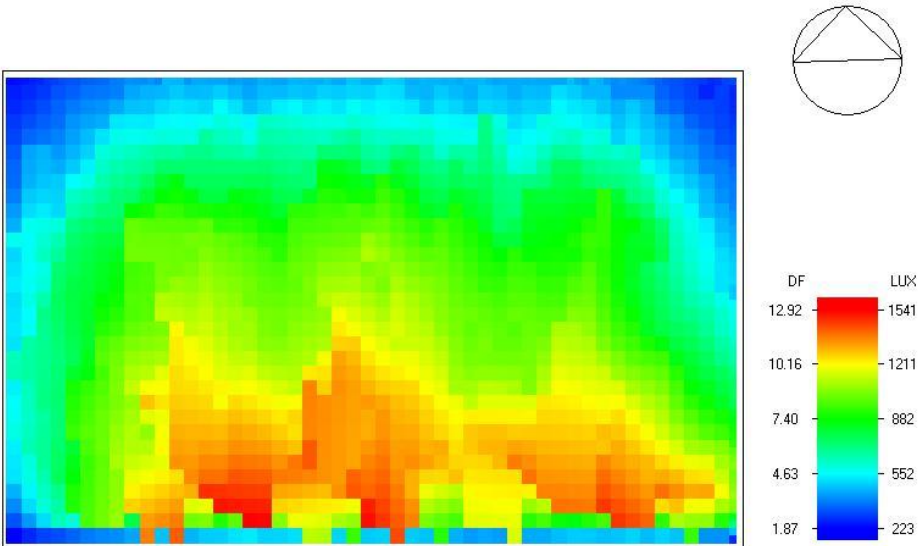


Figura 85. Aula 402 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 16:00

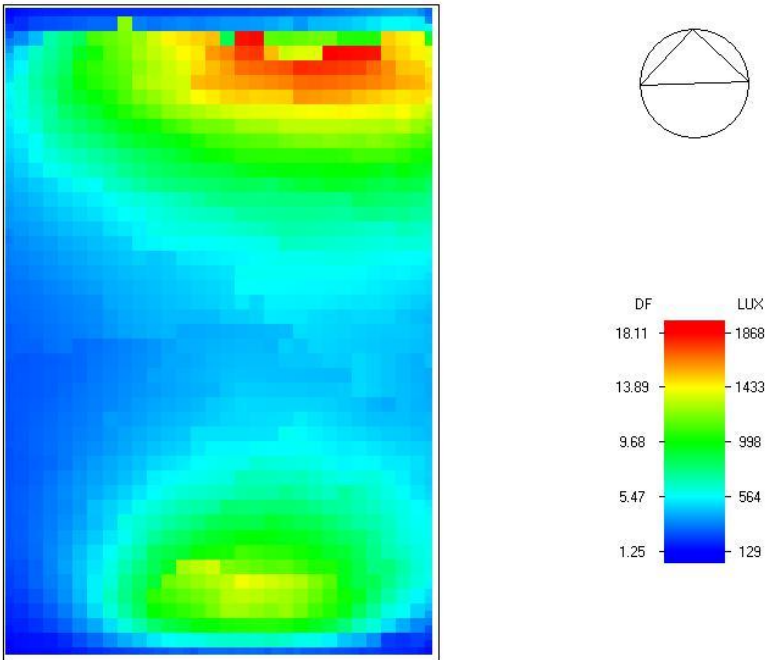


Figura 86. Aula 401 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 16:00

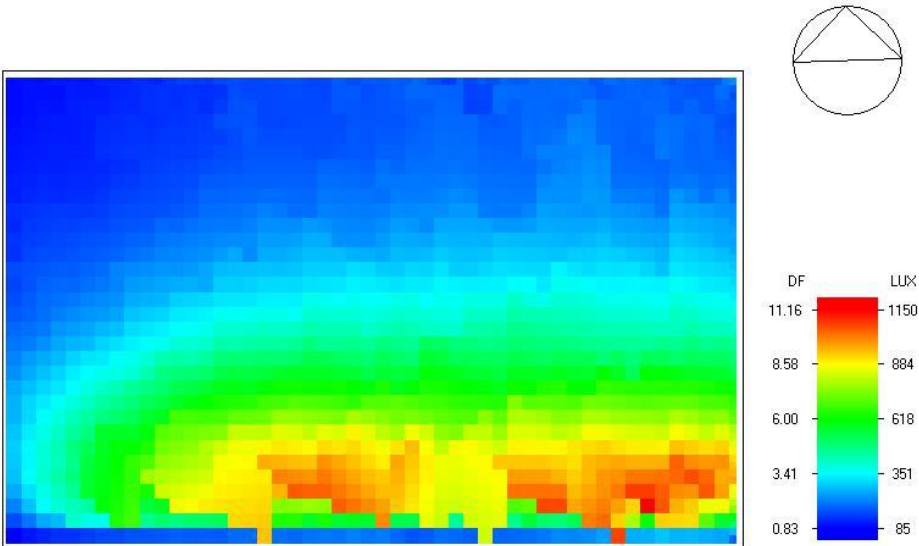


Figura 87. Aula 402 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 16:00

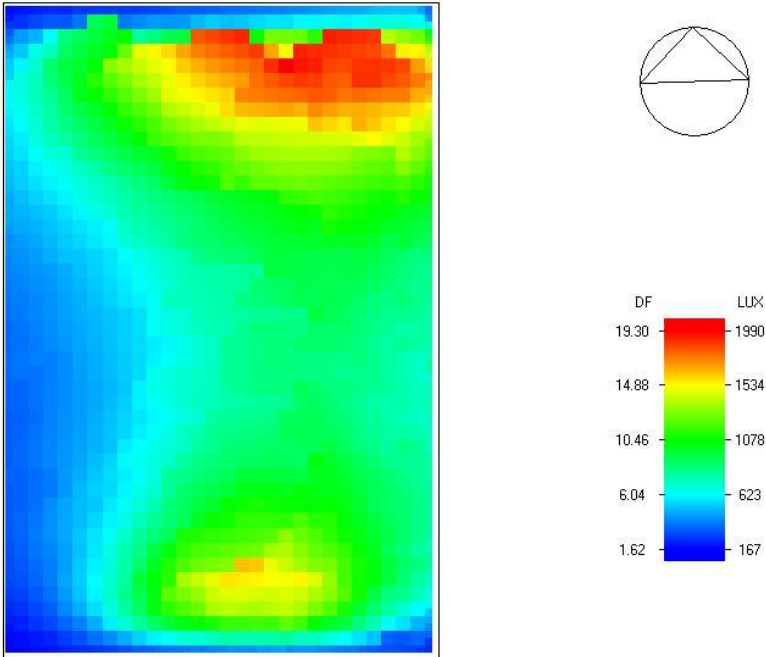


Figura 88. Aula 401 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 16:00

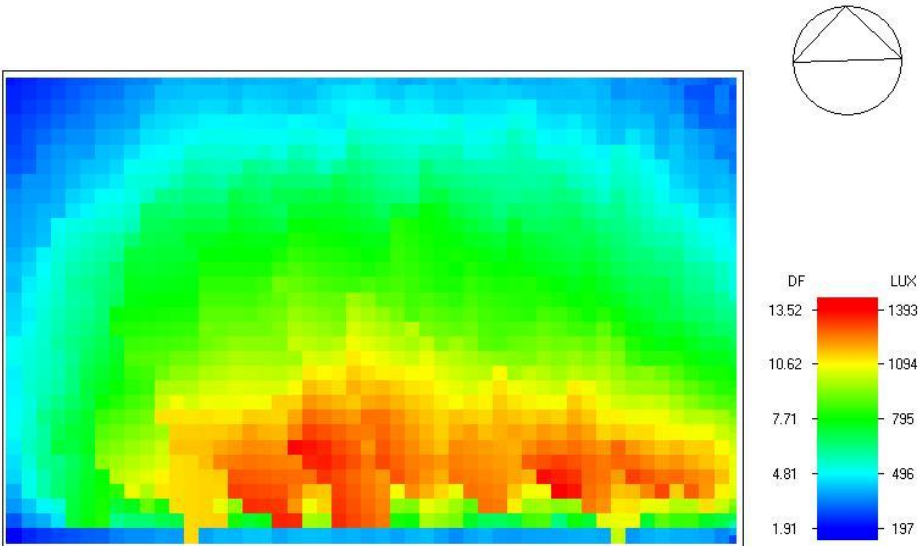


Figura 89. Aula 402 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 17:00

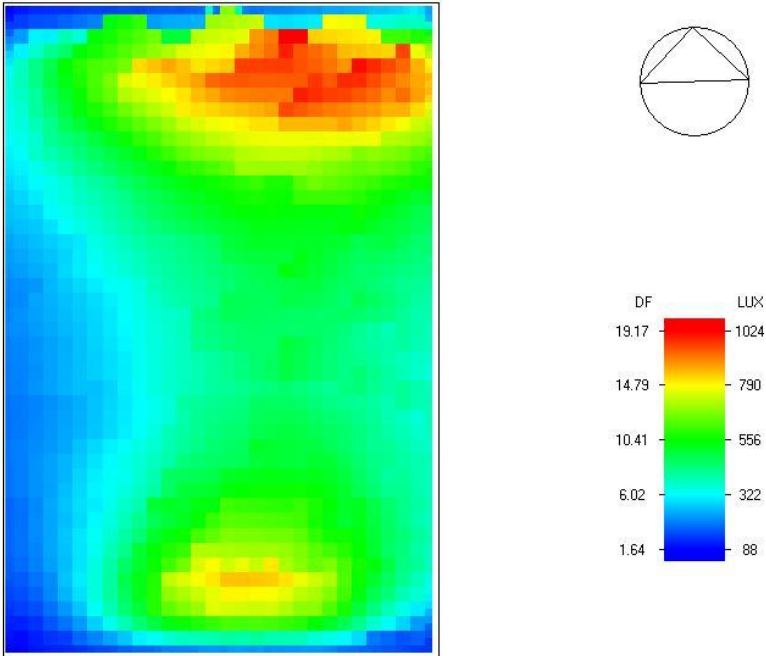


Figura 90. Aula 401 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 17:00

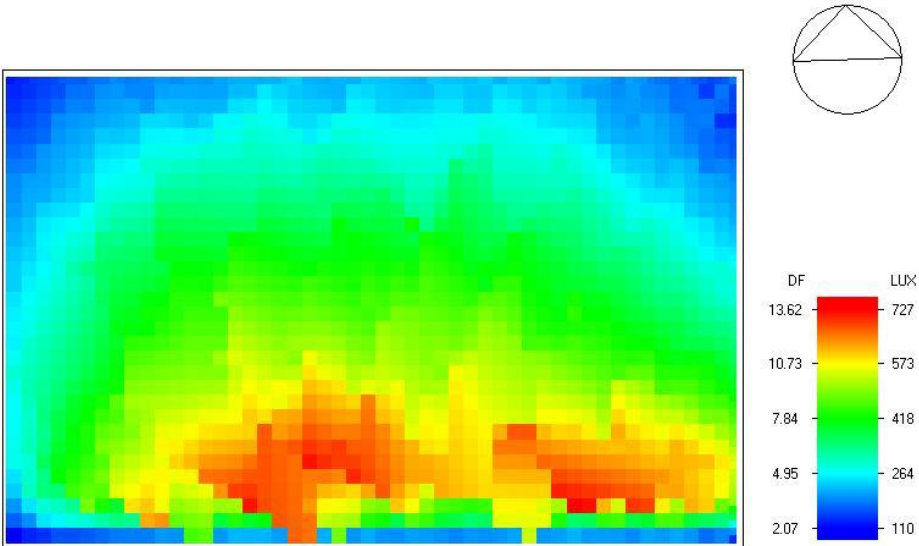


Figura 91. Aula 402 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 17:00

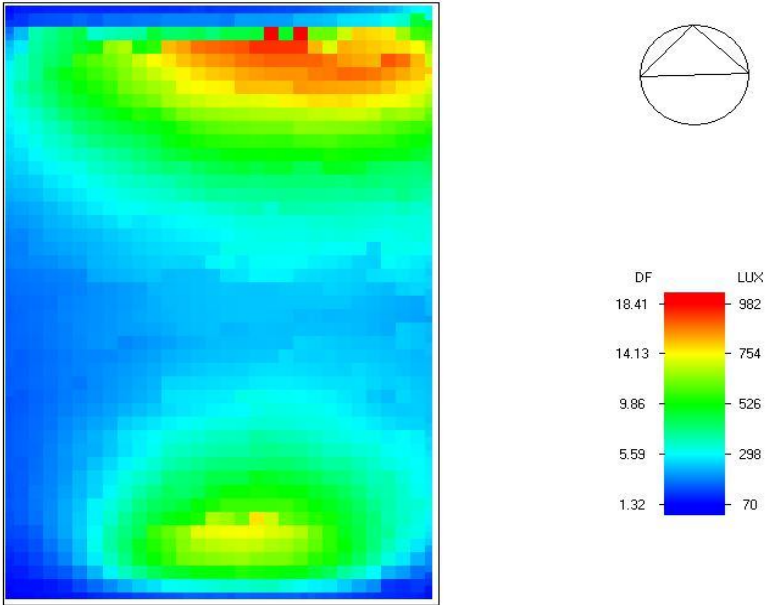


Figura 92. Aula 401 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 17:00

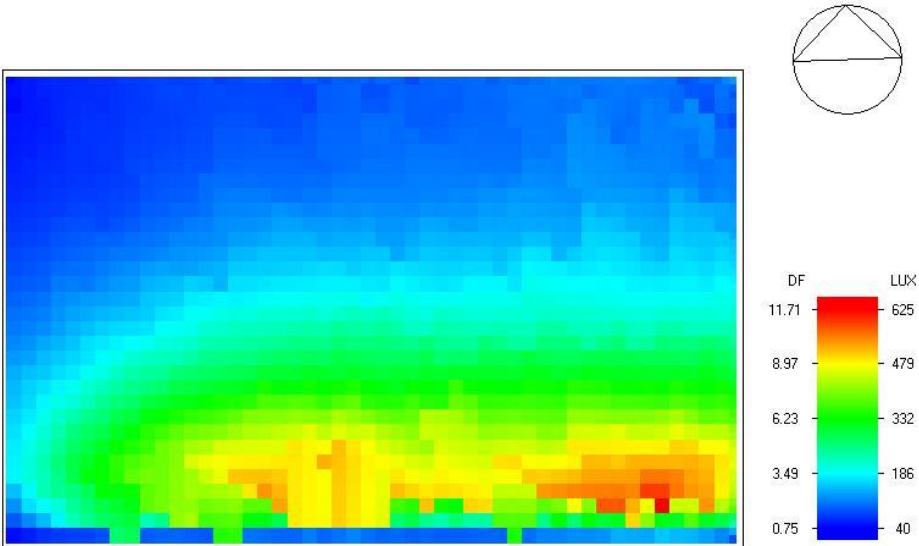


Figura 93. Aula 402 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 18:00

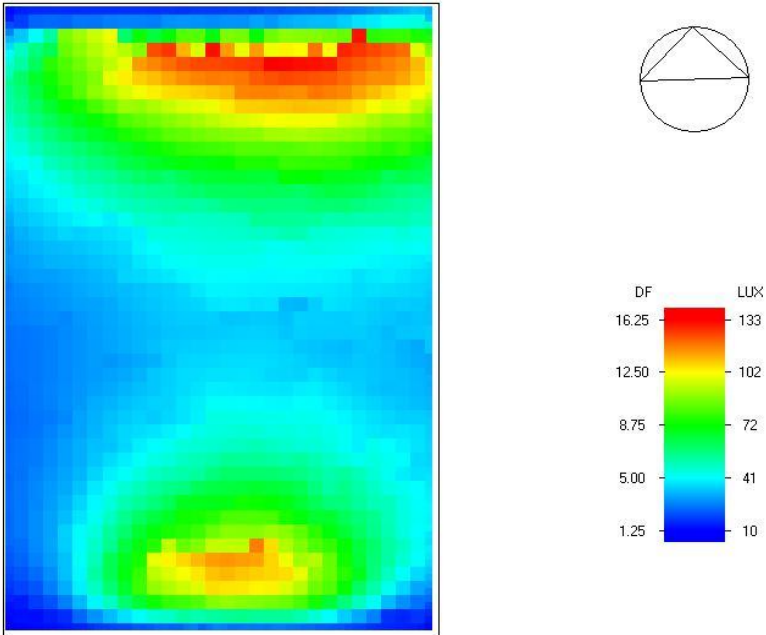


Figura 94. Aula 401 sin tubo solar activado día más soleado nublado hora 18:00

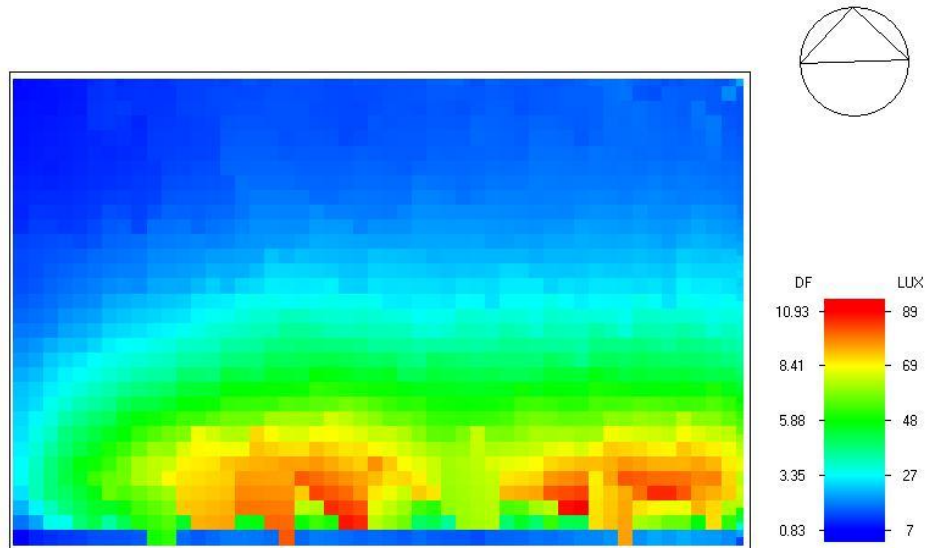


Figura 95. Aula 402 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 18:00

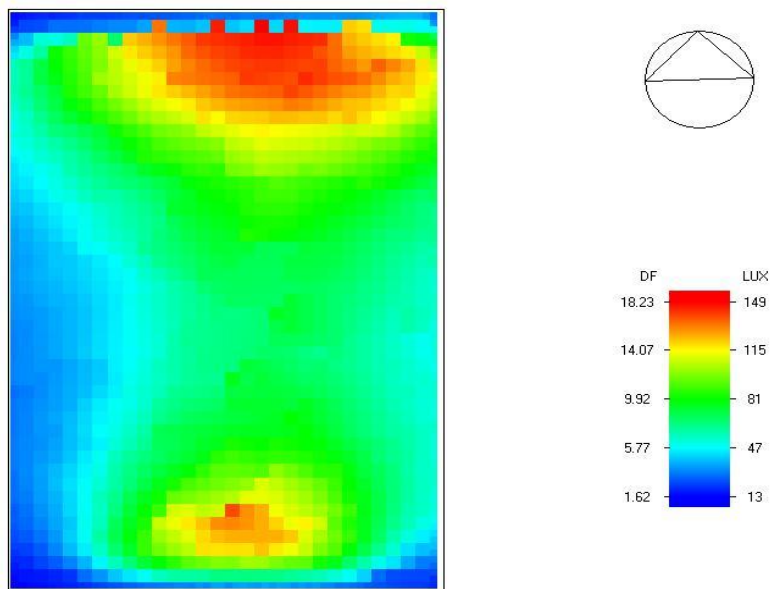
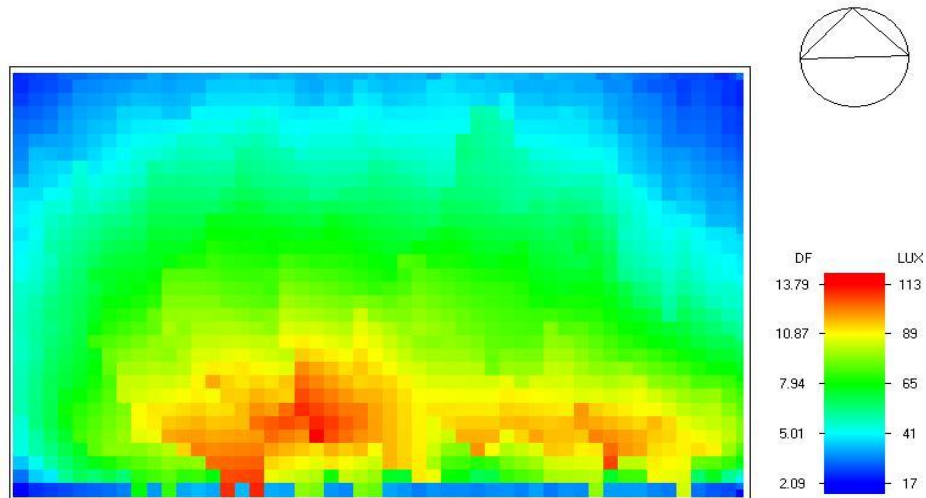


Figura 96. Aula 401 con tubo solar activado día más soleado nublado hora 18:00



10.2 SIMULACIONES ENERGETICAS

Teniendo sintonizado y calibrado el modelo del edificio en DesignBuilder se realizó una serie de simulaciones para el estudio del edificio, con el fin de poder observar con detalles el comportamiento, que este presenta en consumos energéticos por climatización, ganancias térmicas obtenidas por medio de los distintos componentes que conforman la edificación, y por las transferencias de calor en las zonas de estudios. A continuación se muestra el análisis realizado para los comportamientos anuales, mensuales, y diarios de las variables anteriormente mencionadas.

Ganancias térmicas asociadas a distintos componentes del edificio

Se analizan los valores de ganancias asociadas a acristalamientos externos en el aula 402, ya que este es una de las zonas críticas expuestas a mayor radiación solar definidas para esta edificación, estos valores se comparan con los valores de otras ganancias térmicas de esta misma aula. Con el fin de evidenciar la importancia de este tipo de ganancias térmicas en la generación de condiciones de discomfort térmico.

Este análisis se realiza para dos escenarios diferentes, que se pueden presentar en el aula 402. Estos escenarios evaluados en cada simulación, son los comportamientos energéticos con techo verde y sin techo verde presentados en el aula.

Los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas para las ganancias térmicas en la zona crítica aula 402 se muestran a continuación:

Figura 97. Temperatura y ganancias térmicas del aula 402 sin techo verde (anual).

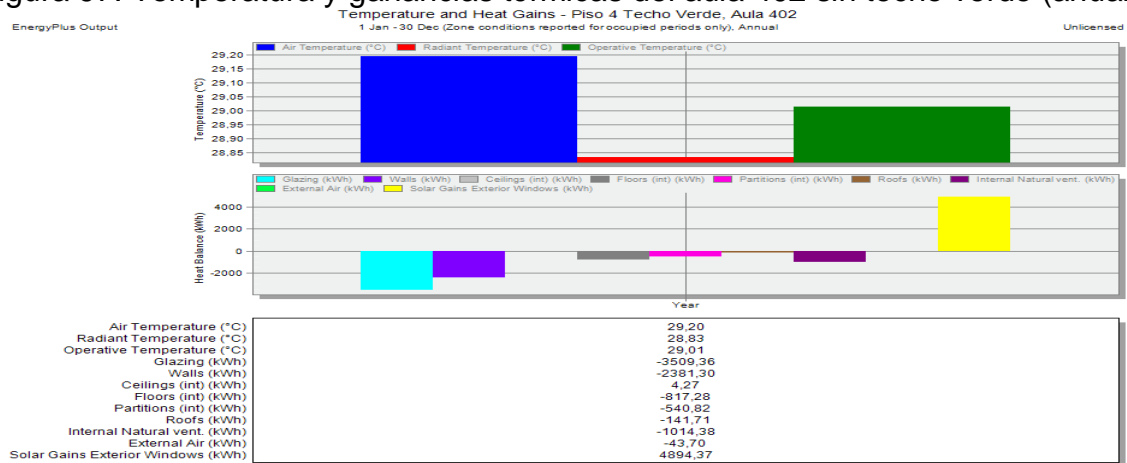
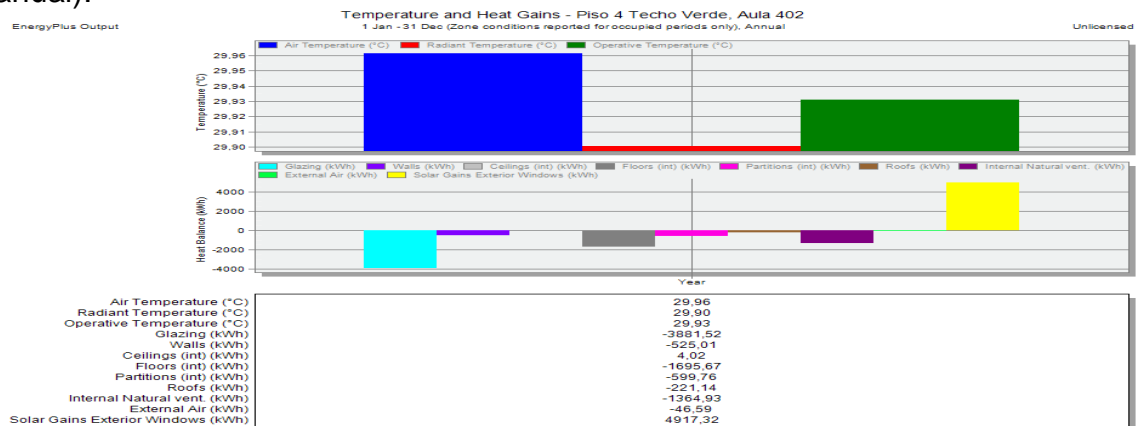


Figura 98. Temperatura y ganancias térmicas del aula 402 con techo verde (anual).



Las siguientes tablas muestran la diferencia en el comportamiento energético en las ganancias térmicas con techo verde y sin techo verde, en los distintos materiales que se encuentran en el aula 402 del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Tabla 32. Ganancias térmicas en (kWh) del aula 402, y la diferencia con y sin techo verde.

SIMULACIONES ENERGETICAS (ANUAL)	AULA 402		CAMBIO QUE EXISTE APLICANDO TECHO VERDE (ANUAL)	
	Sin techo verde	Con techo verde	Aumento de ganancia térmica (kWh)	Disminución de ganancia térmica (%)
Ganancias térmicas de los materiales				
Acristalamiento	-3509,360	- 3881,520	-372,160	10,605
Paredes	-2381,300	-525,010	1856,290	-77,953
Techos(int)	4,270	4,020	-0,250	-5,855
Particiones(int)	-540,820	-599,760	-58,940	10,898
Aire externo	-43,700	-46,590	-2,890	6,613
Ganancias solares ventanas exteriores	4894,370	4917,320	22,950	0,469

Tabla 33. Diferencia anual en (%) entre el acristalamiento y las otras ganancias térmica.

DIFERENCIA ANUAL ENTRE ACRISTALAMIENTO Y LAS OTRAS GANANCIAS	
Acristalamiento comparado con	Diferencia a favor (%)
Ganancias solares ventanas exteriores	10,136
Aire externo	3,992
Particiones(int)	-0,293
Techos(int)	16,460
Paredes	88,558

Observando los resultados se puede notar que a través del acristalamiento se obtiene una disminución en ganancia térmica de 372,160 kWh anuales, esto siempre y cuando se implemente el techo verde en el aula 402. Esta disminución

equivale a un 10,605 % anual respecto al valor de ganancia obtenido sin aplicar el techo verde en el aula 402.

Realizando la comparación de las ganancias térmicas a través del acristalamiento, con las otras ganancias térmicas obtenidas en las simulaciones, se puede decir que las disminuciones de ganancias por acristalamiento solo se encuentran por debajo de las ganancias térmicas obtenidas a través de las particiones interiores en un 0,293 % anual. Lo que determina que el acristalamiento juega un papel importante en la generación de condiciones de desconfort de una zona crítica.

A continuación se muestra los resultados y el comportamiento mensual y comportamiento diario obtenido para la misma simulación, en donde se observa el comportamiento de la zona crítica aula 402, para la condición con techo verde y sin techo verde.

Figura 99. Temperatura y ganancias térmicas del aula 402 sin techo verde (mensual).

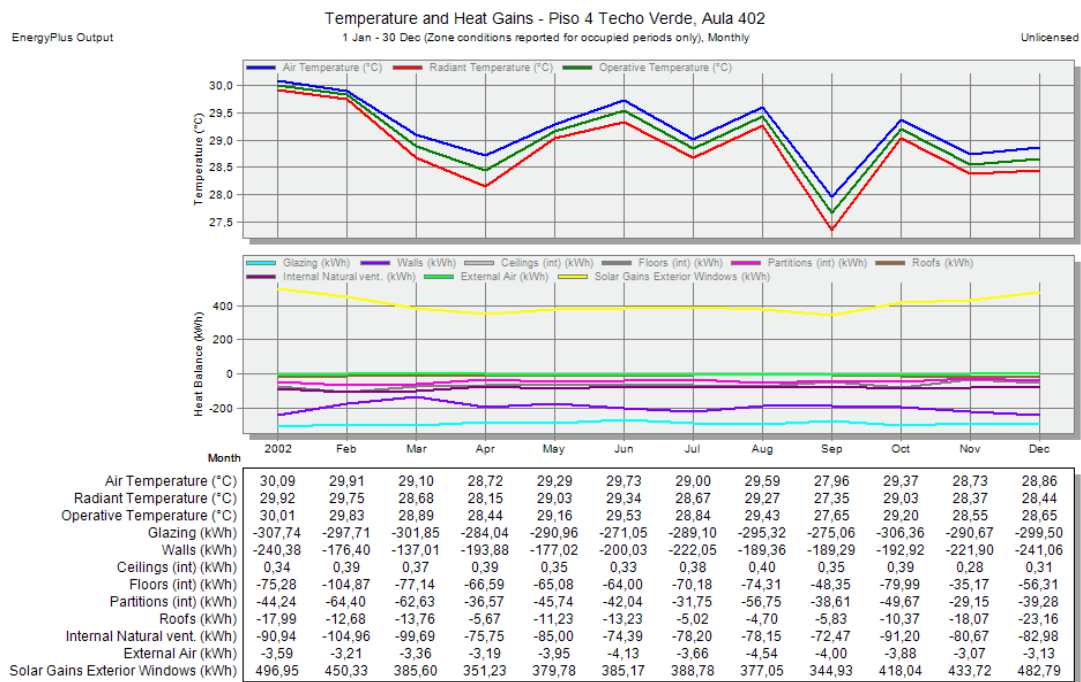
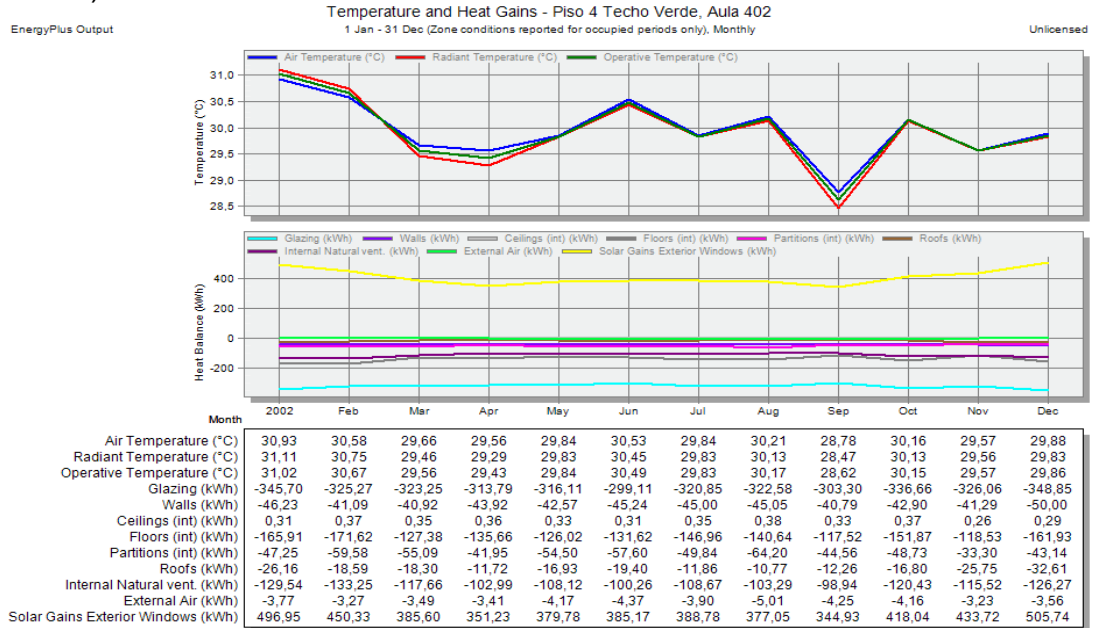


Figura 100. Temperatura y ganancias térmicas del aula 402 con techo verde (mensual).



Se toman las ganancias mensuales por acristalamiento y se determina el comportamiento promedio durante el año que se simuló, y se observan las siguientes ganancias térmicas y la variación para las dos condiciones establecidas:

Tabla 34. Ganancia promedio mensual en (kWh) del aula 402, con y sin techo verde.

SIMULACIONES ENERGETICAS (MENSUAL)	AULA 402		CAMBIO QUE EXISTE APLICANDO TECHO VERDE (MENSUAL)	
	Sin techo verde	Con techo verde	Aumento de ganancia térmica (kWh)	Disminución de ganancia térmica (%)
Ganancias térmicas de los materiales				
Acristalamiento	-292,447	-323,461	-31,014	10,605
Paredes	-166,288	-43,750	122,538	-73,690
Techos(int)	0,357	0,334	-0,023	-6,308
Particiones(int)	-45,069	-49,978	-4,909	10,893
Aire externo	-3,643	-3,883	-0,240	6,589
Ganancias solares ventanas exteriores	407,864	409,777	1,912	0,469

Tabla 35. Diferencia mensual en (%) entre el acristalamiento y las otras ganancias térmica.

DIFERENCIA MENSUAL ENTRE ACRISTALAMIENTO Y LAS OTRAS GANANCIAS	
Acristalamiento comparado con	Diferencia a favor (%)
Ganancias solares ventanas exteriores	10,136
Aire externo	4,016
Particiones(int)	-0,287
Techos(int)	16,913
Paredes	84,295

Al igual que los resultados arrojados en la simulación anual se obtiene una disminución en ganancia térmica promedio a través del acristalamiento de un 31,014 kWh mensual, equivalente a un 10,605 % mensual, para la zona crítica aula 402. Lo cual con lleva al mismo comportamiento descrito anteriormente en el comportamiento anual. Al igual que las comparaciones de ganancias térmicas hechas del acristalamiento con los otros tipos de materiales y ganancias presentadas en la zona de estudio.

Siguiente a este análisis se muestra el comportamiento diario y los resultados obtenidos en la simulación realizada. Esto se muestra como se ha venido presentando y explicando en las figuras y tablas anteriormente presentada para un periodo de un año:

Figura 101. Temperatura y ganancias térmicas del aula 402 sin techo verde (diaria).

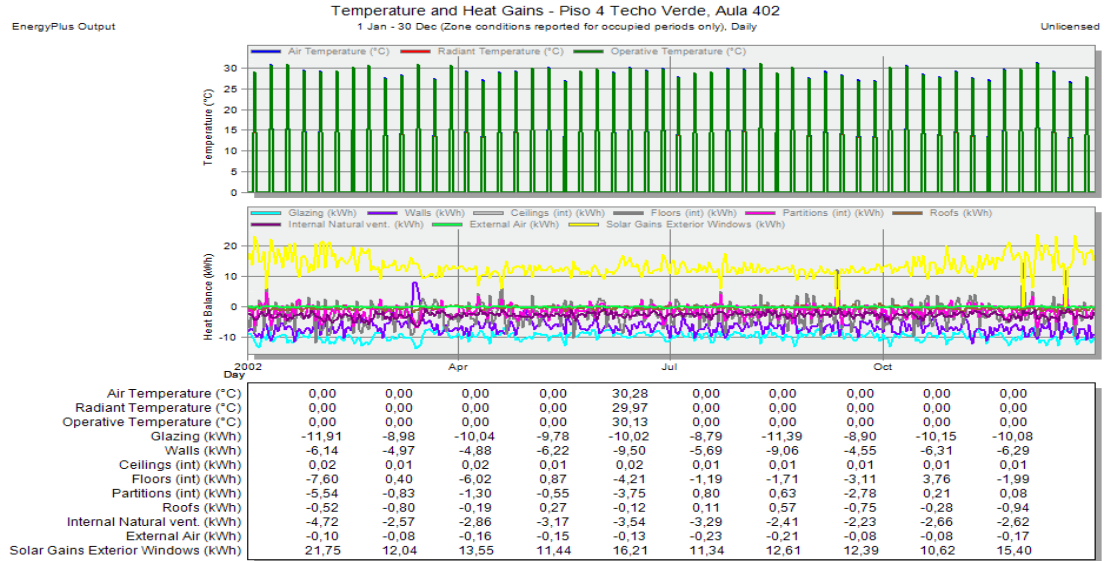
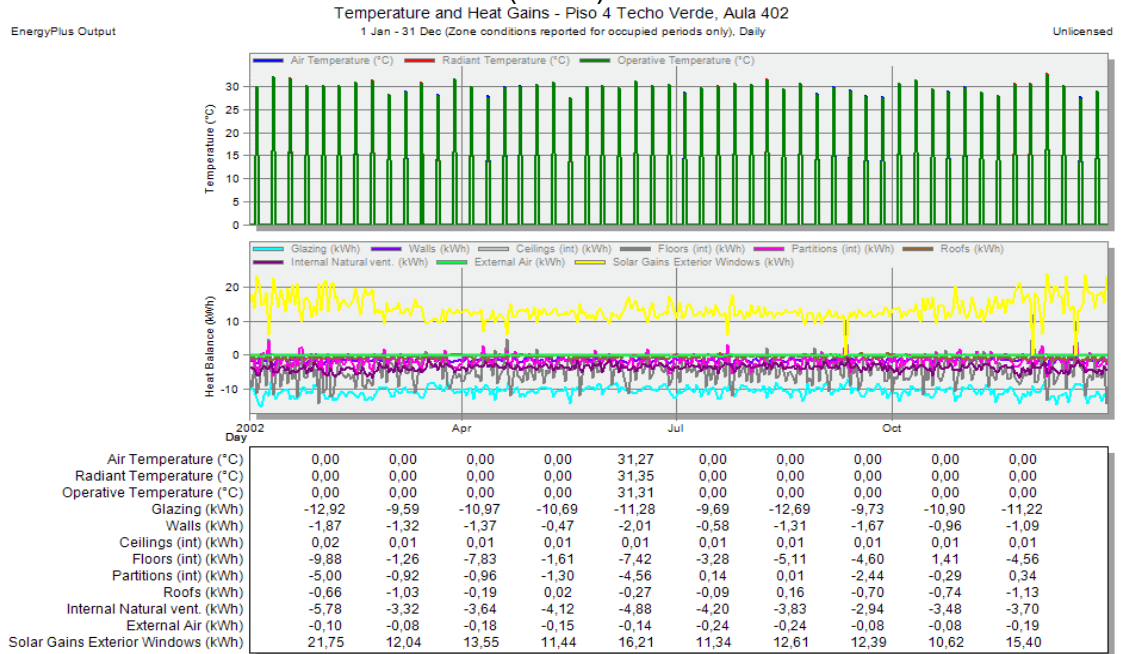


Figura 102. Temperatura y ganancias térmicas del aula 402 con techo verde (diaria).



Al igual que el comportamiento presentado en los resultados anuales y mensuales, el comportamiento diario presenta una ganancia similar tanto en kWh, como en valor porcentual. A continuación se muestra dichos valores obtenidos en el análisis diario hecho.

Las simulaciones arrojan diez (10) valores diarios de ganancias energéticas en un rango de 12 meses, para un periodo de un año. A continuación se muestra el promedio de los días por mes, para las dos condiciones establecidas en el análisis de la zona crítica aula 402, el aumento de ganancia térmica promedio diaria, y su respectiva comparación como se viene haciendo con el acristalamiento y las otras ganancias térmicas.

Tabla 36. Ganancia promedio diario por mes en (kWh) del aula 402, con y sin techo verde.

SIMULACIONES ENERGETICAS (DIARIO)	AULA 402		CAMBIO QUE EXISTE APLICANDO TECHO VERDE (DIARIO)	
	Sin techo verde	Con techo verde	Aumento de ganancia térmica (kWh)	Disminución de ganancia térmica (%)
Acristalamiento	-10,004	-10,968	-0,964	9,636
Paredes	-6,361	-1,265	5,096	-80,113
Techos(int)	0,013	0,011	-0,002	-15,385
Particiones(int)	-1,304	-1,498	-0,194	14,877
Aire externo	-0,139	-0,148	-0,009	6,475
Ganancias solares ventanas exteriores	13,742	13,735	-0,007	-0,051

Tabla 37. Diferencia diaria en (%) entre el acristalamiento y las otras ganancias térmica.

DIFERENCIA DIARIA ENTRE ACRISTALAMIENTO Y LAS OTRAS GANANCIAS	
Acristalamiento comparado con	Diferencia a favor (%)
Ganancias solares ventanas exteriores	9,687
Aire externo	3,161
Particiones(int)	-5,241
Techos(int)	25,021
Paredes	89,749

Los resultados anuales, mensuales y diarios obtenidos en las ganancias térmicas de los materiales de la zona crítica aula 402, presentan un comportamiento similar al mostrar una disminución de ganancia térmica promedio porcentual conjunta de 10,281 % que equivale a 134.713 (kWh), esto cuando se pasa de un techo convencional en concreto a implementar un techo verde para la zona crítica de estudio.

Ganancias térmicas asociadas a la transferencia de calor a través de las cubiertas exteriores

Se observa y se evalúa el comportamiento de la zona crítica oficinas tipo modulares que hacen parte del quinto piso, ya que esta abarca varias zonas críticas en las que se pueden presentar comportamientos importantes, en donde se pueda evidenciar y realizar comparaciones de ganancias térmicas de las cubiertas exteriores de la zona seleccionada con los otros valores de las demás ganancias térmicas presentada en esta.

A continuación se presentan los comportamientos anuales, mensuales y diarios de las ganancias térmicas generadas por las cubiertas exteriores de las oficinas tipo modulares, al igual que las comparaciones de estos resultados con los resultados de las otras ganancias térmicas de esta misma zona crítica a evaluar:

Figura 103. Temperatura y ganancias térmicas de las oficinas tipo modulares sin techo verde (anual).

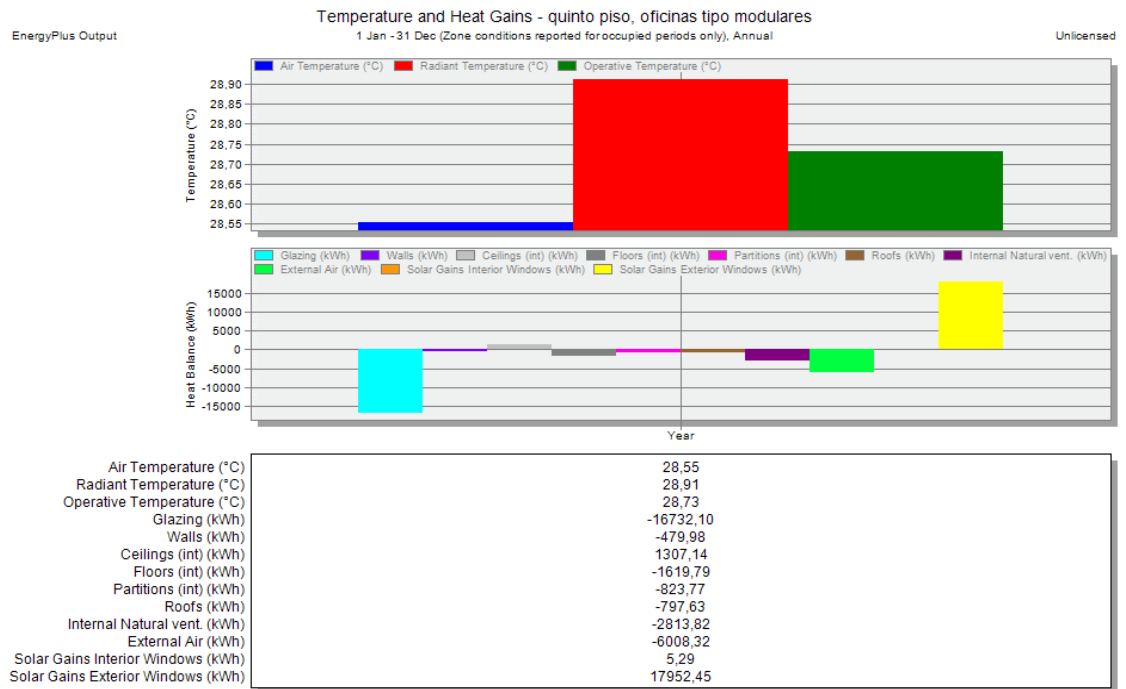
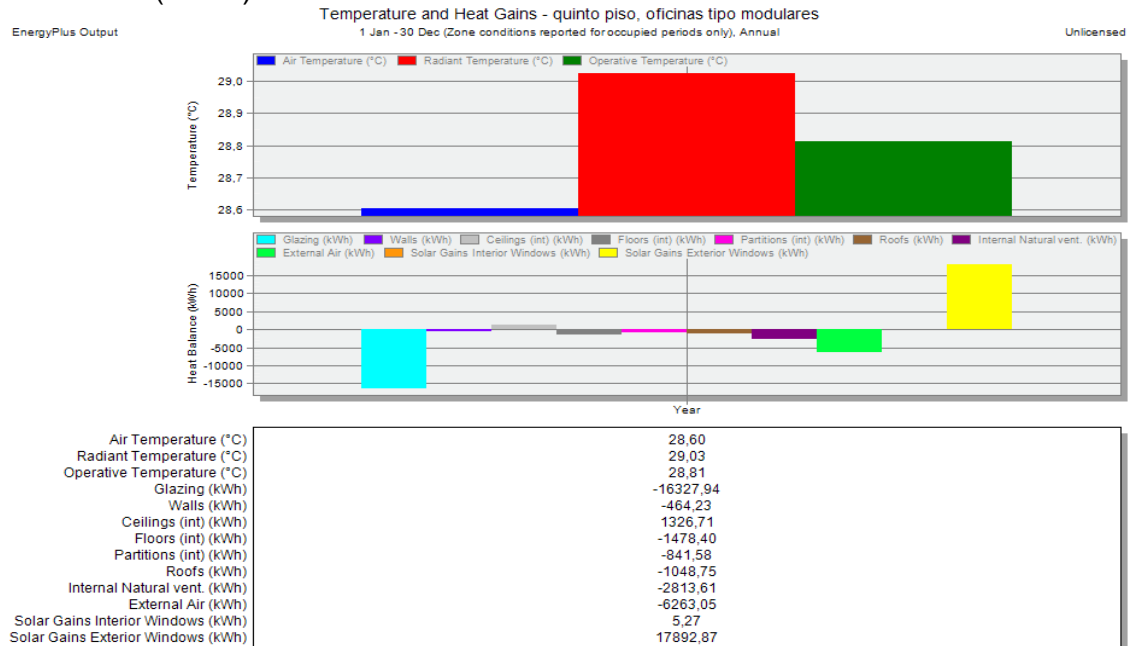


Figura 104. Temperatura y ganancias térmicas de las oficinas tipo modulares con techo verde (anual).



Las ganancias térmicas obtenidas a través de las cubiertas exteriores para este análisis se ven y se obtienen por medio de las ganancias dadas por el techo exterior. A continuación se expone el comportamiento para las dos condiciones que se pueden presentar en el techo de la zona crítica a evaluar:

Tabla 38. Ganancias térmicas anuales en (kWh) de las oficinas tipo modulares.

SIMULACIONES ENERGETICAS (ANUAL)	OFICINAS TIPO MODULARES		CAMBIO QUE EXISTE APLICANDO TECHO VERDE (ANUAL)	
Ganancias térmicas de cubiertas exteriores	Sin techo verde (kWh)	Con techo verde (kWh)	Aumento de ganancia térmica (kWh)	Disminución de ganancia térmica (%)
Techos	-797,630	-1048,750	-251,120	31,483

Observando el comportamiento de las ganancias térmicas obtenidas a través de las cubiertas exteriores se tiene una disminución de ganancia de 251,120 (kWh) equivalentes a una reducción de 31,483% cuando se pasa de un techo convencional en concreto a un techo verde, para las zonas critica que conforman a las oficinas tipo modulares. A continuación se muestra el comportamiento de estas zonas para el comportamiento mensual y diario, correspondientes a un periodo de un año.

Figura 105. Temperatura y ganancias térmicas de las oficinas tipo modulares sin techo verde (mensual).

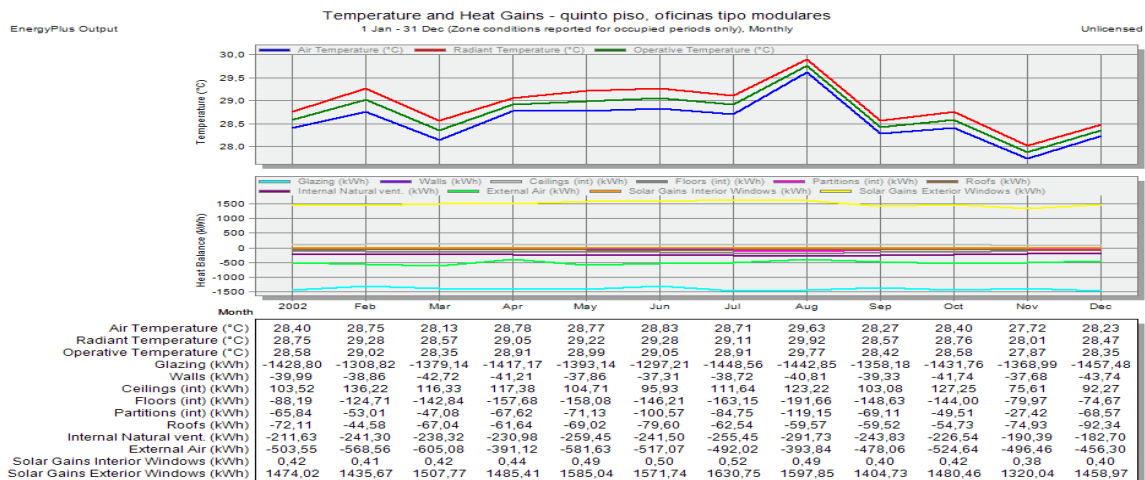
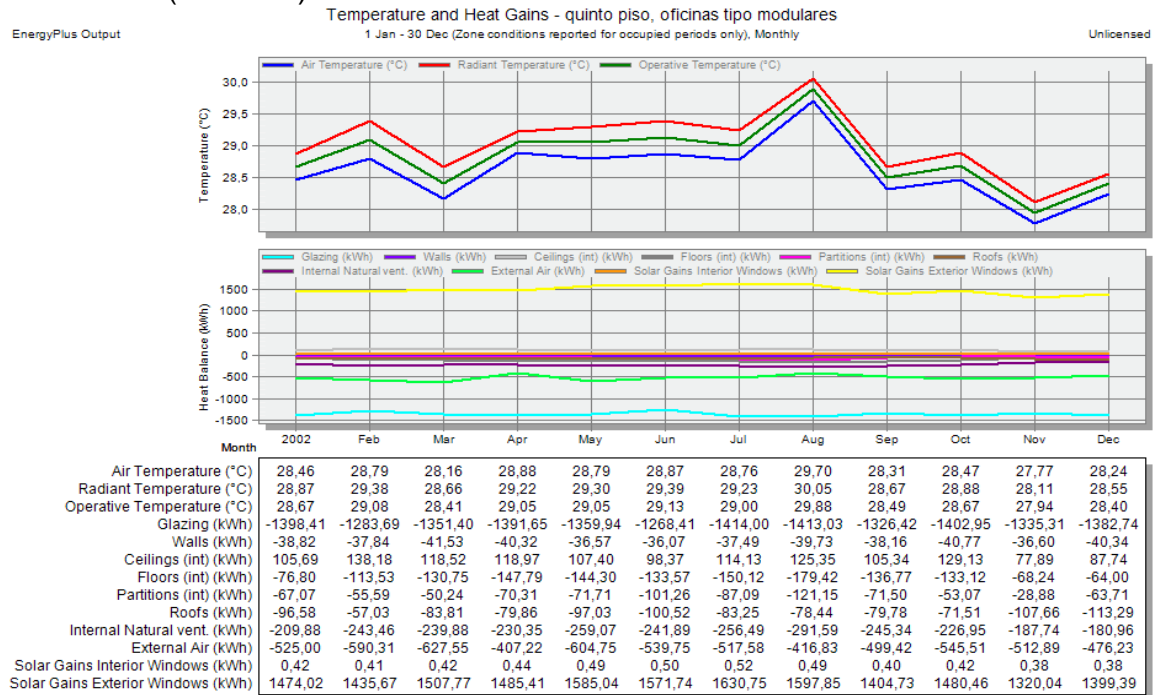


Figura 106. Temperatura y ganancias térmicas de las oficinas tipo modulares con techo verde (mensual).



Los resultados mensuales de las ganancias térmicas obtenidos a través de las cubiertas exteriores mostrados anteriormente, presentan el siguiente comportamiento cuando se evalúa sin techo verde y luego se procede a analizar con techo verde.

Tabla 39. Ganancias térmicas mensuales en (kWh) de las oficinas tipo modulares.

SIMULACIONES ENERGETICAS (MENSUAL)	OFICINAS TIPO MODULARES		CAMBIO QUE EXISTE APLICANDO TECHO VERDE (MENSUAL)	
	Sin techo verde (kWh)	Con techo verde (kWh)	Aumento de ganancia térmica (kWh)	Disminución de ganancia térmica (%)
Ganancias térmicas de cubiertas exteriores				
Techos	-66,468	-87,397	-20,928	31,486

Para el comportamiento diario de ganancias térmicas obtenidas a través del techo exterior, se realiza el mismo procedimiento para poder analizar que tanto varía dicha ganancia cuando se utiliza techo verde como cubierta exterior en el techo de

la zona a evaluar. Seguidamente se muestra por medio de las figuras obtenidas en las simulaciones los valores de ganancias térmicas para una temperatura determinada. De estos valores se hace el análisis de aumento porcentual y en (kWh) de la ganancia térmica.

Figura 107. Temperatura y ganancias térmicas de las oficinas tipo modulares sin techo verde (diario).

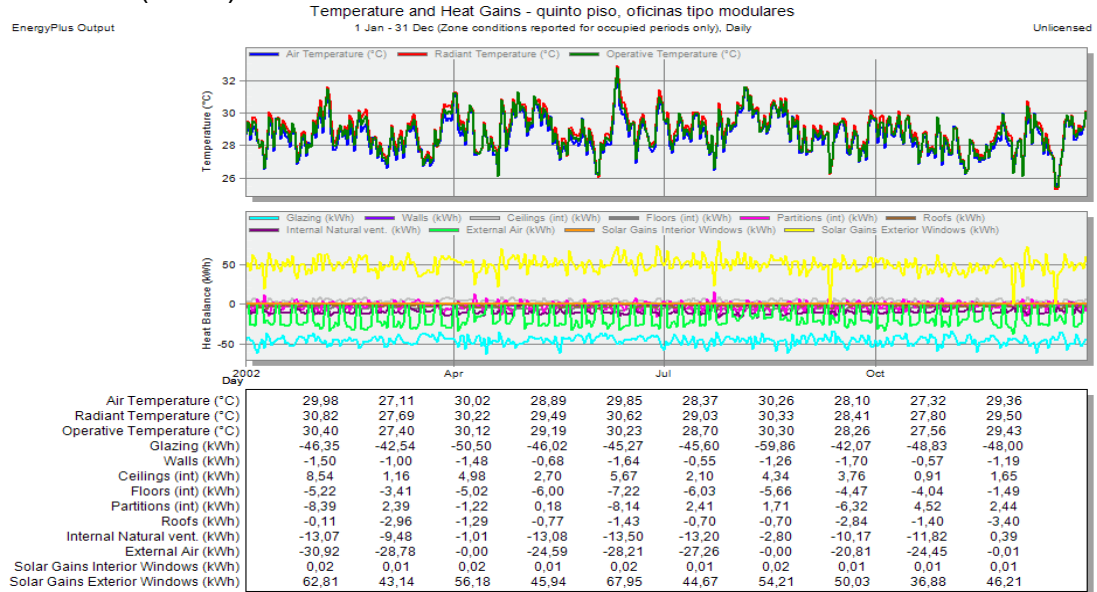
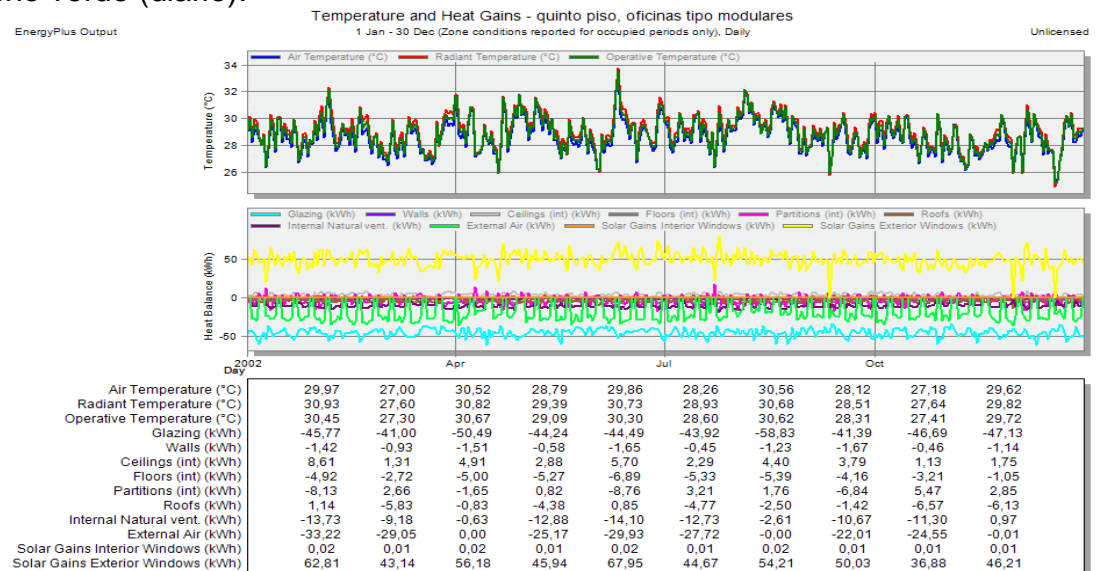


Figura 108. Temperatura y ganancias térmicas de las oficinas tipo modulares con techo verde (diario).



Al igual que el análisis anual y mensual realizado anteriormente las ganancias térmicas diarias para las zonas críticas oficinas tipo modulares presentan el siguiente comportamiento.

Tabla 40. Ganancias térmicas mensuales en (kWh) de las oficinas tipo modulares.

SIMULACIONES ENERGETICAS (DIARIO)	OFICINAS TIPO MODULARES		CAMBIO QUE EXISTE APLICANDO TECHO VERDE (DIARIO)	
	Sin techo verde (kWh)	Con techo verde (kWh)	Aumento de ganancia térmica (kWh)	Disminución de ganancia térmica (%)
Techos	-1,560	-3,044	-1,484	95,128

Observando con detalles el estudio realizado para las oficinas tipo modulares, se puede decir que al implementar techo verde como cubierta en los techos exteriores se obtiene una disminución significativa en (kWh), para el comportamiento anual, mensual, y diario de una zona determinada. Ya que estos presentan una reducción conjunta de 52,699 %, equivalentes a 91,177 (kWh), lo cual hace de gran interés aplicativo, y viable techos externos con cubiertas exteriores de techo verde.

Consumo energético en climatización para una zona del cuarto piso

Para el análisis de consumo energético por climatización se tomó el aula 401, ya que este presenta sistema de ventilación artificial a través de aire acondicionado, y sistema de cubierta exterior con techo verde. Por lo tanto para esta zona se puede observar el comportamiento que ocurre cuando este se simule sin techo verde y con techo verde, y con los resultados obtenidos poder hacer la respectiva comparación en consumo.

A continuación se muestra por medio de figuras los resultados anuales, mensuales y diarios, obtenidos en las simulaciones realizadas para este análisis de consumo energético por climatización para el aula 401.

Figura 109. Temperatura y consumos energéticos para el aula 401, sin techo verde (anual).

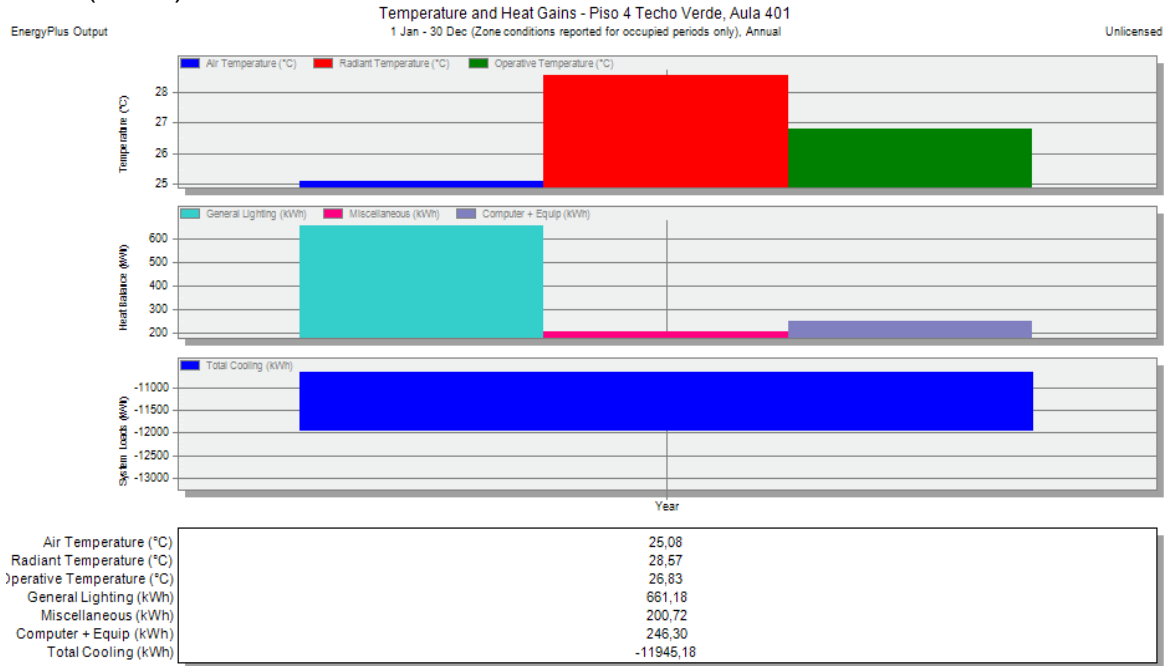
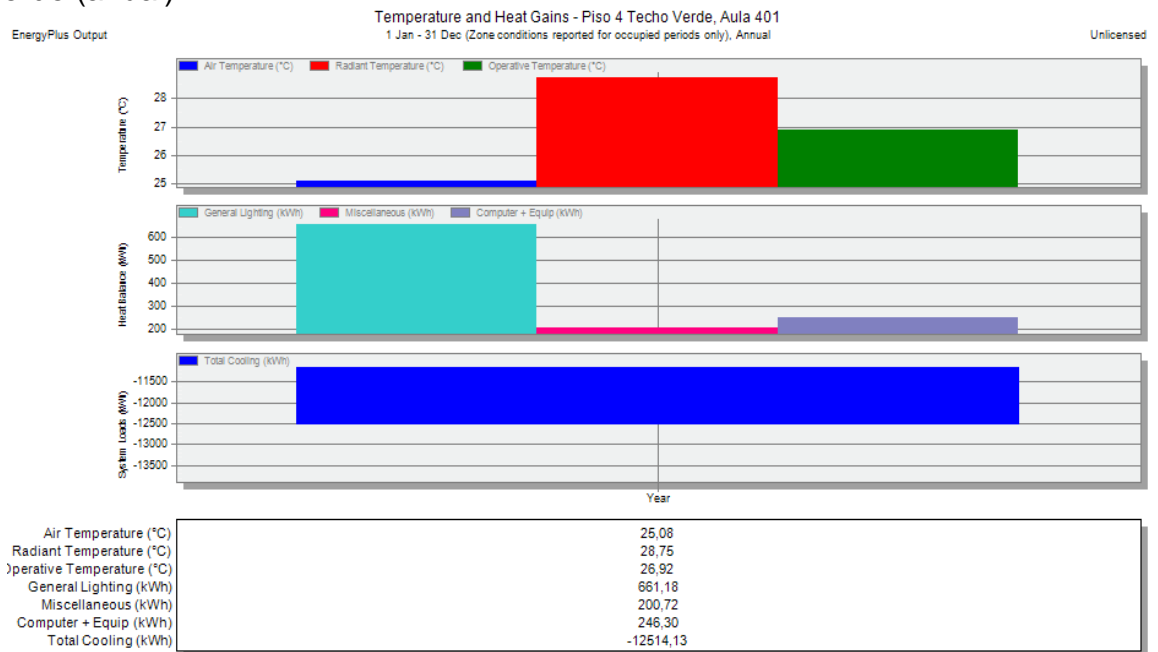


Figura 110. Temperatura y consumos energéticos para el aula 401, con techo verde (anual)



El comportamiento anual de consumo energético por climatización, se toma por la ganancia en consumo total por enfriamiento arrojado por la simulación realizada en DesignBuilder. Con estos resultados se observa el cambio que tuvo cuando se pasa de un techo en concreto convencional a un techo con cubierta verde. En las siguientes tablas se observa el comportamiento anual por enfriamiento y las comparaciones correspondientes con los otros tipos de consumo energético que se presentan para esta zona de estudio.

Tabla 41. Consumos y ganancia energética promedio anual del aula 401.

SIMULACIONES ENERGETICAS (ANUAL)	AULA 401		AUMENTO EN CONSUMO Y GANANCIA AL APLICAR TECHO VERDE	
	Sin techo verde (kWh)	Con techo verde (kWh)	Aumento de consumo y ganancia (kWh)	Disminución de consumo y ganancia (%)
Iluminación general	661,180	661,180	0,000	0,000
Misceláneo	200,720	200,720	0,000	0,000
Computadores + Equipos	246,300	246,300	0,000	0,000
Enfriamiento total	-11945,180	-12514,130	-568,950	4,763

Al aplicar el techo verde en el aula 401, no se presenta ningún cambio en los consumos energéticos en (kWh) ocasionados por iluminación general, misceláneo, computadores y equipos. Mientras que para la ganancia en consumo energético por climatización generada por el enfriamiento total presenta una disminución anual de 568,950 (kWh), equivalentes a un 4,763 %. Para una temperatura promedio anual del aire de 25,08 (°c).

Para el comportamiento mensual y diario, seguidamente se muestran figuras de los resultados obtenidos en cada simulación realizada en DesignBuilder para las condiciones sin techo verde y con techo verde en el aula 401 del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Figura 111. Temperatura y consumos energéticos para el aula 401, sin techo verde (mensual).

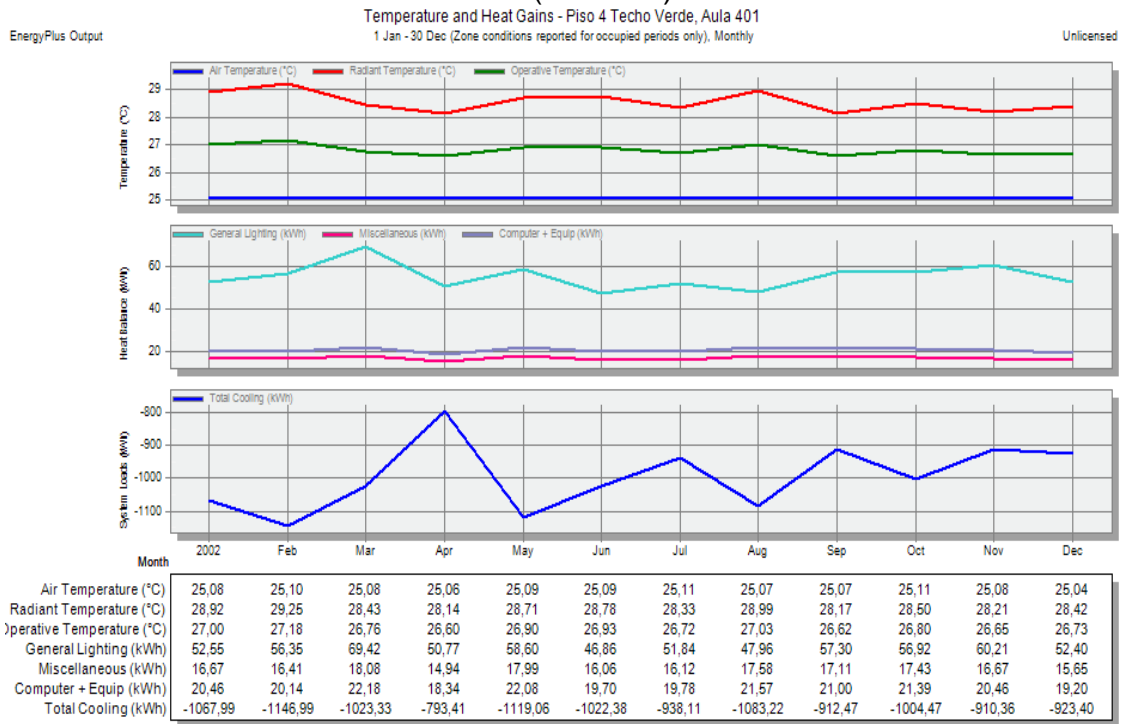
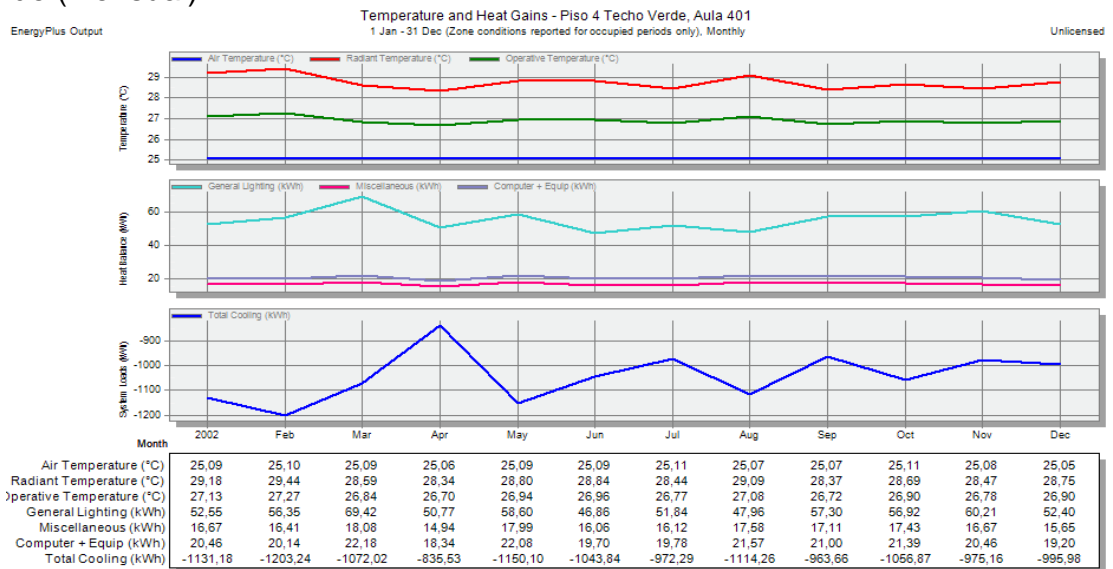


Figura 112. Temperatura y consumos energéticos para el aula 401, con techo verde (mensual).



Al igual que el análisis que se realizó para el comportamiento anual de este consumo energético en la siguiente tabla podemos ver los resultados promedios obtenidos.

Tabla 42. Consumos y ganancia energética promedio mensual del aula 401.

SIMULACIONES ENERGETICAS (MENSUAL)	AULA 401		AUMENTO EN CONSUMO Y GANANCIA AL APLICAR TECHO VERDE	
	Sin techo verde (kWh)	Con techo verde (kWh)	Aumento de consumo y ganancia (kWh)	Disminución de consumo y ganancia (%)
Iluminación general	55,098	55,098	0,000	0,000
Misceláneo	16,726	16,726	0,000	0,000
Computadores + Equipos	20,525	20,525	0,000	0,000
Enfriamiento total	-995,433	-1042,844	-47,412	4,763

El comportamiento mensual es el mismo comportamiento presentado en el análisis anual, dando como resultado una disminución de ganancia mensual de 47,412 (kWh) equivalente a 4,763 % en enfriamiento total del aula 401. Mientras que para las otras variables de consumo energético descritas en la tabla anterior, no se presenta variación en el consumo cuando se implementa el techo verde en la zona de estudio. Por lo tanto el comportamiento anual y mensual, tienen el mismo aumento porcentual en consumo y ganancia.

De los resultados obtenidos en las simulaciones anuales para el comportamiento diario, se obtuvo lo siguiente:

Figura 113. Temperatura y consumos energéticos para el aula 401, sin techo verde (diario).

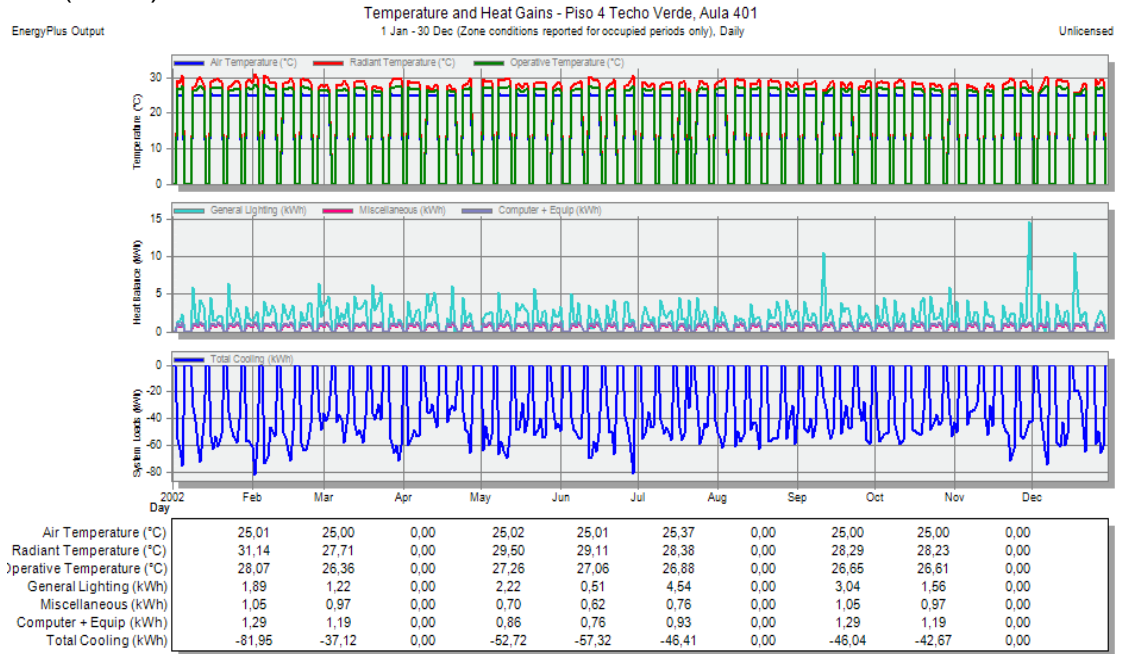
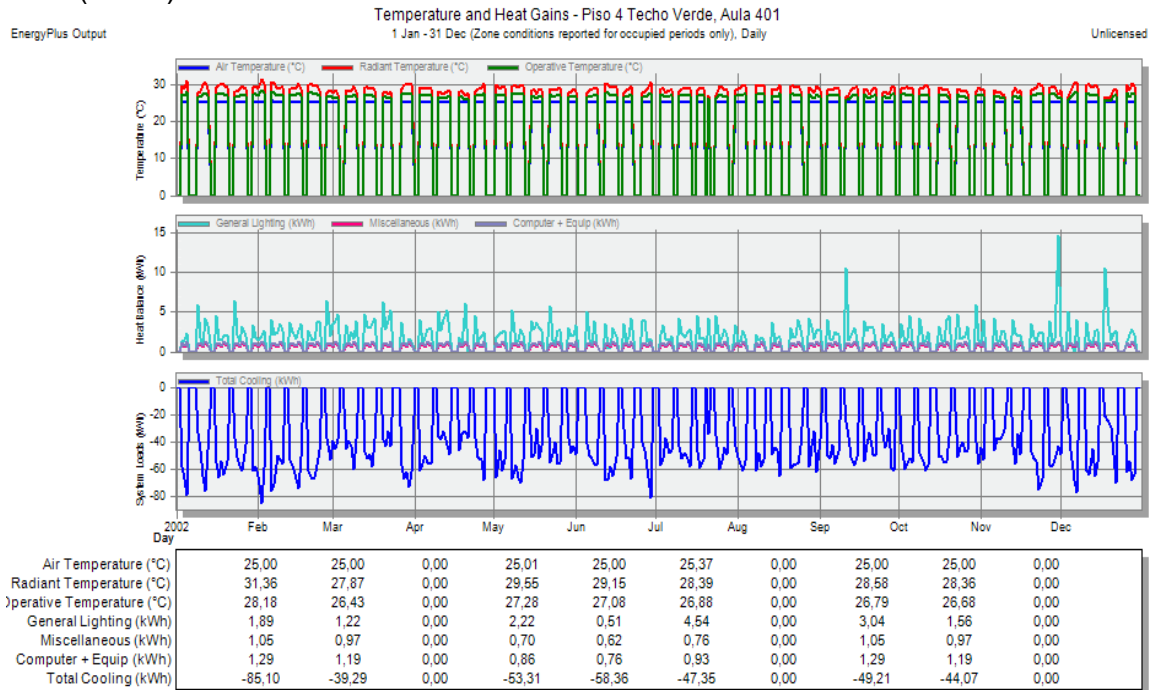


Figura 114. Temperatura y consumos energéticos para el aula 401, con techo verde (diario).



Se realiza el análisis de los resultados diarios obtenidos, para estos se procede a realizar un promedio para cada una de las variables de consumo energético mostradas en las figuras anteriores, con el fin de poder evidenciar la importancia de implementar techos verdes, para favorecer y reducir el consumo en edificaciones. A través de la siguiente tabla se puede observar todo lo anteriormente mencionado.

Tabla 43. Consumos y ganancia energética promedio diario del aula 401.

SIMULACIONES ENERGETICAS (DIARIO)	AULA 401		AUMENTO EN CONSUMO Y GANANCIA AL APLICAR TECHO VERDE	
	Sin techo verde (kWh)	Con techo verde (kWh)	Aumento de consumo y ganancia (kWh)	Disminución de consumo y ganancia (%)
Iluminación general	1,498	1,498	0,000	0,000
Misceláneo	0,612	0,612	0,000	0,000
Computadores + Equipos	0,751	0,751	0,000	0,000
Enfriamiento total	-36,423	-37,669	-1,246	3,421

Para los tres análisis realizados se observa que los consumos energéticos anuales, mensuales, y diarios para la iluminación general, misceláneo, computadores y equipos no ocurre ninguna variación cuando se cambia de un techo convencional en concreto, a un techo con cubierta verde. Mientras que para la ganancia energética obtenida por el enfriamiento total en el aula 401 si ocurre una disminución que podemos evidenciar con la tabla anterior, donde se observa un reducción de ganancia promedio diaria de 1,246 (kWh) lo cual equivale a un 3,421 %; garantizando una viabilidad y los beneficios del techo verde en el Edificio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander.

11. OBSERVACIONES

Primero: Para determinar un ahorro en el consumo de energía se tiene que comparar el consumo antes y después de la implementación de un proyecto de eficiencia energética, a la vez que se realizan los ajustes oportunos según la variación de las condiciones iniciales.

Segundo: Normalmente las condiciones climatológicas afectan al consumo de energía de los edificios en los niveles de confort, de forma que se necesitan al menos los datos de todo un año para definir un ciclo operativo completo.

Tercero: Existen diferentes tipos edificios donde no resulta fácil realizar la simulación:

- Edificios con patios grandes.
- Con una superficie importante en subsuelo, o a ras de suelo.
- Con una envolvente exterior atípica.
- Con complejas configuraciones de sombras.
- Con un gran número de zonas con distinto control de temperatura.

Encontrando que el Edificio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, se clasifica como una construcción con una superficie importante en subsuelo, ya que en este se encuentra el área del generador eléctrico, tablero de distribución principal y transformador de potencia. Además se encuentra en el sótano las oficinas y sala de reuniones de los profesores cátedra de esta misma.

Cuarto: Crear y calibrar una simulación para un modelo con características similares al edificio de ingeniería eléctrica requiere de un tiempo aproximado de seis meses. Con objeto de reducir el esfuerzo necesario para hacer la calibración se pueden utilizar los datos mensuales de energía en lugar de los datos horarios.

Quinto: Se debe revisar los datos de partida como (datos de ocupación, materiales constructivos, niveles de iluminación, datos de actividad y datos de climatización)

que el software requiere, y realizar simulaciones para comprobar que predicen los parámetros operativos reales del edificio bajo estudio, como la temperatura y la humedad.

Adicionalmente se debe realizar una comparación entre los resultados simulados de energía con los datos medidos de energía del periodo de calibración, hora a hora o mes a mes, para poner los resultados proyectados dentro de las especificaciones de calibración. Si fuera necesario, habría que recopilar más datos operativos reales de la instalación para cumplir con las especificaciones de la sintonización.

12. CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones relevantes obtenidos y aprendidos durante la realización del trabajo de investigación.

Se sugiere mitigar la radiación directa de luz solar sobre los planos de trabajo a través de la implementación de soluciones como lamas o persianas, para evitar la gran intensidad lumínica incidente, que genera contrastes excesivos y causa deslumbramiento, ya que se encontró que en todas las zonas simuladas se presenta dicho efecto.

Entre las posibles estrategias para mantener los niveles de confort térmico adecuado, están en lograr el mayor aprovechamiento de la ventilación cruzada y mejorar funcionamiento de los sistemas de ventilación forzada a través de los extractores existentes, como también evitar en lo posible la sobrepoblación de las áreas. Debido a que el ser humano percibe y responde de manera versátil ante las variables (calidad térmica, actividad física, grado de vestimenta, temperatura del aire, velocidad media del aire, humedad relativa) que definen dicho confort.

Para evitar encontrar errores no superiores al 5% al contrastar las variables medidas con las simulaciones, es importante realizar un estudio más detallado que involucre el comportamiento de la ocupación de la edificación, ya que este parámetro permite establecer la operatividad real del edificio.

Es de gran importancia saber que la herramienta DesignBuilder presenta una limitante al momento de analizar el consumo de energía a través de un desglose zonal, es decir, las simulaciones arrojadas de consumo de potencia solo se encuentran disponibles de manera global.

Al momento de realizar un análisis energético en una edificación es indispensable determinarlas áreas críticas que impactan directamente sobre el consumo energético, con el fin de simplificar y poder realizar estudios enfocados en encontrar soluciones que mejoren el desempeño energético de la misma.

La utilización e implementación de aplicaciones como los tubos solares arrojan resultados bastante prometedores, ya que se puede aprovechar alrededor de un 14% más los niveles de iluminación natural cuando se tiene un arreglo de tres tubos solares, mientras que para seis tubos solares es aproximadamente un 40%, cumpliendo con las recomendaciones y exigencias del RETILAP, esto dependiendo de variables como nubosidad del cielo, radiación solar y canalización de los rayos solares.

La implementación de tubos solares garantiza un aporte para los niveles de iluminación en el interior de los recintos. Algo que se puede corroborar con los resultados obtenidos para este estudio, ya que se observa un aumento que varía entre el 24% y 42% en los niveles de iluminación. Para las condiciones de análisis de un día promedio anual y con niveles de cielo parcialmente nublado.

Para agilizar el proceso de sintonización, es importante tener acceso a la manipulación de las variables físicas que se le ingresen a la herramienta de simulación utilizada, y así apreciar de manera más adecuada, cuáles de estas representan el mayor impacto en las condiciones de operación del edificio bajo estudio.

El no definir adecuadamente la plantilla de ocupación en DesignBuilder hace que se incurran errores en los resultados obtenidos en las simulaciones, debido a que el software asigna automáticamente valores que trae por defecto.

Al momento de realizar el proceso de calibración de un modelo de una edificación, es vital conocer los componentes constructivos y equipos que maneja la edificación, para así poder aproximar dicho modelo a la realidad constructiva y operativa que esté presente.

Del análisis de consumos energéticos se puede decir que la implementación de techos verde en la edificación representa una reducción en ganancia térmica hasta en un 11% por acristalamiento, y en un 31% a través de techos exteriores. Para el cuarto y quinto piso respectivamente. Convirtiendo esta alternativa como una de las soluciones para el mejoramiento de confort térmico y consumo energético.

13. RECOMENDACIONES

Se establecen algunas recomendaciones para la continuidad en trabajos futuros en esta área.

Parametrizar y afinar los sensores, para la reducción de consumo energético en las áreas que cuentan con esta herramienta.

Comparar los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación mediante la implementación de otra herramienta de simulación, que permita contrastar los resultados arrojados.

A través de un proyecto de grado plantear soluciones que permitan mitigar las condiciones de discomfort térmico que se presenten en el Edificio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

Integrar el módulo de gestión energética con el que cuenta actualmente la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, esto con el fin de sincronizar las variables controladas, para que exista una comunicación entre ellas.

Realizar un estudio más robusto para la variable velocidad del aire, debido a que es un factor climático muy complejo, lo cual lo convierte en un parámetro difícil de controlar. Todo esto con el fin de parametrizar los efectos que inciden directamente sobre las condiciones de confort térmico dentro de un espacio.

CITAS

- [1] L. Pe, “A review on buildings energy consumption information ´,” vol. 40, pp. 394–398, 2008.

- [2] T. Catalina, J. Virgone, and E. Blanco, “Development and validation of regression models to predict monthly heating demand for residential buildings,” vol. 40, pp. 1825–1832, 2008.

- [3] Sol-arq. aurea consultign, “Manual de ayuda DesignBuilder en español Introducción,” vol. V.2014–05-, 2014.

- [4] O. A. P. SUÁREZ and M. Y. M. SILVA, “EVALUACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE CONFORT VISUAL Y TÉRMICO ESTABLECIDAS PARA EL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA SEGÚN LINEAMIENTOS DEL SISTEMA DE CERTIFICACIÓN LEED A PARTIR DE LA HERRAMIENTA DESIGNBUILDER. Creación del modelo virtual,” 2012.

- [5] “FACHADA SUR.” [Online]. Available: [https://www.uis.edu.co/procesos_contratacion/contratacion/documentos/Licitaciones/Licitaciones2011/Licitaciones16/Definitivos/11 FACHADA SUR.pdf](https://www.uis.edu.co/procesos_contratacion/contratacion/documentos/Licitaciones/Licitaciones2011/Licitaciones16/Definitivos/11_FACHADA_SUR.pdf).

- [6] “FACHADA NORTE.” [Online]. Available: [https://www.uis.edu.co/procesos_contratacion/contratacion/documentos/Licitaciones/Licitaciones2011/Licitaciones16/Definitivos/09 FACHADA NORTE.pdf](https://www.uis.edu.co/procesos_contratacion/contratacion/documentos/Licitaciones/Licitaciones2011/Licitaciones16/Definitivos/09_FACHADA_NORTE.pdf).

- [7] “FACHADA ESTE Y OESTE.” [Online]. Available: [https://www.uis.edu.co/procesos_contratacion/contratacion/documentos/Licitaciones/Licitaciones2011/Licitaciones16/Definitivos/10 FACHADA ESTE Y OESTE.pdf](https://www.uis.edu.co/procesos_contratacion/contratacion/documentos/Licitaciones/Licitaciones2011/Licitaciones16/Definitivos/10_FACHADA_ESTE_Y_OESTE.pdf).
- [8] M. A. L. Castellanos, Á. M. R. Herrera, and I. A. R. Maldonado, “ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL EDIFICIO DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES SEGÚN LINEAMIENTOS DEL SISTEMA DE CERTIFICACIÓN LEED A PARTIR DEL USO DE LA HERRAMIENTA AUTODESK ECOTECT ANALYSIS: Creación del Modelo de Información de la Edificación (BIM) e ident,” 2012.
- [9] I. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, *ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS*, vol. 30329, no. 404. 2009.
- [10] C. D. R. MARAVILLA, “Caracterización térmica de muros y simulación energética de un edificio histórico,” 2012.
- [11] P. Rafferty, M. Keane, and A. Costa, “Calibrating whole building energy models: Detailed case study using hourly measured data,” *Energy Build.*, vol. 43, no. 12, pp. 3666–3679, Dec. 2011.
- [12] A. Pisello, M. Bobker, and F. Cotana, “A Building Energy Efficiency Optimization Method by Evaluating the Effective Thermal Zones Occupancy,” *Energies*, vol. 5, no. 12, pp. 5257–5278, Dec. 2012.
- [13] S. Bertagnolio, J. Lebrun, P. André, and B.- Liège, “DEVELOPMENT AND USE OF EQUATION BASED SIMULATION TOOLS TO SUPPORT AUDIT OF COMMERCIAL BUILDINGS University of Liège – Sart-Tilman campus B49 , Department of Environmental Sciences and Management University of Liège – Arlon campus B-6700 Arlon , Belgium,” pp. 2027–2034, 2009.

- [14] V. Marjanovic, G. Bogdanovic, N. Kostic, N. Petrovic, and M. Bojic, "OPTIMIZATION OF LOW-RISE BUILDING GEOMETRICAL FORMS IN DESIGN," pp. 433–438, 2014.
- [15] M. Matejic, M. Blagojevic, N. Petrovic, D. Cvetkovic, and M. Bojic, "INFLUENCE OF THE MEANS , INTENSITY AND POSSIBILITIES OF EXPLOATING LOW-RISE BUILDINGS ON ENERGY SAVINGS AND RESULTS OF THEIR," pp. 761–766, 2014.
- [16] L. Arias, "Achieving energy efficiency in a hotel- office building under tropical Latin American climatic conditions," 2013.
- [17] A. C. de E. E. (AChEE), "Guía de eficiencia energética para establecimientos educativos," 2012.
- [18] M. G. Alpuche, H. Moreno, J. Manuel, and I. Marincic, "Análisis térmico de viviendas económicas en México utilizando techos verdes," pp. 59–67.
- [19] a. L. León, S. Muñoz, J. León, and P. Bustamante, "Monitorización de variables medioambientales y energéticas en la construcción de viviendas protegidas: Edificio Cros-Pirotecnica en Sevilla," *Inf. la Construcción*, vol. 62, no. 519, pp. 67–82, Sep. 2010.
- [20] C. Ambiental, U. Eficiente, M. Monitorizaci, and E. Construidos, *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos*.

- [21] M. Andrea and F. Bastos, “ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL EDIFICIO DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES SEGÚN LINEAMIENTOS DEL SISTEMA DE CERTIFICACIÓN LEED A PARTIR DEL USO DE LA HERRAMIENTA AUTODESK ECOTECT ANALYSIS: Calibración del Building Information Model (BIM),” 2013.
- [22] “Universidad politécnica de madrid escuela técnica superior de arquitectura de madrid análisis de la viabilidad y comportamiento energético de la cubierta plana ecológica,” 2001.
- [23] turismo y comercio Ministerio de industria, “Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios,” 2007.
- [24] I. de la E.- EPSEB, “Estudio energético de una guardería en Santa Eulalia de Ronçana - Barcelona, construida con parámetros de bioarquitectura.,” 2000.
- [25] U. N. del Litoral, “Programa Nacional Olimpiada de Geografía de la República Argentina,” pp. 131–170, 2012.
- [26] M. G. Merçon, “Confort Térmico y Tipología Arquitectónica en Clima Cálido-Húmedo Análisis térmico de la cubierta ventilada.,” 2008.
- [27] J. G. G. PINTO and A. A. M. HERRERA, “DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE UNA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL A PARTIR DE LA SIMULACIÓN CON DESIGNBUILDER,” 2014.

- [28] E. R. Fluke, “¿ Cómo medir el consumo de energía ?”
- [29] H. D. B. Junior, “ESTRATEGIAS DE VENTILACIÓN NATURAL EN EDIFICIOS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA,” 2010.
- [30] E. INSTRUMENTS, “MANUAL DE USUARIO - Sicrómetro Digital Modelo RH300 y RH305 (kit),” vol. 305.
- [31] E. INSTRUMENTS, “Manual del usuario Termo-Anemómetro PCM / MCM.”
- [32] AMPROBE, “LM-120 Light Meter with Auto Ranging,” no. 4. pp. 207–208, 2012.
- [33] E. V. Organization, “Protocolo Internacional de Medida y Verificación, Conceptos y Opciones para Determinar el Ahorro de Energía y Agua Volumen 1,” vol. 2010, 2010.
- [34] J. L. C. RANGEL, G. A. A. GÓMEZ, and C. A. A. MIRANDA, “INFLUENCIA DE PARÁMETROS DE DISEÑO DE APLICACIONES SOSTENIBLES SOBRE EL CONSUMO ENERGÉTICO EN LAS INSTALACIONES DEL QUINTO PISO DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE SIMULACIONES CON DESIGNBUILDER,” 2013.
- [35] “DesignBuilder Ayuda - Simulación utilizando datos meteorológicos reales.” [Online]. Available: http://www.designbuilder.co.uk/helpv3.4/#Comfort_Analysis.htm%3FTocPath%3DCalculations%7CSimulation%7C_____4. [Accessed: 14-Jan-2015].

- [36] “Dinámica de Fluidos Computacional (CFD).” [Online]. Available: [http://www.designbuilder.co.uk/helpv3/Content/Computational Fluid Dynamics \(CFD\).htm](http://www.designbuilder.co.uk/helpv3/Content/Computational Fluid Dynamics (CFD).htm). [Accessed: 13-Jan-2015].
- [37] “Comfort Analysis.” [Online]. Available: http://www.designbuilder.co.uk/helpv3/Content/Comfort_Analysis.htm. [Accessed: 13-Jan-2015].
- [38] P. Armend, C. C. Nacional, and N. Tecnolog, “Evaluación del Bienestar térmico en locales de trabajo cerrados mediante los índices térmicos PMV y PPD .,” pp. 1–16.
- [39] A. T. E. de C. y R. (ATECYR), “Ahorro y eficiencia energética en climatización,” 2008, p. 198.
- [40] U. I. DE SANTANDER, “PLIEGOS DE CONDICIONES DEFINITIVOS - VOLUMEN II – ESPECIFICACIONES TÉCNICAS LICITACIÓN PÚBLICA No. 016 DE 2011,” 2011.
- [41] D. A. Confort, T. Para, E. L. Edificio, and D. E. I. Civil, “Estudio de tecnologías para la reducción del consumo energético destinado a confort térmico para el Edificio de Ingeniería Civil,” 2011.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, *Ashrae Handbook Fundamentals*, vol. 30329, no. 404. Tullie Circle NE, Atlanta, GA 2009. 192 p.

ANAYA, Gabriel, AVELLANEDA, Cesar, CARDENAS, Jorge. Influencia de parámetros de diseño de aplicaciones sostenibles sobre el consumo energético en las instalaciones del quinto piso del edificio de ingeniería eléctrica a partir de simulaciones con designbuilder. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.Facultad de ingenierias Fisicomecanicas. Escuela de Ingenieria Electrica, Electronica y Telecomunicaciones, 2013. 235 p.

ARANGO, Juan y FERNANDEZ, Maria. Análisis energético del edificio de estudios industriales y empresariales según lineamientos del sistema de certificación leed a partir del uso de la herramienta autodesk ecotect analysis: calibración del building information model (bim). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.Facultad de ingenierias Fisicomecanicas. Escuela de Ingenieria Electrica, Electronica y Telecomunicaciones, 2013. 79 p.

CASTELLANOS, Mayra, ROJAS, Ángela, HERRERA, y RUIZ, Ivonne. Análisis energético del edificio de estudios industriales y empresariales según lineamientos del sistema de certificación leed a partir del uso de la herramienta autodesk ecotect analysis: creación del modelo de información de la edificación (bim) e ident. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.Facultad de ingenierias Fisicomecanicas. Escuela de Ingenieria Electrica, Electronica y Telecomunicaciones, 2012. 219 p.

CATALINA, Tiberiu and VIRGONE Joseph. Development and validation of regression models to predict monthly heating demand for residential buildings, 2008, vol. 40, pp. 1825–1832.

GUTIERREZ, Julian y MERCHAN, Anderson. Descripción del comportamiento energético de una vivienda de interés social a partir de la simulación con designbuilder. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.Facultad de ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, 2014. 218 p.

Manual de. Versión Preliminar 01. Aurea Consulting. www.designbuilder.es. 2011, pp. 1–17.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. RETILAP. Bogotá-Colombia: p. 45.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Reglamento Técnico de iluminación y Alumbrado Público Retilap. Agosto 2009. Bogotá: 2009, p. 249.

PINTO, German. Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el edificio eléctrica II de la universidad industrial de Santander. Proyecto de maestría. Bucaramanga: 2011, pp. 1–253.

PULIDO, Oscar y MENESES Marvin. 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.Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.Facultad de ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, 2012. 304p.

ANEXOS

Anexo A. Materiales y especificaciones constructivas

Las ganancias y diferentes cargas térmicas no solo se deben a los ocupantes de un edificio, estas cargas están implícitamente relacionadas con los materiales constructivos de una edificación[39]. Por tal motivo se hace preponderante la caracterización de estos materiales, así como también, la identificación geométrica de cada uno de ellos en la escuela de ingenierías eléctrica electrónica y telecomunicaciones, con el fin de realizar una correcta calibración del modelo virtual ajustándose a las características reales del edificio bajo estudio.

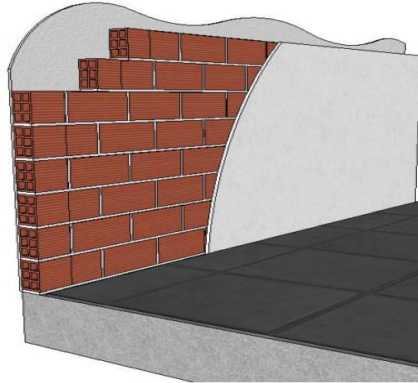
Cada material posee características térmicas como: Densidad, Conductividad, Resistividad, Conductancia y calor específico[22]. Que deben ser especificadas para alimentar el software. DesignBuilder cuenta con una base de datos potente y muy completa de materiales constructivos, de esta base de materiales se extrajo la gran mayoría de componentes constructivos, con ayuda del software se crearon diferentes plantillas que permiten caracterizar los diferentes cerramientos que posee el modelo.

Dentro de los cerramientos del modelo virtual se incluyen los muros exteriores, diferentes particiones internas, cubiertas, suelos y techos. Para los cuales se hizo necesario la creación de plantillas con especificaciones técnicas predefinidas por el pliego de condiciones definitivos volumen II, propuesto por la dirección de contratación y proyectos de inversión, de la universidad industrial de Santander[40].

Caracterización de muros exteriores

Los cerramientos de muros exteriores comprenden todas las superficies que se encuentran expuestas directamente al ambiente exterior del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Figura A.1. Composición interna de los muros exteriores.



Fuente: Trabajo de grado -Universidad Industrial de Santander - UIS. Tomado de: Base de datos biblioteca.
Consultada: 20 de mayo de 2014

Figura A.2. Plantilla usada en DesignBuilder para los muros exteriores.

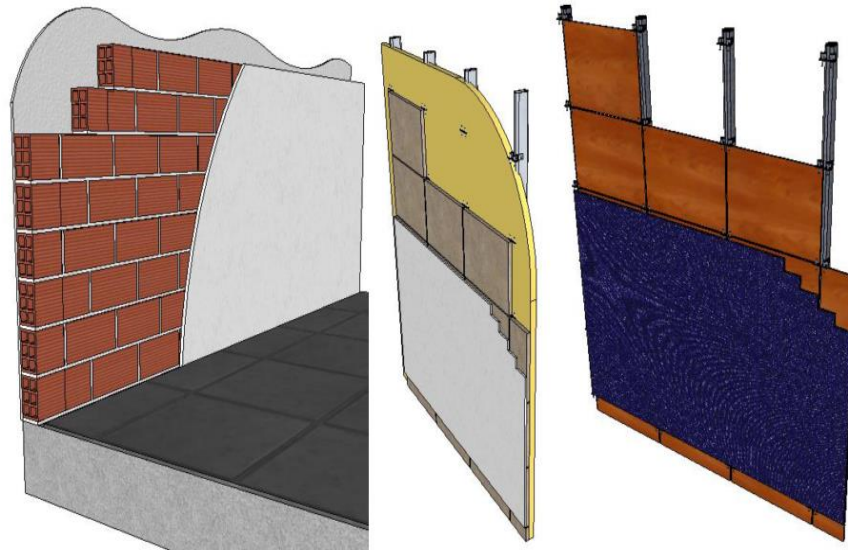


Fuente: Universidad Industrial de Santander - UIS. Tomado de: Base de datos biblioteca.
Consultada: 20 de mayo de 2014

Caracterización de particiones internas

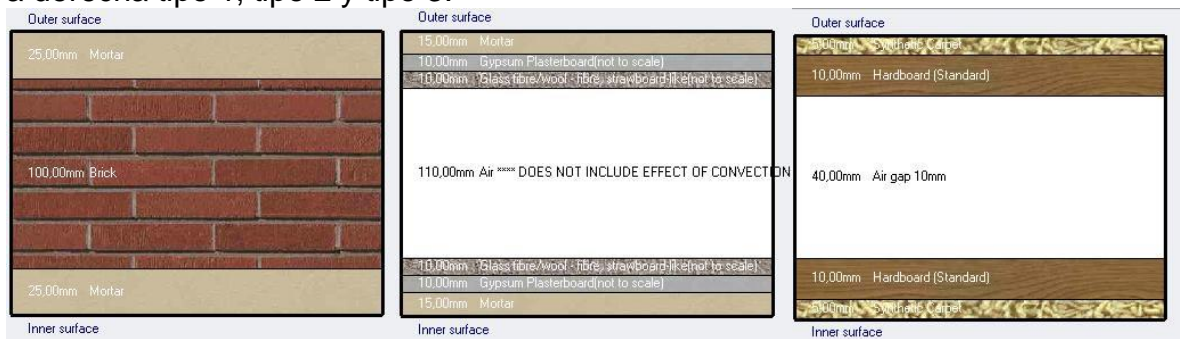
Los cerramientos de particiones aplican para todos los muros ubicados en zonas interiores, son muros que dividen dos zonas.

Figura A.3. Composición interna de las particiones internas de izquierda a derecha tipo 1, tipo 2 y tipo 3.



Fuente: Universidad Industrial de Santander - UIS. Tomado de: Base de datos biblioteca.
Consultada: 20 de mayo de 2014

Figura A.4. Plantilla usada en DesignBuilder para particiones internas de izquierda a derecha tipo 1, tipo 2 y tipo 3.



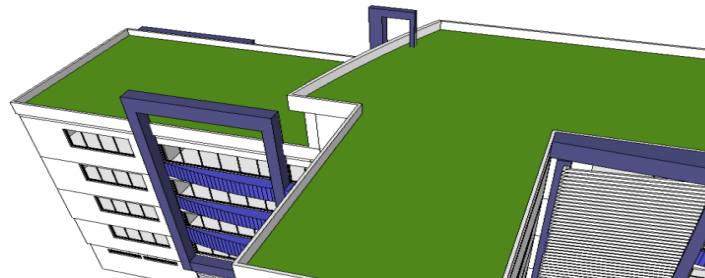
Fuente: Universidad Industrial de Santander - UIS. Tomado de: Base de datos biblioteca.
Consultada: 20 de mayo de 2014

Caracterización de cubiertas

Los cerramientos de cubiertas comprenden todas aquellas superficies horizontales de la edificación que permanece expuesta al ambiente exterior.

El Edificio de Ingeniería Eléctrica posee dos cubiertas planas, una placa superior ubicada en el quinto piso la cual es definida como techo verde y otra cubierta también definida como techo verde ubicada en una sección del cuarto piso como se identifica en la siguiente figura.

Figura A.5. Cubiertas verdes del Edificio de Ingeniería Eléctrica.



Fuente: Universidad Industrial de Santander - UIS. Tomado de: Base de datos biblioteca.
Consultada: 20 de mayo de 2014

Figura A.6. Composición interna de la cubierta verde.



Fuente: Universidad Industrial de Santander - UIS. Tomado de: Base de datos biblioteca.
Consultada: 20 de mayo de 2014

Figura A.7. Plantilla usada en DesignBuilder para definir el techo verde.



Fuente: Universidad Industrial de Santander - UIS. Tomado de: Base de datos biblioteca.

Consultada: 20 de mayo de 2014

Caracterización de suelos

Los suelos comprenden, para el caso particular del edificio bajo estudio, dos diferentes cerramientos de suelo, un suelo sobre terreno, el cual aplica para todos los suelos del edificio que se consideran en contacto con el terreno; y por otro lado se encuentra el cerramiento de suelo interior que comprende todos los suelos que dividen dos zonas entre sí.

Caracterización de techos

Para el caso del Edificio de Ingeniería Eléctrica, los techos pueden ser modelados bajo la definición de cubiertas planas. En particular se emplean dos tipos de cerramientos de cubiertas planas: para el cuarto piso y el quinto se encuentra definido un techo falso, donde es necesario incluir una cámara de aire, mientras que para los demás pisos se define una placa constituida por las diferentes capas que a su vez define suelos interiores.

Figura A.8. Composición interna de los techos.



Fuente: Universidad Industrial de Santander - UIS. Tomado de: Base de datos biblioteca.
Consultada: 20 de mayo de 2014

Figura A.9. Plantilla usada en DesignBuilder para simular la composición de los techos.



Fuente: Universidad Industrial de Santander - UIS. Tomado de: Base de datos biblioteca.
Consultada: 20 de mayo de 2014

Caracterización de la iluminación interna

Para el Edificio de Ingeniería Eléctrica se utilizó las luminarias especificadas en la Tabla 9, en donde tiene un gran valor el detalle de 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[4].

Tabla A.1. Cantidad y tipo de luminarias en el sótano.

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

Tabla A.3. 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 A.4. 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 A.5. Cantidad y tipo de luminarias en el cuarto piso.

	Tipo de luminaria						
	LF-BP	LF-HW	LF-BD	LE	LF-DB	LF-DBH	BF
Piso 4							
						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	

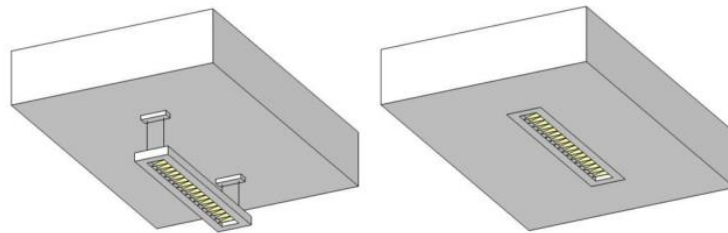
Tabla A.6. Cantidad y tipo de luminarias en el quinto piso.

	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
	Secretaria Especializaciones	1
	Secretaria Administrativa	1

Para el modelado del software también es importante la especificación del tipo de luminarias que se implementó en la construcción del edificio, para este modelado se utilizaron luminarias sobre superficie y luminarias empotradas, dentro de las cinco opciones de luminarias que permite DesignBuilder (suspendida, montaje sobre superficie, techo luminoso con persianas, ducto de ventilación y empotrada).

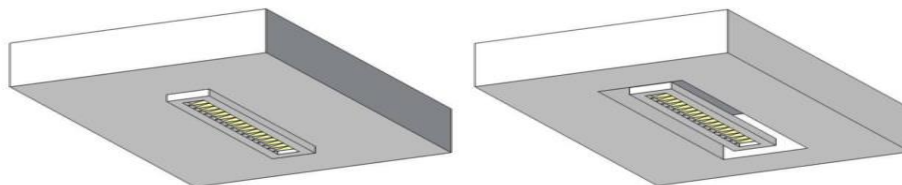
Figura A.10. Luminaria suspendida (izquierda), luminaria empotrada (derecha).



Fuente: Universidad Industrial de Santander - UIS. Tomado de: Base de datos biblioteca.

Consultada: 20 de mayo de 2014

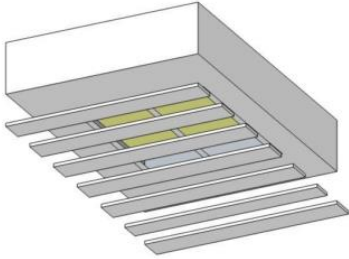
Figura A.11. Luminaria sobre superficie (izquierda), luminaria con ducto de ventilación (derecha).



Fuente: Universidad Industrial de Santander - UIS. Tomado de: Base de datos biblioteca.

Consultada: 20 de mayo de 2014

Figura A.12. Techo luminoso con persianas.



Fuente: Universidad Industrial de Santander - UIS. Tomado de: Base de datos biblioteca.
Consultada: 20 de mayo de 2014

Anexo B. Descripción del software DesignBuilder

DesignBuilder es una herramienta computacional para verificar el comportamiento energético, de luminosidad y confort de edificios. Desarrollado para simplificar el proceso de la simulación de edificios, permite comparar rápidamente la función y el desempeño del diseño de edificio[41].

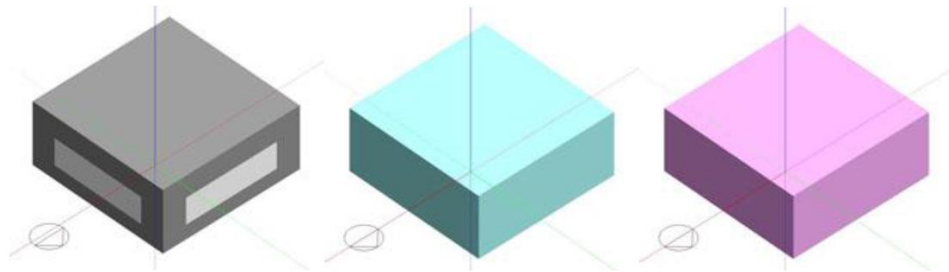
Creación de Bloques

DesignBuilder se centra en la creación de bloques, para ello el software permite crear tres tipos de bloques.

Tabla B1. Definición de bloques en DesignBuilder.

TIPOS DE BLOQUE	CARACTERÍSTICAS
Bloques edificio	Una vez se genera un bloque edificio se crea una zona delimitada por muros externos, muros internos, pisos y techos, creando así un cerramiento que permite modificar sus características intrínsecas.
Bloques de componente	Permiten crear formas geométricas sólidas que caracterizan un edificio, dichos bloques no generan un cerramiento, por lo cual sus características intrínsecas no son objeto de las simulaciones. Pero permite generar sombras en las edificaciones aledañas.
Bloques de contorno	Es un bloque transición que permite crear figuras geométricas complejas que posteriormente se convertirán en bloques edificios permitiendo la edición de sus características intrínsecas.

Figura A1. Tipos de bloques, de izquierda a derecha: Edificio, Contorno y Componente.



Fuente: Manual de ayuda DesignBuilder en español Introducción,” vol. V.2014-05-, 2014.

Consultada: 12 de junio de 2014

Componentes y plantillas

El software cuenta con una biblioteca de componentes y plantillas que permite la caracterización de los edificios.

Componentes: Son bibliotecas de datos que definen materiales, cerramientos, sombreados, vidrios, entre otros, que se usan para definir un cerramiento.

Plantillas: Es la integración de diversos componentes, creando paquetes de datos que permiten cargar información de manera rápida al modelo, entre ellos están datos de cerramientos, iluminación, actividad, entre otros.

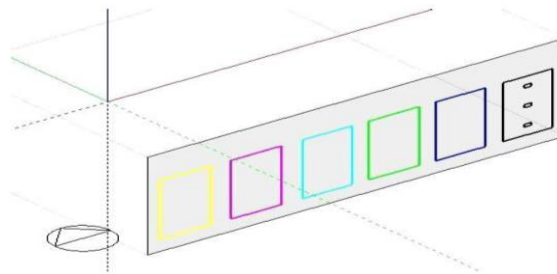
Aberturas

El software permite crear diversos tipos de aberturas ya sea entre ventanas, rejillas, puertas y huecos, entre otros.

Tabla B2. Definición de aberturas en DesignBuilder.

TIPOS DE ABERTURAS	CARACTERÍSTICAS
Ventanas	Se crean para modelar una superficie traslucida que permite el paso de radiación solar, así como también permite una ventilación natural dentro del edificio.
Rejillas	Permiten la entrada y salida controlada de ventilación natural en el interior del edificio.
Puertas	Representan aberturas exteriores e interiores, que pueden permitir el paso de ventilación natural.
Huecos	Son aperturas en las cuales la ventilación natural no es controlada, permiten el paso de radiación solar sin ninguna oposición.
Sub-superficies	No representan aberturas propiamente dichas, ya que son opacas a la radiación solar y no permiten modelar la entrada y salida de aire, se emplean para modelar partes de los cerramientos en las que cambia su composición física.
Límites CFD	Permiten modelar componentes empleados en los análisis CFD, tales como rejillas difusoras y de extracción, zonas de flujo de calor, entre otros.

Figura B2. Diferentes tipos de abertura. De izquierda a derecha: ventana, rejilla, puerta, hueco, sub-superficie y límite CFD.



Fuente: Manual de ayuda DesignBuilder en español Introducción,” vol. V.2014–05-, 2014.

Consultada: 12 de junio de 2014

Cerramientos

Los cerramientos son zonas térmicas conformadas por fachadas, particiones internas, suelos y cubiertas.

Tabla B3. Definición de cerramientos en DesignBuilder.

TIPOS DE CERRAMIENTOS	CARACTERÍSTICAS
Muros exteriores	Son las superficies más externas del edificio que se encuentran expuestas al ambiente exterior, que comprenden la fachada de un edificio.
Cubiertas	Hace referencia a todas las superficies horizontales o inclinadas del edificio que se encuentran expuestas directamente al ambiente exterior. Por lo regular se ven afectados por las condiciones del aire exterior y la radiación solar.
Particiones	Los cerramientos de partición se aplican a todos los muros interiores, es decir, muros que dividen dos zonas entre sí.

Suelos

DesignBuilder hace una diferenciación de suelos según su ocupación y encerramiento térmico.

Tabla B4. Definición de suelos en DesignBuilder.

TIPOS DE SUELOS	CARACTERÍSTICAS
Suelos sobre terreno	Hace referencia a todo tipo de suelo que se encuentra en contacto con el terreno. Estos cerramientos no se ven afectados por las condiciones del aire exterior y la radiación solar, sino por las temperaturas del terreno.
Suelos exteriores	Esta característica aplica para todos los suelos que se encuentran expuestos directamente al ambiente exterior. Por lo regular se ven afectados por las condiciones del aire exterior y la radiación solar.
Suelos interiores	Los cerramientos de suelo interior se aplican a todos los suelos que dividen dos zonas entre sí, siempre y cuando ambas zonas sean ocupadas.

Anexo C. Mediciones realizadas en sitio

Para el estudio realizado en este trabajo se realizaron una serie de mediciones durante un periodo de tiempo de dos semanas y media, en donde se establecieron cuatro (4) variables (nivel de iluminación, velocidad del viento, humedad relativa del aire, y temperatura del aire).

Estas mediciones fueron realizadas por piso en cada una de las áreas críticas previamente determinadas, con un rango de tiempo entre cada medición de una (1) hora, con un horario de dos sesiones que se definieron de (8:00 a 12:00 horas) y de (14:00 horas a 18:00 horas). Generando una cantidad de ocho (8) mediciones por día, durante seis (6) días a la semana (lunes a sábado).

Se realizaron mediciones del consumo de energía eléctrica a través de un analizador de redes conectado en el tablero del quinto (5), y cuarto (4) piso, también se midió en el tablero ubicado en el cuarto de la planta de emergencia de esta misma edificación.

Los valores obtenidos para estas mediciones durante doce (12) días, para las variables asignadas (nivel de iluminación, velocidad del viento, humedad relativa de aire, y temperatura del aire), realizados en el piso quinto (5), cuarto (4), y primero (1) son los mostrados en las siguientes tablas:

Tabla C.1. Mediciones para el día (1) del quinto piso, zona de proyectos y servicios.

PROYECTOS Y SERVICIOS															
Temperatura °C															
Hora															
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00	
24,20	24,30	24,50	24,40	25,30	25,10	26,10	26,30	27,70	27,60	27,80	27,80	28,10	28,2	27,00	27,10
Humedad relativa %															
Hora															
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00	
74,60	74,50	73,90	74,00	71,60	71,80	68,10	67,90	67,00	67,10	69,10	68,80	68,20	68,30	69,00	68,90
Velocidad del viento m/s															
Hora															
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00	
0,04	0,02	0	0	0	0	0	0,03	0,09	0	0,15	0	0,5	0	0,03	0,06

Tabla C.2. Mediciones para el día (1) del quinto piso, Zona sala de espera.

SALA DE ESPERA																							
TEMPERATURA °C																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
24,3	24,6	24,4	25,1	25,6	26,5	25,7	25,8	25,8	26,5	26,5	26,6	27,1	27,1	27,1	27,5	27,4	27,2	27,6	27,6	27,5	26,4	26,3	26,5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HUMEDAD RELATIVA %																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
74,1	73,1	74,3	72,5	72,1	72,9	68,7	68,7	68,5	69,2	69,6	69,9	68,7	68,1	68,2	71,3	71,0	71,1	72,6	72,0	72,6	73,0	72,8	73,1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
0,04	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,03	0,03	0,0,0	0,00	0,09	0,03	0,06	0,03	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,03	0,03	0,06
								3															

Tabla C.3. Mediciones para el día (1) del quinto piso, zona de archivos.

ZONA DE ARCHIVOS																							
TEMPERATURA °C																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
24,0	24,4	24,3	25,0	25,1	24,9	25,5	25,8	25,9	27,0	27,0	27,0	27,5	27,6	27,5	27,8	27,7	27,9	28,2	28,4	28,3	27,1	27,1	27,1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HUMEDAD RELATIVA %																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
73,8	73,8	6,00	74,0	73,9	74,1	71,0	71,2	71,3	67,8	67,8	67,9	67,0	66,8	67,0	68,3	68,5	68,3	67,9	68,0	68,0	69,1	69,3	69,1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
0,01	0,02	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,03	0,03	0,00	0,00	0,20	0,09

Tabla C.4. Mediciones para el día (1) del quinto piso, zona sala de estar.

SALA DE ESTAR																							
TEMPERATURA °C																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
24,8	25,2	25,1	24,7	24,9	24,9	25,6	25,5	25,5	26,4	26,3	26,3	27,4	27,5	27,5	27,7	27,6	27,9	27,4	27,9	27,6	28,1	27,9	28,1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HUMEDAD RELATIVA %																							

HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
74,2	73,9	74,1	73,9	74,0	74,1	71,5	70,8	71,5	68,0	67,9	68,2	67,1	66,7	66,9	67,9	68,3	68,5	69,2	69,3	69,6	69,2	69,0	69,9
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,15	0,50	0,09	0,03	1,20	0,03	1,04	0,00	0,00	1,23	0,00	1,24	0,50	0,85	0,76	0,85	0,03	0,00	0,03

Tabla C.5. Mediciones para el día (1) del quinto piso, zona sala de reuniones.

SALA DE REUNIONES																							
TEMPERATURA °C																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
25,5	25,5	25,5	25,7	25,8	25,9	26,9	27,0	27,1	27,0	27,1	27,2	27,5	27,5	27,6	26,9	27,0	27,0	27,6	27,7	27,7	27,0	27,0	27,1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HUMEDAD RELATIVA %																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
62,0	62,0	62,0	62,2	61,9	61,5	62,9	62,2	62,3	67,1	67,0	66,8	76,0	75,3	75,0	76,2	76,6	76,4	79,7	80,1	80,0	79,2	79,4	78,9
1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
0,01	0,04	0,01	0,00	0,03	0,00	0,03	0,07	0,00	0,03	0,09	1,64	0,19	0,19	0,00	0,12	1,38	0,00	0,06	0,03	0,17	0,00	0,03	0,15

Tabla C.6. Mediciones para el día (1) del quinto piso, zona ante sala dirección.

ANTE SALA DIRECCION																							
TEMPERATURA °C]																							
HORA																							
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00									
24	24	24,50	24,60	25,60	25,60	26	26,40	27,50	27,50	27,40	27,90	28,10	27,9	27	27								
HUMEDAD RELATIVA %																							
HORA																							
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00									
73,0	73,1	74,0	74,10	71,40	72,60	68,20	68,40	66,90	67,00	68,80	69,00	68,40	68,00	69,23	69,12								
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																							
HORA																							
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00									
0,01	0,02	0,00	0,00	0,03	0,06	0,03	0,03	0,12	0,06	0,13	0,22	0,13	0,09	0,15	0,13								

Tabla C.7. Mediciones para el día (1) del quinto piso, datos de iluminación.

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
08:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2701	1013	1148
2510	1301	1219
1044	1029	2988
SALA DE REUNIONES		
1082	1028	1044
2210	3009	2409
ANTE SALA DIRECCIÓN		
272	1249	2149
SALA DE ESTAR		
2910	2778	1309
518	229	407
435	355	287
ARCHIVO		
611	749	562
725	947	539
1249	2010	1888
PROYECTOS Y SERVICIOS		
	983	
	649	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
09:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2700	1015	1150
2500	1300	1220
1045	1033	2990
SALA DE REUNIONES		
1080	1030	1047
2200	3010	2410
ANTE SALA DIRECCIÓN		
270	1250	2150
SALA DE ESTAR		
2900	2780	1310

510	230	400
430	357	290
ARCHIVO		
610	750	564
720	950	540
1250	2000	1890
PROYECTOS Y SERVICIOS		
980		
650		
NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
10:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2670	1000	1100
2510	1280	1180
1080	1052	2890
SALA DE REUNIONES		
1100	1085	1090
2000	2890	2400
ANTE SALA DIRECCION		
300	1200	2000
SALA DE ESTAR		
2850	2700	1350
540	260	430
470	370	320
ARCHIVO		
620	780	590
750	980	570
1280	2010	1900
PROYECTOS Y SERVICIOS		
990		
670		

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
11:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2690	1120	1150
2530	1300	1200

1110	1075	2900
SALA DE REUNIONES		
1190	1175	1100
2020	2900	2410
ANTE SALA DIRECCION		
315	1210	2120
SALA DE ESTAR		
2870	2710	1390
540	280	450
500	395	350
ARCHIVO		
642	795	595
760	990	590
1290	2032	1920
PROYECTOS Y SERVICIOS		
	1000	
	690	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
14:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2675	1230	1200
2520	1305	1250
1135	1094	2910
SALA DE REUNIONES		
1185	1155	1062
2012	2880	2400
ANTE SALA DIRECCION		
330	1202	2100
SALA DE ESTAR		
2815	2690	1345
525	260	448
490	400	390
ARCHIVO		
650	780	590
730	970	600
1235	2040	1880
PROYECTOS Y SERVICIOS		

996
660

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
15:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2670	1225	1205
2518	1310	1340
1170	1099	2892
SALA DE REUNIONES		
1205	1131	1054
2017	2842	2390
ANTE SALA DIRECCION		
360	1196	2122
SALA DE ESTAR		
2790	2710	1332
537	300	476
497	440	402
ARCHIVO		
663	776	602
732	965	596
1223	2016	1898
PROYECTOS Y SERVICIOS		
1002		
656		

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
16:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2340	1128	1102
2398	1022	1213
1000	995	2632
SALA DE REUNIONES		
1021	1034	1012

1987	2634	2215
ANTE SALA DIRECCION		
340	1100	1998
SALA DE ESTAR		
2521	2423	1156
500	298	421
438	400	388
ARCHIVO		
612	710	589
678	936	501
1198	1998	1743
PROYECTOS Y SERVICIOS		
978		
509		

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
17:00 PM		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2213	996	987
2190	964	1109
990	973	2293
SALA DE REUNIONES		
998	1001	1000
1210	1992	1987
ANTE SALA DIRECCION		
330	980	1345
SALA DE ESTAR		
2201	2004	1076
500	300	412
421	398	356
ARCHIVO		
542	632	521
631	853	497
1005	1532	1452
PROYECTOS Y SERVICIOS		
845		
475		

Tablas C.8. Mediciones para el día (2) del quinto piso, zona de proyectos y servicios.

PROYECTOS Y SERVICIOS																
TEMPERATURA °C																
HORA																
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00		
24,50	24,40	25,00	25,20	25,60	25,30	26,20	26,20	27,70	27,70	27,80	27,80	27,90	28,00	27,20	27,20	
HUMEDAD RELATIVA %																
HORA																
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00		
72,70	72,40	73,10	73,70	70,90	71,00	68	68	67,10	67,00	68,90	68,60	68,60	68,70	68,90	69,20	
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																
HORA																
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00		
0,03	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,04	0,03	0,17	0,03	0,03	0,00	0,09	0,00	0,04	0,06	

Tablas C.9. Mediciones para el día (2) del quinto piso, zona sala de espera.

SALA DE ESPERA																							
TEMPERATURA °C																							
HORA																							
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00									
24,50	24,50	24,40	24,40	24,10	24,10	25,30	25,30	25,30	26,20	26,20	26,10	27,50	27,60	27,60	27,70	27,60	27,60	27,60	27,50	26,20	26,20	26,10	
HUMEDAD RELATIVA %																							
HORA																							
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00									
73,00	73,50	73,70	74,60	74,70	74,70	72,80	73,30	73,50	69,70	68,90	69,90	66,40	66,70	66,60	69,10	69,50	68,20	70,20	70,30	70,20	72,00	71,60	71,10
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																							
HORA																							
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00									
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,19	0,06	0,00	0,03	0,15	0,28	0,19	0,00	0,00	0,09	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00

Tablas C.10. Mediciones para el día (2) del quinto piso, zona de archivos.

ZONA DE ARCHIVOS																							
TEMPERATURA °C																							
HORA																							
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00									
24,40	24,40	24,40	25,00	25,00	25,00	25,70	25,70	25,70	26,10	26,10	26,10	27,90	27,90	27,80	27,70	27,70	27,70	28,00	28,10	28,00	27,10	27,10	27,10
HUMEDAD RELATIVA %																							
HORA																							
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00									

74,7	74,9	74,8	74,1	74,7	74,3	71,1	71,9	71,8	68,7	68,5	68,4	66,9	66,9	67,0	68,1	68,3	68,1	68,6	68,7	67,9	69,2	69,1	69,0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
0,00	0,00	0,00	0,03	0,23	0,12	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,12	0,03	0,02	0,03	0,04	0,02	0,00	0,00	0,03

Tablas C.11. Mediciones para el día (2) del quinto piso, zona sala de estar.

SALA DE ESTAR																							
TEMPERATURA °C																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
24,3	24,0	24,0	24,4	24,5	24,7	25,6	25,6	25,5	26,3	26,2	26,0	27,9	27,8	27,8	27,9	27,9	27,5	27,9	28,3	28,0	27,3	27,2	27,0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HUMEDAD RELATIVA %																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
74,6	74,7	74,4	73,9	74,1	74,1	68,6	68,2	68,2	68,4	68,9	67,9	67,0	67,4	66,9	68,0	68,8	68,8	68,0	68,2	68,5	69,7	69,0	69,5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
0,00	0,03	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00	0,15	0,12	2,68	0,15	0,03	1,08	0,12	0,12	0,09	0,00	0,05	0,04

Tablas C.12. Mediciones para el día (2) del quinto piso, zona sala de reuniones.

SALA DE REUNIONES																							
TEMPERATURA °C																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
24,2	24,3	24,3	24,5	24,5	24,3	25,6	25,7	25,8	26,2	26,3	26,3	27,8	27,8	27,9	27,6	27,7	27,8	27,9	27,8	28,0	27,2	27,3	27,3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HUMEDAD RELATIVA %																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
73,0	73,1	73,0	74,0	74,7	74,1	71,5	71,0	71,2	68,6	68,4	68,3	67,2	67,5	66,9	68,7	68,3	68,3	68,6	68,7	67,8	70,4	69,7	69,8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,06	0,06	0,03	0,00	0,08	0,08	0,00	0,09	0,09	0,00	0,07	0,08	0,00	0,07	0,00

Tablas C.13. Mediciones para el día (2) del quinto piso, zona ante sala dirección.

ANTE SALA DIRECCION																							
---------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

TEMPERATURA °C															
HORA															
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00	
24,2	24,20	24,40	24,40	25,70	25,70	26,40	26,40	27,60	27,50	27,10	26,90	28,30	28,10	27,00	27,10
HUMEDAD RELATIVA %															
HORA															
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00	
73,80	74,20	74,00	74,00	68,00	67,90	68,20	68,30	67,10	66,90	68,50	68,60	68,20	68,10	69,10	68,70
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s															
HORA															
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,06	0,02	0,13	0,00	0,17	0,00	0,09	0,09

Tablas C.14. Mediciones para el día (2) del quinto piso, datos de iluminación.

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
8:00 AM		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2700	1010	1180
2500	1300	1199
1045	1030	1080
SALA DE REUNIONES		
1080	1045	1030
2290	3000	2400
ANTE SALA DIRECCION		
284	1169	2150
SALA DE ESTAR		
2900	2790	1300
526	225	400
425	339	300
ARCHIVO		
615	750	566
720	970	540
1289	2050	1920
PROYECTOS Y SERVICIOS		
	997	
	650	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES

HORA		
9:00 AM		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2690	1005	1185
2510	1321	1205
1050	1043	1094
SALA DE REUNIONES		
1085	1051	1039
2287	2995	2369
ANTE SALA DIRECCION		
299	1180	2176
SALA DE ESTAR		
2870	2800	1310
540	270	453
446	378	334
ARCHIVO		
630	775	580
745	960	550
1283	2060	1923
PROYECTOS Y SERVICIOS		
	1000	
	695	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
10:00 AM		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2715	1010	1190
2530	1340	1200
1075	1048	1100
SALA DE REUNIONES		
1085	1060	1070
2300	3000	2380
ANTE SALA DIRECCION		
300	1200	2180
SALA DE ESTAR		
2900	2805	1330
550	280	460
454	390	350
ARCHIVO		

645	780	585
750	978	564
1234	2090	1936
PROYECTOS Y SERVICIOS		
	1022	
	698	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
11:00 AM		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2730	1020	1200
2570	1360	1277
1118	1069	1140
SALA DE REUNIONES		
1100	1090	1099
2314	3010	2400
ANTE SALA DIRECCION		
342	1090	1099
SALA DE ESTAR		
2890	2789	1326
540	290	486
477	409	390
ARCHIVO		
650	776	590
744	969	567
1245	2103	1945
PROYECTOS Y SERVICIOS		
	997	
	705	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
14:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2750	1044	1236
2600	1390	1302
1132	1098	1201
SALA DE REUNIONES		
1198	1137	1123
2331	3005	2394

ANTE SALA DIRECCION		
356	1100	1156
SALA DE ESTAR		
2878	2810	1356
550	300	495
488	420	396
ARCHIVO		
665	792	599
765	970	577
1268	2087	1939
PROYECTOS Y SERVICIOS		
	1001	
	710	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
15:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2760	1055	1240
2650	1402	1323
1187	1105	1254
SALA DE REUNIONES		
1209	1187	1200
2365	3098	2405
ANTE SALA DIRECCION		
386	1198	1201
SALA DE ESTAR		
2865	2800	1378
540	330	498
490	440	400
ARCHIVO		
672	795	600
777	977	587
1270	2085	1940
PROYECTOS Y SERVICIOS		
	1010	
	690	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
16:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2620	1030	1180
2450	1350	1285
1100	1098	1150
SALA DE REUNIONES		
1150	1100	1120
2243	2890	2339
ANTE SALA DIRECCION		
370	1056	1120
SALA DE ESTAR		
2530	2612	1240
490	300	460
473	400	390
ARCHIVO		
652	743	566
723	915	534
1178	1990	1834
PROYECTOS Y SERVICIOS		
	999	
	569	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
17:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2500	1020	1055
2390	1220	1200
1044	1000	1050
SALA DE REUNIONES		
1020	1030	1066
2123	2672	2150
ANTE SALA DIRECCION		
360	1023	1012
SALA DE ESTAR		
2276	2352	1150

470	296	420
416	380	370
ARCHIVO		
640	710	532
701	876	512
1100	1732	1643
PROYECTOS Y SERVICIOS		
	943	
	521	

Tablas C.15. Mediciones para el día (3) del quinto piso, Zona de proyectos y servicios.

PROYECTOS Y SERVICIOS																
TEMPERATURA °C																
HORA																
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00		
24,10	24,00	24,40	24,80	25,50	25,60	26,10	26,30	27,10	27,60	27,00	27,30	28,10	28,20	27,10	27,10	
HUMEDAD RELATIVA %																
HORA																
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00		
73,30	73,80	74,50	74,50	71,80	71,70	68,30	62,90	67,30	67,70	68,70	68,50	68,50	68,50	69,40	69,40	
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																
HORA																
08:00		09:00		10:00		11:00		14:00		15:00		16:00		17:00		
0,00	0,00	0,06	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,05	0,15	0,06	0,03	0,06	0,04	0,02	

Tablas C.16. Mediciones para el día (3) del quinto piso, zona sala de espera.

SALA DE ESPERA																							
TEMPERATURA °C																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
24,20	24,20	24,20	24,50	24,40	24,41	25,20	25,20	25,20	26,00	26,30	26,10	27,20	27,20	27,30	27,70	27,60	27,60	27,20	27,20	27,19	26,20	26,10	26,10
HUMEDAD RELATIVA %																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
74,50	74,90	74,90	75,70	75,90	75,60	73,30	73,20	73,00	69,60	69,90	69,40	66,80	66,80	68,70	68,20	68,80	68,90	71,20	71,30	71,20	72,60	72,50	72,50
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
0,03	0,03	0,12	0,06	0,03	0,09	0,00	0,00	0,06	0,05	0,08	0,09	0,04	0,03	0,28	0,00	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04	0,06

Tablas C.17. Mediciones para el día (3) del quinto piso, zona de archivos.

ZONA DE ARCHIVOS																							
TEMPERATURA °C																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
24,1	24,2	24,2	24,4	24,4	24,5	25,4	25,3	25,4	26,1	26,2	26,1	27,7	27,7	27,8	27,6	27,7	27,7	28,5	28,4	28,3	27,2	27,1	27,1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HUMEDAD RELATIVA %																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
73,7	73,6	73,3	73,8	74,1	74,2	71,7	71,7	71,7	68,2	68,8	68,2	67,0	67,0	67,1	68,0	68,5	68,3	68,0	68,2	68,0	69,1	69,1	69,1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
0,00	0,03	0,09	0,03	0,00	0,00	0,03	0,05	0,03	0,03	0,05	0,09	0,00	0,19	0,06	0,03	0,00	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,05	0,01

Tablas C.18. Mediciones para el día (3) del quinto piso, zona sala de estar.

SALA DE ESTAR																							
TEMPERATURA °C																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
24,1	24,1	24,1	24,3	24,3	24,3	25,2	25,1	25,2	26,3	26,5	26,3	27,5	27,9	27,9	27,5	27,5	27,5	28,1	28,0	27,9	27,1	27,1	27,2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HUMEDAD RELATIVA %																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
73,7	73,7	73,2	73,9	74,2	74,2	71,6	71,5	71,6	67,9	68,2	68,1	66,7	67,1	67,0	68,1	68,3	69,4	68,0	68,1	68,7	69,5	69,4	69,4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,09	0,02	0,06	0,01	0,06	0,03	0,09	0,06	0,05	0,01	0,12	0,14	0,12	0,15	0,08	0,07	0,07	0,03	0,09

Tablas C.19. Mediciones para el día (3) del quinto piso, zona sala de reuniones.

SALA DE REUNIONES																							
TEMPERATURA °C																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
24,1	24,1	24,1	24,2	24,2	24,3	25,1	25,1	25,2	26,4	26,5	26,6	27,2	27,1	27,1	27,3	27,6	27,6	28,1	28,2	28,1	27,2	27,2	27,2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HUMEDAD RELATIVA %																							
HORA																							

08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
73,6	73,7	73,7	74,1	73,8	74,1	71,8	71,5	72,0	68,2	68,4	68,5	67,2	67,5	67,0	68,9	68,6	68,4	68,4	68,3	68,2	69,1	69,2	69,1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
0,03	0,03	0,10	0,04	0,10	0,00	0,05	0,09	0,03	0,07	0,05	0,05	0,02	0,00	0,03	0,10	0,00	0,08	0,09	0,02	3	0,00	0,05	0,03

Tablas C.20. Mediciones para el día (3) del quinto piso, zona ante sala dirección.

ANTE SALA DIRECCION																							
TEMPERATURA °C																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
24,3	24,20	24,40	24,40	25,50	25,60	26,20	26,20	27,70	27,70	27,50	25,40	28,30	28,20	27,10	27,10								
HUMEDAD RELATIVA %																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
73,40	73,60	74,10	74,00	68,00	68,20	68,30	68,10	67,60	67,00	68,40	68,70	68,40	68,30	69,00	69,10								
VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																							
HORA																							
08:00			09:00			10:00			11:00			14:00			15:00			16:00			17:00		
0,00	0,00	0,03	0,00	0,04	0,00	0,01	0,09	0,14	0,06	0,09	0,08	,014	0,12	0,09	0,02								

Tablas C.21. Mediciones para el día (3) del quinto piso, datos de iluminación.

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
8:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2740	1005	1135
2490	1298	1190
1045	1040	1079
SALA DE REUNIONES		
1080	1045	1035
2280	3000	2390
ANTE SALA DIRECCION		
300	1255	2150
SALA DE ESTAR		
2880	2789	1300
495	365	410

430	350	305
ARCHIVO		
605	740	555
715	956	540
1215	2050	1920
PROYECTOS Y SERVICIOS		
	990	
	630	
NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
9:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2730	1010	1140
2480	1293	1185
1049	1050	1080
SALA DE REUNIONES		
1075	1035	1040
2278	3005	2385
ANTE SALA DIRECCION		
298	1250	2135
SALA DE ESTAR		
2850	2770	1270
505	370	405
440	355	315
ARCHIVO		
610	750	560
720	970	535
1210	2035	1915
PROYECTOS Y SERVICIOS		
	985	
	620	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
10:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2740	1030	1175
2485	1299	1190

1055	1060	1085
SALA DE REUNIONES		
1070	1044	1045
2265	2995	2390
ANTE SALA DIRECCION		
310	1245	2130
SALA DE ESTAR		
2860	2765	1265
510	365	410
435	360	320
ARCHIVO		
615	745	555
716	965	540
1205	2025	1910
PROYECTOS Y SERVICIOS		
	996	
	615	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
11:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2725	1015	1165
2475	1300	1190
1060	1075	1090
SALA DE REUNIONES		
1085	1050	1060
2270	2990	2405
ANTE SALA DIRECCION		
320	1239	2145
SALA DE ESTAR		
2850	2775	1270
505	370	405
431	345	315
ARCHIVO		
610	733	560
710	956	532
1200	2030	1895
PROYECTOS Y SERVICIOS		

	1003	
	625	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
14:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2730	1030	1170
2450	1310	1196
1066	1086	1105
SALA DE REUNIONES		
1090	1034	1045
2234	2879	2385
ANTE SALA DIRECCION		
330	1246	2154
SALA DE ESTAR		
2820	2655	1230
500	355	400
423	347	300
ARCHIVO		
603	721	542
701	943	503
1164	1997	1825
PROYECTOS Y SERVICIOS		
	1015	
	635	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
15:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2690	1015	1135
2425	1295	1165

1060	1043	1100
SALA DE REUNIONES		
1095	1036	1050
2232	2860	2290
ANTE SALA DIRECCION		
340	1250	2175
SALA DE ESTAR		
2810	2670	1247
517	370	416
432	374	318
ARCHIVO		
600	711	523
694	912	500
1121	1988	1796
PROYECTOS Y SERVICIOS		
	1007	
	642	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
16:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2410	1000	1004
2310	1176	1087
1020	1021	1056
SALA DE REUNIONES		
994	1002	998
2178	2721	2201
ANTE SALA DIRECCION		
335	1235	2095
SALA DE ESTAR		
2760	2521	1236
512	352	402
421	367	315
ARCHIVO		
593	700	515
678	900	500
1100	1920	1671
PROYECTOS Y SERVICIOS		

	1001	
	595	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
17:00		
SALA DE ESPERA PREGRADO		
2210	990	1000
2170	1020	1021
1000	993	1001
SALA DE REUNIONES		
990	1000	987
2078	2523	2100
ANTE SALA DIRECCION		
330	1134	1999
SALA DE ESTAR		
2521	2367	1032
498	326	397
401	317	300
ARCHIVO		
514	674	502
628	865	500
1013	1731	1534
PROYECTOS Y SERVICIOS		
	996	
	504	

Tablas C.22. Mediciones para el día (4) del cuarto piso, datos de temperatura, humedad relativa, y velocidad del viento.

TEMPERATURA °C																
	HORA															
	08:00			09:00				10:00			11:00					
Aula 402	28,30	28,30	28,40	28,10	28,20	28,10	28,80	28,80	28,80	29,30	29,40	29,4				
Aula 404	26,30	26,20	26,10	26,10	26,00	26,0	26,1	26,0	28,8	28,7	28,70	28,80	28,90	28,90	28,9	28,8
Aula 406	25,80	25,80	25,6	25,50	26,3	26,50	26,5	26,5	27,4	27,4	27,40	27,60	28,80	28,90	28,8	28,8

TEMPERATURA °C													
HORA													

	14:00			15:00			16:00			17:00						
Aula 402	28,70	28,60	28,70	27,8	27,80	27,70	27,0	26,80	26,80	26,0	25,90	26,0				
Aula 404	28,20	28,4	28,5	28,4	28,70	28,40	28,80	28,40	27,30	27,50	27,50	27,40	26,9	26,8	26,70	26,7
Aula 406	28,50	28,4	28,4	28,5	27,50	27,50	27,3	27,30	28,10	28,10	27,70	27,80	27,3	27,2	27,2	27,2

HUMEDAD RELATIVA %																
HORA																
	08:00			09:00			10:00			11:00						
Aula 402	66,30	66,30	66,2	68,30	68,20	68,00	64,00	64,30	64,60	63,40	63,50	63,40				
Aula 404	68,3	68,6	68,2	68,1	67,30	67,6	67,10	67,0	63,20	63,40	62,90	63,10	68,20	67,9	67,	67,6
Aula 406	65,5	65,7	65,7	65,7	64,90	64,9	64,90	64,1	64,5	64,60	64,70	64,60	63,10	63,4	63,6	63,20

HUMEDAD RELATIVA %																
HORA																
	14:00			15:00			16:00			17:00						
Aula 402	64,8	64,7	63,7	66	66,8	67,7	63,7	63,7	63,8	63,1	62,7	62,8				
Aula 404	67,8	67	67,3	67,3	67,4	67,6	68	68	66,5	66,6	66,8	67,4	69,9	69,8	69,8	70,3
Aula 406	63,1	63	63,1	63,1	62,7	62,9	62,9	62	65,1	65,4	65,5	65,4	65,3	65,4	65,6	65,7

VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																
HORA																
	08:00			09:00			10:00			11:00						
Aula 402	0,03	0,02	0,05	0,00	0,00	0,00	0,18	0,02	0,11	0,11	0,13	0,15				
Aula 404	0,05	0	0,1	0,11	0,07	0,13	0,02	0,08	0,11	0,14	0,19	0,14	0,13	0,14	0,08	0,10
Aula 406	0	0,0	0,1	0,18	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,12	0,03	0,14	0,12	0,06	0,00	0,15

VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																
HORA																
	14:00			15:00			16:00			17:00						
Aula 402	0,14	0,18	0,06	0,19	0,15	0,01	0,01	0,31	0,12	0,12	0	0,03				
Aula 404	0,12	0,04	0,17	0,09	0,02	0,02	0,1	0,12	0,12	0,11	0,14	0,02	0,03	0,06	0,02	0,16
Aula 406	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,12	0,08	0,12	0,02	0,15	0,15	0,06	0,12	0	0,06	0,12

Tablas C.23. Mediciones para el día (4) del cuarto piso, datos de iluminación.

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES													
HORA													
8:00													

Aula 402		
1795	510	1063
2180	500	2010
1363	502	1432
Aula 404		
1142	520	1451
1739	579	1039
1431	523	1540
Aula 406		
400	380	310
490	412	440
1265	659	881

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
9:00		
Aula 402		
1568	530	1260
2580	521	2270
1241	523	1477
Aula 404		
1739	526	1368
1228	575	1859
1301	529	1644
Aula 406		
401	382	315
491	415	441
1263	653	879

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
10:00		
Aula 402		
1810	499	1320
2130	500	1910
1567	480	1459
Aula 404		
1950	523	1372

1150	580	1900
1350	523	1300
Aula 406		
391	384	313
490	411	440
1243	650	877

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
11:00		
Aula 402		
1410	510	1220
2320	515	2010
1267	500	1460
Aula 404		
1360	525	1730
1400	578	1100
1270	527	1420
Aula 406		
387	375	304
483	407	437
1220	651	873

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
14:00		
Aula 402		
1513	484	1020
2011	501	1710
1567	488	1159
Aula 404		
1040	510	1070
1030	569	1900
1540	513	1900
Aula 406		
386	372	307
481	404	440
1227	650	880

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
15:00		
Aula 402		
1520	492	984
2181	501	1600
1487	492	1159
Aula 404		
1658	517	1640
1010	572	1100
1260	519	1670
Aula 406		
382	379	310
481	410	432
1212	659	873

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
16:00		
Aula 402		
1723	533	767
2090	486	1088
1777	511	604
Aula 404		
1471	521	1203
1379	577	1001
1788	521	1588
Aula 406		
381	374	311
485	413	440
1202	660	877

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
17:00		
Aula 402		
1178	513	906
1665	527	1002

1070	515	950
Aula 404		
1262	520	1379
1102	573	1180
1789	527	1192
Aula 406		
389	372	302
482	406	432
1210	653	874

Tablas C.24. Mediciones para el día (5) del cuarto piso, datos de temperatura, humedad relativa, y velocidad del viento.

TEMPERATURA °C																
HORA																
	08:00			09:00			10:00			11:00						
Aula 402	28,30	28,20	28,20	27,90	28,00	27,9	28,60	28,60	28,50	29,00	29,00	28,9				
Aula 404	25,50	25,5	24,9	25,30	26,90	26,90	26,90	26,90	27,5	27,4	27,40	27,50	28	27,9	28,0	28,1
Aula 406	26,40	26,5	26,4	26,51	26,5	26,4	26,3	26,3	27,5	27,6	27,50	27,50	28,20	28,30	28,2	28,2

TEMPERATURA °C																
HORA																
	14:00			15:00			16:00			17:00						
Aula 402	28,90	29,00	28,90	28,70	28,70	28,60	28,00	28,00	28,10	27,90	27,90	27,8				
Aula 404	27,50	27,6	27,6	27,6	27,10	27,00	27,00	26,90	26,30	26,50	26,50	26,40	24,8	24,9	25,1	25
Aula 406	28,30	28	28,2	28,3	27,35	27,34	27,29	27,30	28,50	28,00	27,90	27,80	26,3	26,2	26,1	26,1

HUMEDAD RELATIVA %																
HORA																
	08:00			09:00			10:00			11:00						
Aula 402	62,10	63,50	62,8	64,60	64,10	64,50	60,80	60,90	60,30	61,50	61,60	61,6				
Aula 404	65,3	65,6	65,2	65,8	64,30	64,6	64,10	64,5	61,30	61,40	61,40	61,40	6,30	63,4	63,	62,9
Aula 406	65,4	65,2	65,1	65,2	65,10	65,0	65,10	65,0	65,0	65,00	65,00	65,00	64,50	64,3	64,7	64,70

HUMEDAD RELATIVA %													
HORA													
	14:00			15:00			16:00			17:00			

Aula 402	64,6	64,3	64,8	64,9	64,5	64,8	64,9	65,6	65,5	66,6	66,5	66,6				
Aula 404	63,3	63	64	63,1	65,7	65,8	66,1	66,3	66,5	66,6	66,8	67,4	69,9	69,8	69,8	70,3
Aula 406	65,1	65	64,8	64,7	66,1	65,9	65,9	66	66,2	66,8	67,3	67,6	68,2	68,1	68,2	68,2

VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																
HORA																
	08:00				09:00				10:00				11:00			
Aula 402	0,09	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,18	0,06	0,03				
Aula 404	0,00	0	0,0	0,10	0,00	0,03	0,00	0,10	0,07	0,10	0,10	0,10	0,14	0,08	0,10	0,12
Aula 406	0,13	0,11	0,08	0,18	0,10	0,04	0,01	0,04	0,12	0,06	0,12	0,00	0,12	0,00	0,17	0,00

VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																
HORA																
	14:00				15:00				16:00				17:00			
Aula 402	0,15	0,0	0,03	0,14	0,04	0,19	0,15	0,12	0	0,06	0,03	0,0				
Aula 404	0,12	0,13	0,0	0,8	0,16	0,04	0,11	0,16	0,12	0,02	0,15	0,04	0,09	0,12	0,11	0,18
Aula 406	0,17	0,03	0,17	0,03	0,01	0,12	0,08	0	0,12	0,01	0,17	0,12	0,08	0,18	0,02	0,19

Tablas C.25. Mediciones para el día (5) del cuarto piso, datos de iluminación.

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
8:00		
Aula 402		
1300	500	1678
1951	501	1998
1113	496	1480
Aula 404		
1140	515	1450
1740	570	1040
1430	512	1539
Aula 406		
382	375	310
487	414	439
1201	661	878

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
9:00		
Aula 402		
1360	492	2920
2420	497	2140
1171	496	1442
Aula 404		
1740	513	1370
1230	571	1860
1300	515	1643
Aula 406		
382	373	309
485	413	437
1200	660	877

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
10:00		
Aula 402		
1845	481	1937
2820	483	1775
1473	481	1555
Aula 404		
1949	512	1370
1148	577	1901
1352	510	1305
Aula 406		
384	376	310
488	415	433
1201	663	876

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
11:00		
Aula 402		
1040	503	1000
2880	502	1905

1960	500	1611
Aula 404		
1361	516	1728
1403	569	1103
1269	513	1419
Aula 406		
374	366	300
478	405	423
1211	653	866

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
14:00		
Aula 402		
1650	492	1633
2300	490	1923
1790	492	1574
Aula 404		
1430	514	1349
1170	564	1680
1080	519	1490
Aula 406		
380	377	311
485	410	435
1200	660	874

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
15:00		
Aula 402		
1100	487	1510
2040	490	1813
1720	487	1617
Aula 404		
1290	515	1706
1900	573	1400
1680	512	1430
Aula 406		

376	370	309
479	410	430
1199	660	871

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
16:00		
Aula 402		
1150	497	1213
2430	497	1495
1610	493	1388
Aula 404		
1470	520	1200
1380	577	1000
1790	516	1587
Aula 406		
384	376	310
488	419	433
1220	663	877

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
17:00		
Aula 402		
1740	482	925
2240	479	1296
1240	479	944
Aula 404		
1263	517	1380
1100	567	1180
1790	511	1190
Aula 406		
384	376	310
487	406	430
1201	659	874

Tablas C.26. Mediciones para el día (6) del cuarto piso, datos de temperatura, humedad relativa, y velocidad del viento.

	TEMPERATURA °C															
	HORA															
	08:00				09:00				10:00				11:00			
Aula 402	28,20	28,20	28,10	28,60	28,50	28,5	28,90	29,00	28,90	28,80	28,90	28,9				
Aula 404	26,90	26,9	26,8	26,9	27,00	27,1	27,1	27,1	28,6	28,5	28,60	28,6	28,60	28,6	28,7	28,6
Aula 406	25,80	25,80	25,9	25,80	26,7	26,70	26,60	26,7	27,3	27,5	27,50	27,50	28,30	28,3	28,3	28,4

	TEMPERATURA °C															
	HORA															
	14:00				15:00				16:00				17:00			
Aula 402	28,80	28,80	28,90	28,20	28,20	28,20	28,0	27,90	27,90	27,30	27,30	27,2				
Aula 404	28,00	28,0	28,0	28,1	27,60	27,50	27,80	26,50	26,40	26,50	26,50	26,40	25,0	25,1	25,1	25,0
Aula 406	27,10	27,1	26,9	27,2	26,90	27,20	27,30	27,20	28,20	28,10	27,80	27,80	27,3	27,4	27,4	27,3

	HUMEDAD RELATIVA %															
	HORA															
	08:00				09:00				10:00				11:00			
Aula 402	65,00	65,00	65,10	68,80	68,80	68,70	64,80	64,10	64,80	65,60	65,80	65,80				
Aula 404	68,1	67,9	68,0	67,9	68,40	68,20	68,20	68,2	64,09	64,10	64,98	64,10	64,20	64,20	64,0	64,1
Aula 406	67,4	67,3	67,3	67,4	67,00	67,0	67,10	67,1	66,8	66,80	66,90	66,80	66,40	66,5	66,5	66,60

	HUMEDAD RELATIVA %															
	HORA															
	14:00				15:00				16:00				17:00			
Aula 402	68	67,70	68,40	68,50	68,70	68,20	70,70	71,30	72,00	73,50	73,70	74,40				
Aula 404	65,20	65,2	65,3	65,2	68,40	68,20	68,0	68,2	68,10	68,20	68,20	68,20	68,50	68,50	68,40	68,5
Aula 406	67,9	68	67,8	68,1	69,1	68,7	68,9	69	70,7	69,9	70,1	70,8	75,3	75,1	75,6	74,9

	VELOCIDAD DEL VIENTO m/s															
	HORA															
	08:00				09:00				10:00				11:00			
Aula 402	0,11	0,10	0,03	0,03	0,15	0,00	0,06	0,12	0,00	0,12	0,03	0,03				
Aula 404	0,10	0,08	0,09	0,10	0,03	0	0,00	0,15	0,09	0,13	0,09	0,17	0,13	0,09	0,18	0,11
Aula 406	0,09	0,1	0,07	0,17	0,09	0	0,00	0,00	0,12	0,03	0,04	0,13	0,06	0,16	0,18	0,08

VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																
HORA																
	14:00			15:00				16:00			17:00					
Aula 402	0,03	0,04	0,12	0,15	0,15	0,09	0,12	0,05	0,03	0,00	0,02	0,15				
Aula 404	0,03	0,0	0,0	0,0	0,17	0,17	0,05	0,17	0,08	0,03	0,03	0,03	0,18	0,09	0,13	0,14
Aula 406	0,14	0,16	0,07	0,09	0,12	0,02	0,07	0,13	0,09	0,05	0,06	0,06	0,08	0,09	0,14	0,11

Tablas C.27. Mediciones para el día (6) del cuarto piso, datos de iluminación.

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
8:00			
Aula 402			
1792	485	1762	
2581	585	2112	
1262	487	1830	
Aula 404			
1139	509	1449	
1742	550	1042	
1429	512	1540	
Aula 406			
378	373	309	
479	413	429	
1199	667	880	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
9:00			
Aula 402			
1380	501	933	
2040	501	1068	
1276	500	963	
Aula 404			
1730	519	1760	
1070	561	1030	
1240	519	1740	
Aula 406			
380	372	305	
485	413	428	
1212	655	877	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
10:00		
Aula 402		
1790	500	1120
2130	501	2140
1710	497	1333
Aula 404		
1952	510	1375
1151	549	1907
1355	511	1310
Aula 406		
400	380	313
494	420	438
1220	667	885

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
11:00		
Aula 402		
1790	501	981
2150	501	1032
1200	500	958
Aula 404		
1363	508	1730
1405	551	1105
1271	513	1421
Aula 406		
393	380	304
490	410	432
1221	660	890

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
14:00		
Aula 402		
1650	487	1314

2040	490	1820
1680	490	1452
Aula 404		
1510	511	1600
1210	541	1980
1391	515	1560
Aula 406		
392	373	305
490	410	438
1223	660	880

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
15:00		
Aula 402		
1280	482	1020
2400	482	1750
1267	481	1250
Aula 404		
1290	510	1640
1760	551	1780
1138	514	1420
Aula 406		
382	376	309
488	420	434
1207	660	876

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
16:00		
Aula 402		
1067	485	997
1920	485	1610
963	484	1002
Aula 404		
1975	519	1780
1100	547	1250
1048	516	1580

Aula 406		
389	373	299
478	410	428
1210	649	872

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
17:00		
Aula 402		
1531	489	1154
2050	492	1820
1464	492	1260
Aula 404		
1216	511	1120
1480	553	1230
1276	510	1278
Aula 406		
384	370	304
481	401	430
1204	649	876

Tablas C.28. Mediciones para el día (7) del primer piso, datos de temperatura, humedad relativa, y velocidad del viento.

TEMPERATURA °C																	
HORA																	
08:00																	
09:00																	
10:00																	
11:00																	
sala grupal	25	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,90	25,90	25,90	25,90	27,90	27,90	27,90	27,80
sala individual	25	25,50	25,30	25,50	25,70	25,70	25,70	25,70	27,00	27,00	27,10	27,00	27,60	27,60	27,60	27,60	
		25,10	25,30			25,70	25,70			26,90	26,90			27,60	27,60		

TEMPERATURA °C																
HORA																
14:00																
15:00																
16:00																
17:00																
sala grupal	27,8	27,8	27,80	27,90	27,50	27,50	27,40	27,40	26,80	26,50	26,50	26,60	26,10	26,10	26,20	26,1
sala individual	27	27,2	27,20	27,10	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	28,30	27,80	27,90	27,7

		27,1	27,10			27,40	27,37			27,40	27,40			27,9	27,8	
--	--	------	-------	--	--	-------	-------	--	--	-------	-------	--	--	------	------	--

HUMEDAD RELATIVA %																
HORA																
08:00				09:00				10:00				11:00				
sala grupal	69,6	69,2	69,6	69,5	71,40	71,10	71,30	71,50	70,20	70,10	70,10	70,1	64,10	64,00	64,00	64,00
sala individual	74,0	74,5	74,60	74,7	73,80	73,00	73,30	73,40	71,20	71,90	71,90	71,3	68,2	68,30	68,30	68,30
		73,7	73,8			73,8	73,2			71,7	71,4			68,3	68,2	

HUMEDAD RELATIVA %																
HORA																
14:00				15:00				16:00				17:00				
sala grupal	66,2	66,6	66,3	66,4	67,2	67,4	67,4	67,5	67,7	67,7	67,8	67,7	69,3	69,2	69,6	69,3
sala individual	74,1	74,5	74,8	75,5	76,1	71,7	71,9	73,2	78,4	75,5	77,7	76,1	74,5	76,3	76,7	76,3
		74,6	74,3			73	71,8			77	76,1			75,6	75,3	

VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																
HORA																
08:00				09:00				10:00				11:00				
sala grupal	0,01	0,12	0,09	0,08	0	0	0,03	0,03	0,03	0,00	0,18	0,20	0,00	0,13	0,16	0,34
sala individual	0,12	0,08	0,07	0,11	0,03	0	0,00	0,03	0,09	0,00	0,00		0,06	0,00	0,06	0,00
		0,10	0,1			0,1	0			0	0,03			0,12	0	

VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																
HORA																
14:00				15:00				16:00				17:00				
sala grupal	0,03	0	0,12	0,11	0,1	0	0,01	0,1	0	0	0,06	0,03	0,01	0,12	0,09	0,1
sala individual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,10	0,12	0,14	0,09
		0	0			0	0			0	0			0,15	0,09	

Tablas C.29. Mediciones para el día (7) del primer piso, datos de iluminación.

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES																
HORA																
8:00																
SALA GRUPAL																
960				577				890								
1325				879				768								

1840	730	842
SALA INDIVIDUAL		
550	575	601
604	514	660
636	595	659
	436	551

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
9:00		
SALA GRUPAL		
968	580	895
1333	881	771
1844	733	847
SALA INDIVIDUAL		
561	581	607
614	519	665
647	599	664
	440	555

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
10:00		
SALA GRUPAL		
1061	630	657
1065	997	755
1836	721	840
SALA INDIVIDUAL		
660	561	587
606	528	686
647	518	648
	428	595

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
11:00		
SALA GRUPAL		
970	585	900

1340	888	782	
1850	740	850	
SALA INDIVIDUAL			
755	580	604	566
513	516	653	561
655	602	586	553
	470	570	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
14:00			
SALA GRUPAL			
976	585	902	
1356	890	780	
1901	739	854	
SALA INDIVIDUAL			
665	576	605	590
626	506	652	565
648	612	677	582
	464	564	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
15:00			
SALA GRUPAL			
950	576	885	
1329	876	768	
1830	728	850	
SALA INDIVIDUAL			
581	591	723	614
580	576	697	571
678	633	696	581
	508	559	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
16:00			
SALA GRUPAL			

950	570	885	
1300	873	766	
1802	724	838	
SALA INDIVIDUAL			
588	572	600	526
622	511	653	530
651	537	673	537
	473	574	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
17:00			
SALA GRUPAL			
951	569	886	
1305	870	769	
1800	721	840	
SALA INDIVIDUAL			
523	521	576	483
576	451	537	495
615	482	581	486
	404	433	

Tablas C.30. Mediciones para el día (8) del primer piso, datos de temperatura, humedad relativa, y velocidad del viento.

TEMPERAURA °C																
HORA																
08:00				09:00				10:00				11:00				
sala grupal	26,80	26,70	26,50	26,20	26,50	26,40	26,40	26,40	27,20	27,30	27,60	27,40	28,10	28,10	28,30	28,20
sala individual	25,30	25,40	25,30	25,40	26,50	26,40	26,60	26,40	27,10	27,10	27,20	26,90	27,70	27,80	27,70	27,80
		25,50	25,40			26,20	26,30			26,80	26,80			27,80	27,80	

TEMPERAURA °C																
HORA																
14:00				15:00				16:00				17:00				
sala grupal	26,60	26,30	26,50	26,30	26,40	26,20	26,50	26,50	26,70	26,80	26,90	26,90	25,70	25,70	25,70	25,80
sala individual	26,90	26,90	26,90	26,80	26,90	26,90	27,10	26,90	27,60	27,40	27,90	27,40	27,90	27,90	27,80	27,90
		26,90	27,00			27,10	27,00			28,00	27,30			27,90	28,00	

HUMEDAD RELATIVA %																
HORA																
08:00				09:00				10:00				11:00				
sala grupal	68,6	68,6	68,62	68,6	73,70	73,70	73,70	73,71	70,80	70,10	70,60	70,1	65,10	65,20	65,80	65,10
sala individual	73,9	73,9	73,80	73,9	73,10	72,90	72,90	73,20	63,10	70,30	70,20	70,2	68,80	68,80	68,90	68,80
		74,0	74,1			72,9	72,9			70,5	70,8			68,9	68,9	

HUMEDAD RELATIVA %																
HORA																
14:00				15:00				16:00				17:00				
sala grupal	67	65,6	66,5	67	66,7	67,7	67,6	67,6	70,3	70,5	70,6	70,5	71,9	71,0	71,1	71
sala individual	73,1	73,7	73,3	73,8	70,4	71,2	70,1	70,7	73,9	73,6	73	74,2	74,9	74,8	74,7	74,6
		73,5	73,2			70,8	71,2			73,6	74			74,7	74,6	

VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																
HORA																
08:00				09:00				10:00				11:00				
sala grupal	0,01	0,12	0,09	0,08	0,12	0,03	0,03	0,00	0,14	0,00	0,14	0,20	0,12	0,31	0,11	0,14
sala individual	0,11	0,03	0,11	0,10	0,00	0,03	0,00	0,09	0,00	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,09	0,03
		0,18	0,14			0,12	0,03			0,03	0			0	0,12	

VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																
HORA																
14:00				15:00				16:00				17:00				
sala grupal	0,18	0,06	0,19	0,19	0,06	0,03	0,11	0,13	0,03	0,25	0,07	0,11	0,3	0,0	0,11	1
sala individual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,10	0,14	0,09	0
		0	0			0	0			0	0			0,13	0,11	

Tablas C.31. Mediciones para el día (8) del primer piso, datos de iluminación.

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES																
HORA																
8:00																
SALA GRUPAL																
969				584				898								
1335				886				775								
1847				732				842								
SALA INDIVIDUAL																

532	553	586	487
595	497	632	535
616	567	637	517
	423	536	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
9:00			
SALA GRUPAL			
969	582	897	
1335	883	773	
1846	735	849	
SALA INDIVIDUAL			
541	562	597	498
602	502	643	542
627	578	648	525
	432	548	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
10:00			
SALA GRUPAL			
971	586	900	
1338	885	779	
1849	739	852	
SALA INDIVIDUAL			
645	552	632	547
594	516	683	542
623	502	636	563
	494	576	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
11:00			
SALA GRUPAL			

975	589	899	
1344	887	776	
1851	737	853	
SALA INDIVIDUAL			
602	588	592	552
672	585	636	548
672	596	674	541
	464	558	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
14:00			
SALA GRUPAL			
970	583	897	
1339	884	774	
1847	735	850	
SALA INDIVIDUAL			
561	546	623	605
591	562	666	583
638	604	691	554
	474	570	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
15:00			
SALA GRUPAL			
968	585	898	
1333	887	774	
1850	737	849	
SALA INDIVIDUAL			
599	566	616	629
670	510	666	563
645	600	682	535
	454	552	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
16:00			

SALA GRUPAL			
960	572		890
1328	877		767
1840	728		840
SALA INDIVIDUAL			
540	570	603	613
610	517	653	541
630	580	650	525
	427	532	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
17:00			
SALA GRUPAL			
961	577		887
1327	875		766
1838	720		835
SALA INDIVIDUAL			
554	562	597	513
610	500	636	518
616	573	640	510
	425	531	

Tablas C.32. Mediciones para el día (9) del primer piso, datos de temperatura, humedad relativa, y velocidad del viento.

TEMPERAURA °C																
HORA																
08:00																
09:00																
10:00																
11:00																
sala grupal	25	25,20	25,20	25,20	25,10	25,10	25,20	25,20	27	27	27,0	27,20	27,90	27,80	27,80	27,90
sala individual	25	25,40	25,40	25,50	25,80	25,70	25,70	25,80	27,30	27,30	27,20	27,30	28,50	28,50	28,60	28,50
		25,50	25,30			25,60	25,60			27,00	27,00			28,60	28,60	

TEMPERAURA °C																
HORA																
14:00																
15:00																
16:00																
17:00																
sala grupal	28	28,0	28,10	28,0	28,10	28,20	28,20	28,10	28,40	28,40	28,40	28,40	27,60	27,70	27,60	27,50
sala individual	27	27,1	27,20	27,10	28,30	28,20	28,30	28,30	27,10	27,10	27,20	27,10	27,70	27,80	27,80	27,70

		27,2	27,20			28,30	28,30			27,10	27,20			27,70	27,80	
--	--	------	-------	--	--	-------	-------	--	--	-------	-------	--	--	-------	-------	--

HUMEDAD RELATIVA %																
HORA																
08:00				09:00				10:00				11:00				
sala grupal	72,80	73,00	72,90	72,70	73,40	73,10	73,30	73,50	70,40	70,10	70,50	70,40	66,00	66,30	66,70	66,10
sala individual	74,50	74,70	74,30	74,70	74,60	74,40	74,60	74,70	71,20	70,80	70,70	71,30	69,52	69,43	69,30	69,30
		74,40	74,60			74,70	74,40			70,7	70,6			69,3	69,1	

HUMEDAD RELATIVA %																
HORA																
14:00				15:00				16:00				17:00				
sala grupal	65,1	65,9	65,5	65,5	67,7	67,8	67,5	67,7	67,9	67,9	67,8	67,5	69,9	69,9	69,8	69,9
sala individual	72,1	71,6	71,8	73,6	71,0	71,2	71,0	71,1	73,9	74,0	74,0	73,9	73,1	73,1	73,0	73,0
		71,4	71,8			71,5	71,0			73,8	73,9			73,0	73,1	

VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																
HORA																
08:00				09:00				10:00				11:00				
sala grupal	0,00	0,13	0,12	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,06	0,03	0,14	0,19	0,00	0,14	0,17	0,03
sala individual	0,11	0,03	0,00	0,20	0,03	0,03	0,09	0,03	0,00	0,06	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00	0,03
		0,12	0			0	0,03			0,06	0			0,03	0,06	

VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																
HORA																
14:00				15:00				16:00				17:00				
sala grupal	0	0,18	0,12	0,25	0	0	0,14	0,11	0,13	0,15	0,1	0	0,10	0,1	0,03	0
sala individual	0	0	0,03	0,03	0	0,06	0,1	0	0,2	0,1	0,1	0,1	0	0	0,15	0
		0,06	0			0,12	0			0	0			0,19	0,09	

Tablas C.33. Mediciones para el día (9) del primer piso, datos de iluminación.

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
8:00		
SALA GRUPAL		
970	586	901
1340	887	777

1850	741	853
SALA INDIVIDUAL		
537	538	587
597	498	639
614	574	642
	416	503

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
9:00		
SALA GRUPAL		
967	583	897
1334	879	774
1847	735	849
SALA INDIVIDUAL		
548	549	596
602	505	648
626	585	643
	427	510

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
10:00		
SALA GRUPAL		
970	584	897
1336	882	773
1847	737	849
SALA INDIVIDUAL		
647	538	568
597	505	563
632	592	628
	612	587

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
11:00		
SALA GRUPAL		
970	590	899

1340	893	776	
1860	745	850	
SALA INDIVIDUAL			
620	595	598	575
588	583	672	572
697	596	592	562
	498	592	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
14:00			
SALA GRUPAL			
970	588	898	
1341	889	779	
1851	738	846	
SALA INDIVIDUAL			
642	512	615	672
618	561	694	588
629	579	673	645
	478	574	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
15:00			
SALA GRUPAL			
969	582	898	
1335	884	776	
1846	737	849	
SALA INDIVIDUAL			
551	534	597	508
599	508	655	523
634	519	630	513
	433	521	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
16:00			
SALA GRUPAL			

960	574	890	
1329	875	767	
1835	727	840	
SALA INDIVIDUAL			
554	580	603	532
610	517	609	538
623	567	607	524
	441	531	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
17:00			
SALA GRUPAL			
961	580	532	
1328	880	770	
1832	731	844	
SALA INDIVIDUAL			
555	584	606	544
615	517	510	405
619	573	612	377
	445	533	

Tablas C.34. Mediciones para el día (10) del primer piso, datos de temperatura, humedad relativa, y velocidad del viento.

TEMPERAURA °C																
HORA																
08:00				09:00				10:00				11:00				
sala grupal	25	25,2	25,2	25,1	25,3	25,3	25,2	25,3	26,10	26,10	26,00	26,10	28,00	28,00	28,00	28,10
sala individual	26	26,10	26,10	26,20	26,70	26,70	26,60	25,60	27,20	27,20	27,20	27,10	28,10	28,10	28,00	28,10
		26,10	26,30			26,70	26,70			27,10	27,10			28,00	28,10	

TEMPERAURA °C																
HORA																
14:00				15:00				16:00				17:00				
sala grupal	28,0	28,0	28,0	28,00	27,70	27,70	27,70	27,70	27,00	27,00	27,10	27,00	26,40	26,40	26,40	26,4
sala individual	27	27,1	27,10	27,10	27,20	27,30	27,20	27,20	27,70	27,70	27,70	27,70	27,10	27,10	27,00	27,3
		27,1	27,10			27,30	27,30			27,60	27,60			27,3	27,4	

	HUMEDAD RELATIVA %															
	HORA															
	08:00				09:00				10:00				11:00			
sala grupal	69,6	69,2	69,6	69,5	71,40	71,10	71,30	71,50	70,20	70,10	70,10	70,1	64,10	64,00	64,00	64,00
sala individual	75,5	75,5	75,60	75,6	74,10	74,00	74,20	74,10	71,30	71,40	71,60	71,4	69,2	69,20	69,10	69,20
		73,7	73,8			74,1	74,2			71,4	71,4			69,2	69,2	

	HUMEDAD RELATIVA %															
	HORA															
	14:00				15:00				16:00				17:00			
sala grupal	67,2	67,6	67,3	67,4	68,1	68,2	68,2	68,2	67,9	67,9	67,9	67,8	69,7	69,5	69,6	69,5
sala individual	73,3	73,4	73,3	73,3	71,7	71,7	72,1	71,8	78,4	78,5	78,7	78,1	76,1	76,1	76,2	76,1
		73,4	73,3			71,8	71,8			78,4	78,4			76,2	76,2	

	VELOCIDAD DEL VIENTO m/s															
	HORA															
	08:00				09:00				10:00				11:00			
sala grupal	0,02	0,06	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,04	0,00	0,10	0,08	0,07	0,13	0,06	0,14
sala individual	0,05	0,08	0,07	0,01	0,02	0,02	0,00	0,05	0,09	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01
		0,00	0,01			0,00	0,00			0,01	0,03			0,02	0,00	

	VELOCIDAD DEL VIENTO m/s															
	HORA															
	14:00				15:00				16:00				17:00			
sala grupal	0,01	0,01	0,10	0,01	0,01	0,03	0,01	0,06	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,12	0,07	0,1
sala individual	0,01	0,00	0,01	0,03	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,09	0,12	0,04	0,09
		0,00	0,04			0,00	0,01			0,07	0,00			0,00	0,02	

Tablas C.35. Mediciones para el día (10) del primer piso, datos de iluminación.

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
8:00		
SALA GRUPAL		
970	577	899
1335	881	780
1850	739	850

SALA INDIVIDUAL			
558	589	619	539
612	517	660	557
632	594	659	532
	450	554	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
9:00			
SALA GRUPAL			
971	581	899	
1340	888	777	
1849	739	845	
SALA INDIVIDUAL			
567	587	611	537
618	524	672	560
650	590	669	542
	446	559	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
10:00			
SALA GRUPAL			
995	590	907	
1398	896	785	
1846	743	851	
SALA INDIVIDUAL			
560	565	620	540
627	531	689	565
660	597	668	552
	458	570	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
11:00			
SALA GRUPAL			
975	592	897	
1357	880	779	

1870	749	857
SALA INDIVIDUAL		
759	590	610
518	525	664
660	618	590
	481	578

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
14:00		
SALA GRUPAL		
978	590	910
1358	894	788
1900	741	860
SALA INDIVIDUAL		
669	570	615
631	517	660
653	620	595
	471	582

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
15:00		
SALA GRUPAL		
960	596	895
1339	896	798
1870	758	870
SALA INDIVIDUAL		
578	583	628
570	566	673
667	625	686
	498	549
NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES		
HORA		
16:00		
SALA GRUPAL		
955	572	883
1301	871	765
1800	722	834

SALA INDIVIDUAL			
584	570	601	547
620	514	644	535
650	532	677	536
	470	537	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
17:00			
SALA GRUPAL			
954	570	884	
1302	874	763	
1803	725	839	
SALA INDIVIDUAL			
580	571	606	542
616	509	642	525
652	535	671	525
	464	533	

Tablas C.36. Mediciones para el día (11) del primer piso, datos de temperatura, humedad relativa, y velocidad del viento.

TEMPERAURA °C																
HORA																
08:00				09:00				10:00				11:00				
sala grupal	25,80	25,70	25,50	25,70	26,30	26,30	26,40	26,30	27,30	27,30	27,30	27,40	27,90	27,90	27,90	27,80
sala individual	25,70	25,70	25,60	25,70	26,90	26,90	26,70	26,90	27,90	27,90	27,90	26,80	28,50	28,50	28,40	28,40
		25,60	25,50			26,90	26,80			27,80	27,80			28,40	28,40	

TEMPERAURA °C																
HORA																
14:00				15:00				16:00				17:00				
sala grupal	27,10	27,0	27,50	27,10	26,60	26,70	26,60	26,60	26,90	26,90	26,90	26,90	26,10	26,00	26,00	25,90
sala individual	27,10	27,10	27,00	27,00	26,30	26,30	26,40	26,30	27,50	27,60	27,50	27,50	27,40	27,40	27,40	27,30
		26,90	27,00			26,20	26,20			27,50	27,50			27,40	27,50	

HUMEDAD RELATIVA %																
HORA																
08:00				09:00				10:00				11:00				

sala grupal	71,7	71,6	71,7	71,7	74,30	74,30	74,20	74,20	70,20	70,10	70,20	70,2	67,10	67,20	67,10	67,10
sala individual	75,0	75,0	75,00	75,0	74,30	74,30	74,40	74,30	70,10	70,10	70,10	70,2	69,10	69,10	69,20	69,10
		75,0	75,1			74,4	74,4			70,3	70,4			68,9	68,9	

HUMEDAD RELATIVA %																
HORA																
	14:00				15:00				16:00				17:00			
sala grupal	66,0	66,1	66,1	66,1	68,3	68,2	68,2	68,2	68,8	68,8	68,7	68,8	71,2	71,2	71,0	71,1
sala individual	72,6	72,7	72,6	72,8	71,1	71,2	71,1	71,3	74,7	74,6	74,7	74,7	75,8	75,8	75,7	75,8
		72,7	72,6			71,1	71,1			74,6	74,6			75,8	75,7	

VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																
HORA																
	08:00				09:00				10:00				11:00			
sala grupal	0,03	0,10	0,06	0,08	0,07	0,00	0,03	0,09	0,11	0,00	0,04	0,10	0,02	0,11	0,00	0,10
sala individual	0,01	0,00	0,10	0,10	0,08	0,00	0,09	0,01	0,08	0,00	0,01	0,05	0,04	0,00	0,01	0,03
		0,08	0,04			0,02	0,02			0,00	0,01			0	0,07	

VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																
HORA																
	14:00				15:00				16:00				17:00			
sala grupal	0,10	0,06	0,09	0,08	0,05	0,00	0,10	0,03	0,00	0,12	0,00	0,03	0,1	0,0	0,11	0,07
sala individual	0,01	0,00	0,03	0,01	0,01	0,03	0,00	0,01	0,03	0,07	0,04	0,01	0,09	0,10	0,07	0,09
		0,00	0,00			0,00	0,01			0,00	0,04			0,03	0,01	

Tablas C.37. Mediciones para el día (11) del primer piso, datos de iluminación.

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES																
HORA																
8:00																
SALA GRUPAL																
965					585					894						
1330					888					770						
1843					729					844						
SALA INDIVIDUAL																
542				573				596				489				

605	489	643	545
636	577	646	532
	433	556	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
9:00			
SALA GRUPAL			
970	586	894	
1331	885	770	
1850	738	845	
SALA INDIVIDUAL			
545	576	599	495
609	504	647	543
640	580	649	527
	439	555	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
10:00			
SALA GRUPAL			
972	587	901	
1340	883	780	
1847	740	850	
SALA INDIVIDUAL			
646	554	636	549
599	518	684	546
625	505	635	564
	498	578	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
11:00			
SALA GRUPAL			
980	591	900	

1350	890	787	
1859	745	868	
SALA INDIVIDUAL			
651	578	652	559
622	579	696	558
650	596	677	571
	500	588	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
14:00			
SALA GRUPAL			
981	593	898	
1357	891	786	
1842	747	870	
SALA INDIVIDUAL			
653	576	553	598
621	572	694	557
655	601	671	574
	498	580	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
15:00			
SALA GRUPAL			
977	588	896	
1330	889	770	
1849	733	852	
SALA INDIVIDUAL			
597	560	610	630
668	509	660	562
640	604	685	533
	458	550	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
16:00			
SALA GRUPAL			
962	575	891	

1327	878	768	
1844	729	844	
SALA INDIVIDUAL			
539	559	594	619
615	506	655	546
637	589	658	528
	438	537	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
17:00			
SALA GRUPAL			
960	576	890	
1328	875	767	
1840	725	847	
SALA INDIVIDUAL			
543	562	595	515
617	503	657	548
634	579	655	526
	435	535	

Tablas C.38. Mediciones para el día (12) del primer piso, datos de temperatura, humedad relativa, y velocidad del viento.

TEMPERAURA °C																
HORA																
08:00																
09:00																
10:00																
11:00																
sala grupal	24,80	25,00	25,00	24,80	25,10	25,20	25,30	25,60	27,1	27,00	26,90	27,20	27,60	27,80	27,80	27,90
sala individual	25,40	25,50	25,50	25,60	25,90	25,80	25,80	25,80	27,60	27,60	27,60	27,70	28,60	28,70	28,80	28,70
		25,50	25,60			25,70	25,80			27,60	27,60			28,50	28,50	

TEMPERAURA °C																
HORA																
14:00																
15:00																
16:00																
17:00																
sala grupal	28,3	28,2	28,20	28,0	28,50	28,60	28,40	28,10	28,30	28,30	28,40	28,40	27,40	27,50	27,40	27,50
sala individual	27,40	27,50	27,40	27,30	28,40	28,40	28,40	28,5	27,2	27,30	27,20	27,10	27,60	27,70	27,70	27,50
		27,20	27,20			28,40	28,40			27,30	27,30			27,60	27,60	

HUMEDAD RELATIVA %																
HORA																
08:00				09:00				10:00				11:00				
sala grupal	72,90	73,0	72,80	72,80	73,30	73,20	73,40	72,90	71,40	71,30	71,20	71,540	68,00	68,30	68,40	68,10
sala individual	73,50	73,70	73,30	73,70	74,40	74,50	74,70	74,50	71,20	70,90	70,90	71,20	69,30	69,5	69,30	69,40
		73,40	73,60			74,50	74,40			70,80	70,80			69,40	69,20	

HUMEDAD RELATIVA %																
HORA																
14:00				15:00				16:00				17:00				
sala grupal	66,10	66,0	66,40	66,50	67,20	67,30	67,2	67,3	67,90	67,90	67,70	67,80	70,10	70,20	70,20	69,90
sala individual	71,10	71,20	71,30	71,20	71,0	72,20	72,0	72,10	73,80	74,10	74,10	74,0	72,90	73,0	73,0	73,0
		71,40	71,20			72,50	72,30			73,90	73,90			72,90	72,90	

VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																
HORA																
08:00				09:00				10:00				11:00				
sala grupal	0,00	0,12	0,12	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,06	0,03	0,04	0,09	0,00	0,10	0,10	0,03
sala individual	0,01	0,03	0,00	0,02	0,03	0,03	0,09	0,03	0,00	0,06	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00	0,03
		0,06	0,00			0,00	0,03			0,06	0			0,03	0,06	

VELOCIDAD DEL VIENTO m/s																
HORA																
14:00				15:00				16:00				17:00				
sala grupal	0,00	0,08	0,082	0,05	0,00	0,10	0,11	0,12	0,10	0,10	0,06	0,10	0,03	0,03	0,03	0
sala individual	0	0	0,03	0,03	0	0,06	0,10	0	0,10	0,10	0,09	0,08	0	0	0,05	0
		0,06	0			0,10	0			0	0			0,09	0,09	

Tablas C.39. Mediciones para el día (12) del primer piso, datos de iluminación.

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES																
HORA																
8:00																
SALA GRUPAL																
960				580				900								
1328				870				760								
1830				720				830								
SALA INDIVIDUAL																

540	530	580	533
595	500	630	560
616	570	632	512
	416	503	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
9:00			
SALA GRUPAL			
970	585	903	
1340	880	770	
1840	730	849	
SALA INDIVIDUAL			
545	535	588	538
600	504	640	567
618	581	639	510
	417	505	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
10:00			
SALA GRUPAL			
977	590	900	
1339	890	789	
1850	740	854	
SALA INDIVIDUAL			
550	540	590	541
602	509	632	570
620	587	640	520
	421	511	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
11:00			
SALA GRUPAL			

981	594	903	
1345	898	781	
1873	742	848	
SALA INDIVIDUAL			
560	545	600	551
598	517	640	572
629	596	635	534
	429	519	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
14:00			
SALA GRUPAL			
986	596	908	
1350	900	786	
1875	742	850	
SALA INDIVIDUAL			
567	542	610	678
602	518	646	588
633	587	643	544
	439	532	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
15:00			
SALA GRUPAL			
979	586	898	
1345	584	776	
1846	737	839	
SALA INDIVIDUAL			
566	544	599	688
609	528	656	583
639	589	640	543
	433	527	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
16:00			
SALA GRUPAL			
960	574	850	
1315	560	767	

1818	707	810	
SALA INDIVIDUAL			
554	548	601	678
602	518	636	554
623	571	630	533
	439	532	

NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES			
HORA			
17:00			
SALA GRUPAL			
955	562	832	
1300	534	744	
1798	701	801	
SALA INDIVIDUAL			
549	537	599	648
599	612	621	539
619	563	613	521
	432	5229	

Para el analizador de redes se utilizó una metodología diferente, para este solo se realizó la respectiva conexión en los dos tableros del Edificio de Ingeniería Eléctrica, estos tableros están ubicados en el quinto piso y en el salón de tableros y planta de emergencia del sótano. El analizador de redes se dejó midiendo el consumo de energía eléctrica en kWh por un periodo de tiempo de diez (10) días, durante las 24 horas. En donde se inició con cinco (5) días en el tablero del quinto piso y finalizó con otros cinco días (5) en el tablero del sótano.

El consolidado del consumo anual en kWh obtenido por los dos tableros. Mostrando así el consumo total de energía eléctrica por piso de toda la edificación de Ingeniería Eléctrica son los datos en la siguiente tabla:

Tabla C.40. Consolidado del consumo anual por piso, dado en kWh del Edificio de Ingeniería Eléctrica UIS.

CONSOLIDADO DEL CONSUMO ANUAL POR PISO	
LUGAR Y TIPO	CONSUMO kWh

SÓTANO	3,128,1
PISO 1	10,656,0
PISO 2	5,000,0
PISO 3	5,656,0
PISO 4	8,674,0
PISO 5	12,204,4
OTROS SERVICIOS	2,882,0
CONSUMO TOTAL	48,200,5

Anexo D. Puntos de medición en las áreas críticas

Cuando se piensa realizar un estudio basado en un análisis energético en una edificación cualquiera, se debe tener claro que es importante identificar en qué puntos de las zonas o áreas críticas se debe medir, esto con el fin de poder optimizar y simplificar el desarrollo del estudio.

Para el análisis energético realizado en el Edificio de Ingeniería Eléctrica, se implementó una metodología, en donde se establecieron las variables a medir, luego se procedió a identificar los pisos, zonas y áreas más críticas dentro de la edificación. Posteriormente se realizó la ubicación y el número de puntos que se debían medir en el edificio.

Las convenciones de colores para la identificación de los puntos en los planos, según la variable a medir:

Tabla D.1. Convenciones de colores para los puntos de medida.

COLOR	VARIABLE
■	TEMPERATURA DEL AIRE
■	HUMEDAD RELATIVA
■	VELOCIDAD DEL VIENTO
■	NIVEL DE ILUMINACIÓN

Los puntos asignados por zona, en cada uno de los pisos donde se realizaron las mediciones se muestran en las siguientes figuras:

Figura D.1. Ubicación de puntos de medida para la zona sala grupal en el primer piso.

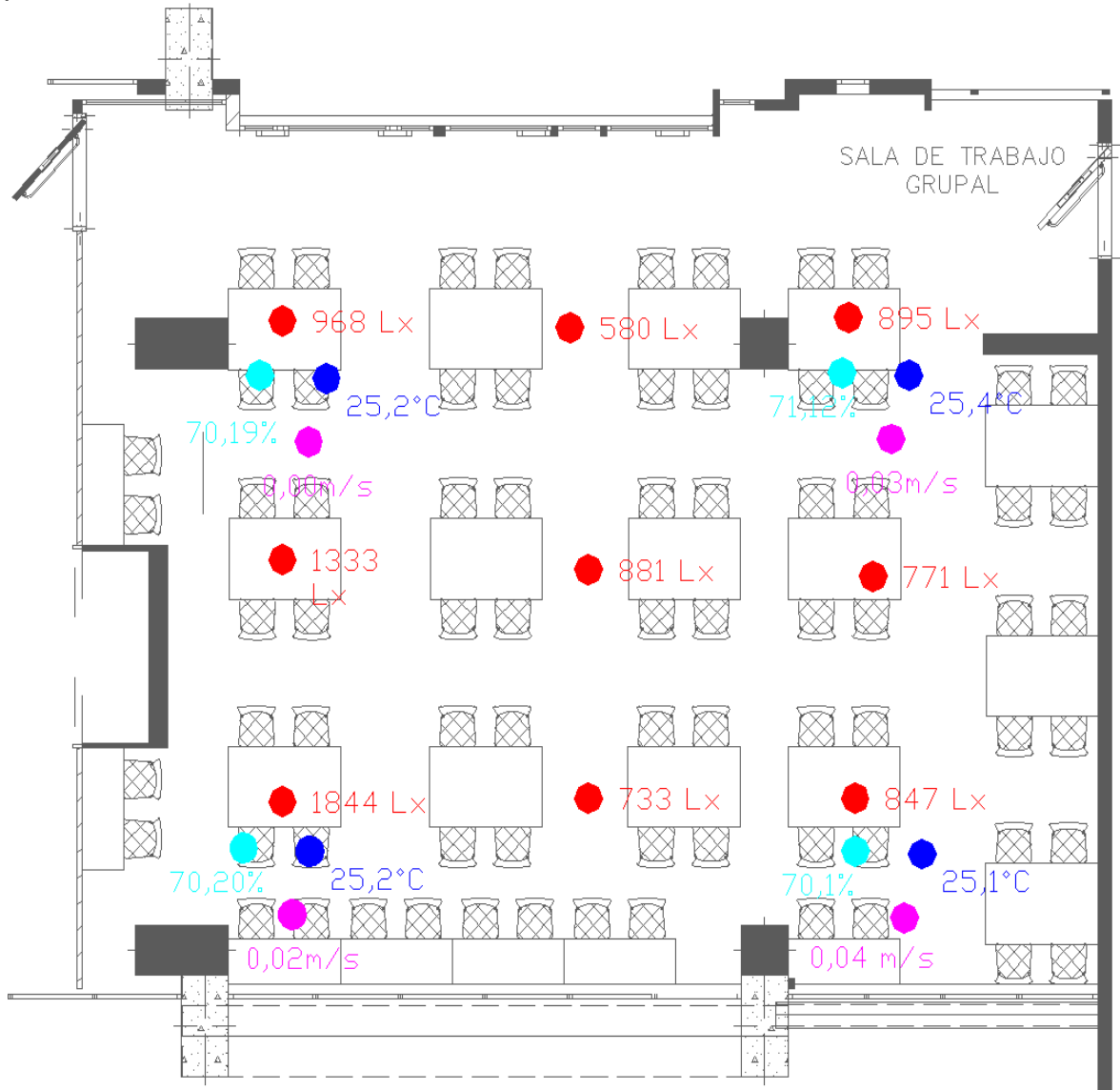


Figura D.2. Ubicación de puntos de medida para la zona sala individual en el primer piso.

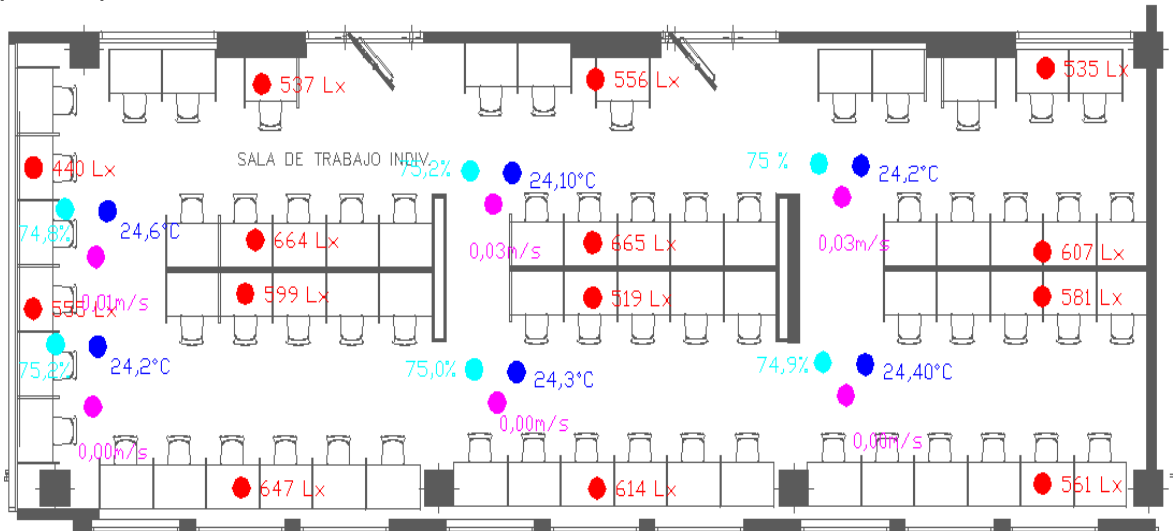


Figura D.3. Ubicación de puntos de medida para la zona aula (402) en el cuarto piso.

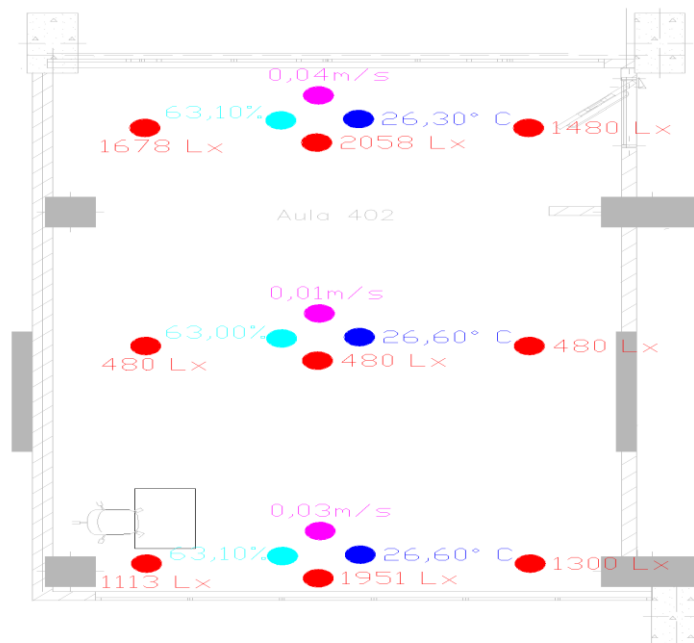


Figura D.4. Ubicación de puntos de medida para la zona aula (404) en el cuarto piso.

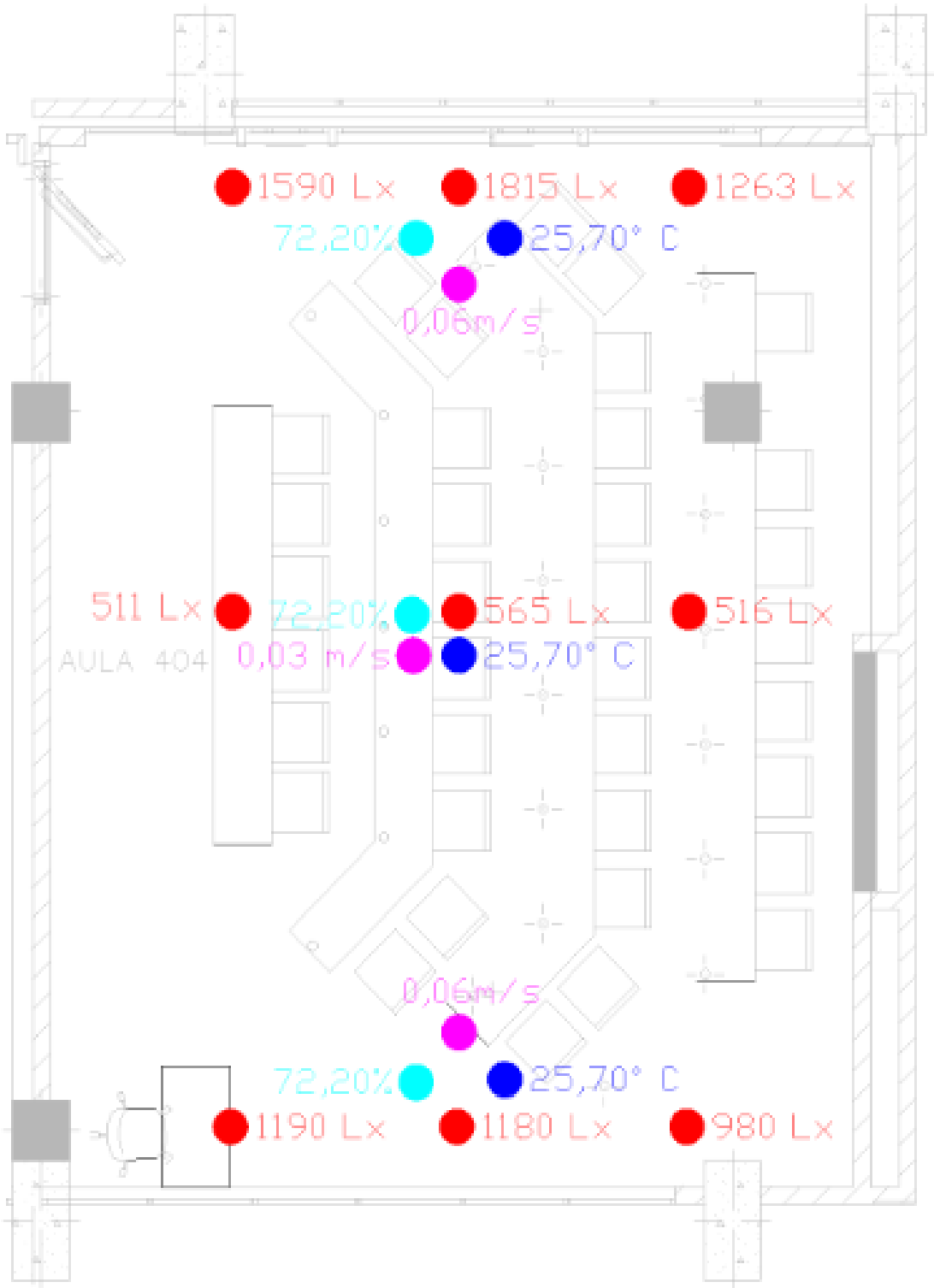


Figura D.5. Ubicación de puntos de medida para la zona aula (406) en el cuarto piso.

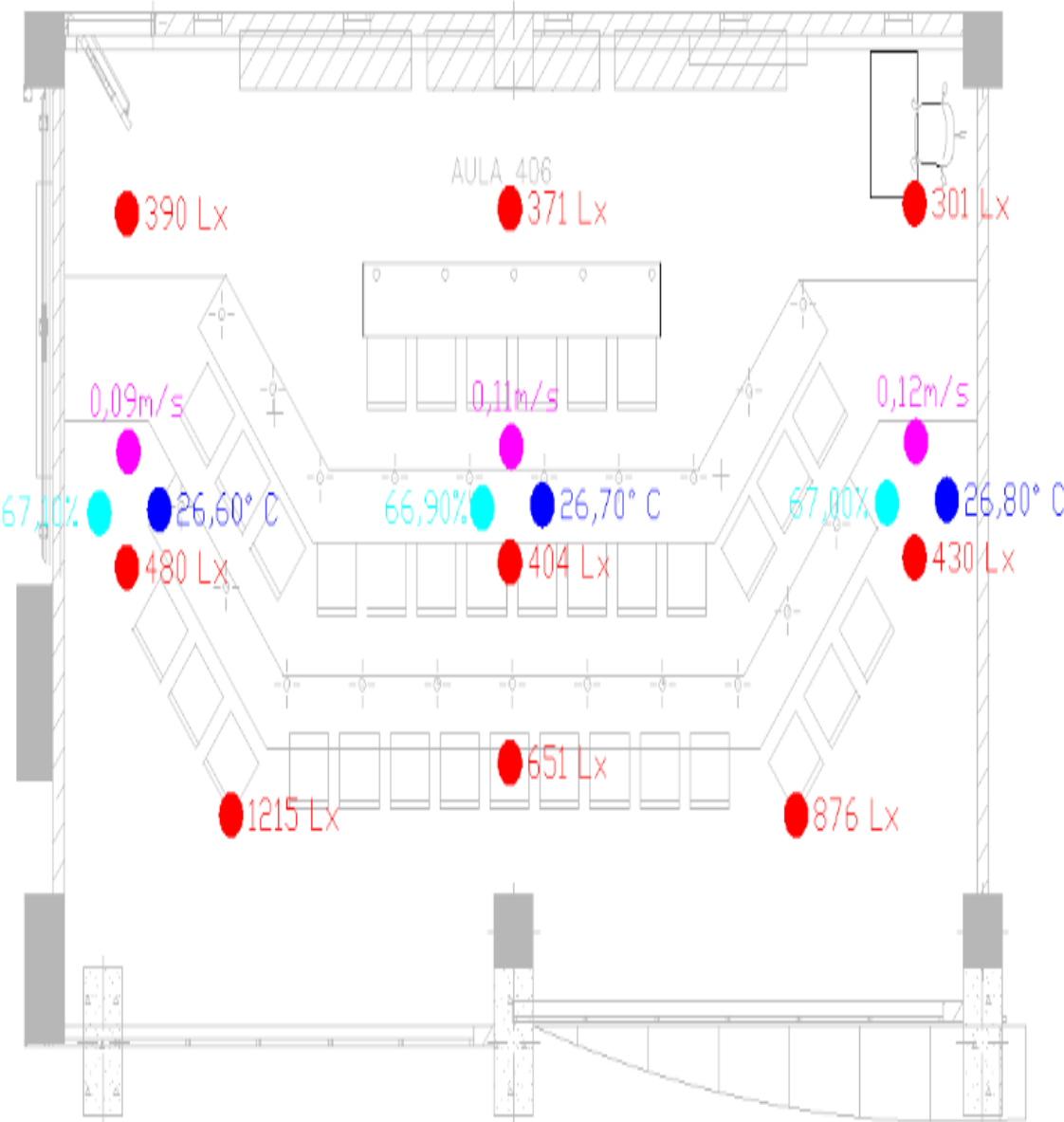


Figura D.6. Ubicación de puntos de medida para la zona sala de espera corredor en el quinto piso.

