

**EVALUACIÓN DE LA PLATAFORMA ENERGY-PLUS COMO HERRAMIENTA
PARA EL ANÁLISIS ENERGÉTICO EN UN ENTORNO TROPICAL:
CASO BUCARAMANGA**

**JAVIER MAURICIO JIMÉNEZ JÁCOME
CARLOS FERNANDO RODRÍGUEZ CELIS**

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

2013

**EVALUACIÓN DE LA PLATAFORMA ENERGY-PLUS COMO HERRAMIENTA
PARA EL ANÁLISIS ENERGÉTICO EN UN ENTORNO TROPICAL:
CASO BUCARAMANGA**

**JAVIER MAURICIO JIMÉNEZ JÁCOME
CARLOS FERNANDO RODRÍGUEZ CELIS**

**Proyecto de investigación presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Electricista.**

Director:

**Ing. Germán Alfonso Osma Pinto
MSc. en Ingeniería Eléctrica**

Codirector:

**Gabriel Ordóñez Plata
Doctor en Ingeniería Industrial**

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

2013

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Miguel y Azucena, por todo el cariño y apoyo incondicional que me brindan, los cuales hicieron posible este logro.

A mis hermanos, Miguel y María Constanza por sus consejos, su confianza y su compañía.

A Liseth, por estar a mi lado y ayudarme a superar todas las dificultades, por hacerme feliz, por su amor y comprensión.

A mi abuelita Tita, quien desde el cielo me protege y me ayuda a salir adelante.

A Nemito, quien con sus travesuras y curiosidades siempre me saca una sonrisa.

A mis amigos y compañeros con quienes compartí tantas jornadas de estudio, dificultades y alegrías

Javier Jiménez Jácome

Primero que todo a Dios por las bendiciones recibidas.

A mis padres Napoleón Rodríguez y Josefina Celis, a mi hermano Jorge Rodríguez, por todo el amor brindado y el apoyo incondicional durante toda la carrera.

A mis familiares y amigos por su cariño y compañía constante.

A mis profesores de la E3T, por su enseñanza y acompañamiento en el aprendizaje, especialmente al profesor Julio Augusto Gélvez.

A mi director y codirector de proyecto por su apoyo en las etapas finales y decisivas de la carrera.

A mis compañeros de universidad por tantas experiencias compartidas.

Carlos Fernando Rodríguez Celis

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	20
1. DEFINICION DEL PROYECTO	22
1.1. Formulación/declaración del problema.....	22
1.2. Motivación y justificación.....	22
1.3. Objetivos	23
1.3.1. Objetivo General.....	23
1.3.2. Objetivos Específicos	23
1.4. Alcance	24
1.5. Metodología	24
1.6. Marco teórico	27
1.6.1. Arquitectura bioclimática.....	27
1.6.2. <i>Energy-Plus</i> : Herramienta computacional para la simulación energética de edificaciones.....	28
1.6.3. Características del software Energy-Plus	29
2. DESCRIPCIÓN ESPACIAL, CONSTRUCTIVA Y CLIMÁTICA DE LA EDIFICACIÓN CASONA LA PERLA	30
2.1. Ubicación geográfica.....	30
2.2. Diseño Arquitectónico	31
2.3. Materiales de construcción.....	32
2.4. Datos del clima	33
3. MEDICIONES DE VARIABLES ASOCIADAS AL CONFORT VISUAL Y TÉRMICO .	36
3.1. Variables de medición	36
3.2. Zonas de medición.....	36
3.3. Medición de las variables en las zonas seleccionadas	37
3.3.1. Medición de iluminación	38
a.) Zona de eventos	38
b.) Zona auditorio	42
3.3.2. Medición de temperatura y humedad.....	45
a.) Zona de eventos	46
b.) Zona auditorio	48

3.4.	Diferencias en las zonas de medición	50
4.	ANÁLISIS ENERGÉTICO A PARTIR DE <i>ENERGY-PLUS</i>	52
4.1.	Descripción del proceso de modelado.....	52
4.1.2.	Diseño del modelo tridimensional de la Casona la Perla	52
4.1.3.	Entrada de parámetros específicos	55
4.2.	Proceso de simulación	59
4.3.	Resultados de la simulación.....	61
4.3.2.	Resultados de la simulación en la zona de eventos.....	62
4.3.3.	Resultados de la simulación zona auditorio	64
4.3.4.	Resultados simulación comparación entre zonas	65
4.3.5.	Resultados de la simulación respecto a iluminación	67
5.	ANÁLISIS LUMÍNICO A PARTIR DE <i>DIALUX</i>	68
5.1.	DIALux: Herramienta computacional para la simulación lumínica de edificaciones	68
5.2.	Descripción del proceso de análisis en DIALux.....	68
5.3.	Simulación	70
5.4.	Análisis de los resultados.....	74
5.4.2.	Zona de eventos.....	74
5.4.3.	Zona auditorio.....	76
6.	ANÁLISIS COMPARATIVO	79
6.1.	Análisis comparativo temperatura	79
6.1.1.	Análisis comparativo zona auditorio [Temperatura]	79
6.1.2.	Análisis comparativo zona de eventos [Temperatura].....	81
6.1.3.	Análisis comparativo entre zonas [Temperatura]	82
6.2.	Análisis comparativo humedad.....	83
6.2.1.	Análisis comparativo zona de eventos [Humedad].....	83
6.2.2.	Análisis comparativo zona auditorio [Humedad]	84
6.2.3.	Análisis comparativo entre zonas [Humedad]	85
6.3.	Análisis comparativo de iluminación.....	85
6.3.1.	Zona de eventos.....	86
6.3.2.	Zona auditorio.....	90
7.	CONCLUSIONES.....	95
8.	RECOMENDACIONES.....	97

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 98
ANEXOS 100

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de los materiales de la Casona la Perla	33
Tabla 2. Evaluación de los criterios de selección en las zonas o áreas de la Casona la Perla.	37
Tabla 3. Medición 29 de enero del 2013 de la zona de eventos, unidades lx.....	39
Tabla 4. Medición 30 de enero del 2013 en la zona de eventos, unidades lx.....	41
Tabla 5. Medición 29 de enero del 2013 en la zona auditorio, unidades lx.....	43
Tabla 6. Medición 30 de enero del 2013 en la zona auditorio, unidades lx.....	44
Tabla 7. Datos de simulación 29 de enero del 2013 en la zona de eventos, unidades lx.....	75
Tabla 8. Datos de simulación 29 de enero del 2013 en la zona auditorio, unidades lx	77
Tabla F1. Datos de simulación 30 de enero del 2013 en la zona de eventos, unidades lx.....	137
Tabla F2. Datos de simulación 30 de enero del 2013 en la zona auditorio, unidades lx.....	138
Tabla G1. Medición niveles de iluminación zona de eventos, 9 de mayo del 2013. Unidades Lx.....	144
Tabla G2. Simulación zona de eventos 9 de mayo del 2013. Unidades Lx	144
Tabla G3. Porcentaje de error iluminación zona de eventos, 9 de mayo del 2013.	145
Tabla G4. Medición niveles de iluminación zona de eventos, 10 de mayo del 2013. Unidades Lx.....	148
Tabla G5. Simulación zona de eventos 10 de mayo del 2013. Unidades Lx	149
Tabla G6. Porcentaje de error iluminación zona de eventos, 10 de mayo del 2013.	149

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Funciones principales de Energy-Plus [10].....	29
Figura 2. Vista satelital Casona la Perla 2/3/2011 según Google earth.....	31
Figura 3. Visualización interior edificación la Casona la Perla	32
Figura 4. Zonas del edificio la Casona la Perla.....	32
Figura 5. Temperatura de bulbo seco en el exterior (Enero) a partir de DView	34
Figura 6. Temperatura de Bulbo seco en el exterior (mensual) a partir de DView.....	35
Figura 7. Humedad relativa mensual	35
Figura 8. Puntos de medición de la zona de eventos	39
Figura 9. Medición 29 de enero del 2013 en la zona de eventos.....	40
Figura 10. Medición 30 de enero del 2013 en la zona de eventos.....	42
Figura 11. Puntos de medición en la zona auditorio	42
Figura 12. Medición 29 de enero del 2013 en la zona auditorio	44
Figura 13. Medición 30 de enero del 2013 en la zona auditorio	45
Figura 14. Temperatura en la zona de eventos	47
Figura 15. Humedad en la zona de eventos	48
Figura 16. Temperatura en la zona auditorio	49
Figura 17. Humedad en la zona auditorio	50
Figura 18. Diferencias de temperatura entre zonas	51
Figura 19. Diferencias de humedad entre zonas	51
Figura 20. Vista 2D Casona la Perla.....	53
Figura 21. Modelo 3D Casona la Perla	54
Figura 22. Orientación Casona la Perla	55
Figura 23. EP-Launch	56
Figura 24. EP-Launch localización.....	57
Figura 25. Materiales de construcción Energy-Plus.....	58
Figura 26. Asignación de materiales.....	58
Figura 27. EP-Launch después de la simulación	59

Figura 28. Selección de salidas de la simulación.....	60
Figura 29. Resultados simulación zona de eventos [Temperatura]	63
Figura 30. Resultado simulación zona de eventos [Humedad]	63
Figura 31. Resultados de la simulación zona auditorio [Temperatura]	64
Figura 32. Resultado de la simulación zona auditorio [Humedad]	65
Figura 33. Resultados simulación comparación entre zonas [Temperatura operativa]	66
Figura 34. Resultados simulación comparación entre zonas [Humedad]	67
Figura 35. Resultados de la simulación en Energy-Plus respecto a iluminación ...	67
Figura 36. Zona auditorio con la opción visualización de sol y sombras.....	71
Figura 37. Nivel de iluminación zona auditorio en representación de isolíneas a 0.85 m.....	71
Figura 38. Zona auditorio en representación de colores falsos	72
Figura 39. Zona auditorio en output isolíneas a un altura de 0.85 m	72
Figura 40. Zona auditorio en output gama de grises a un altura de 0.85 m.....	73
Figura 41. Zona auditorio en output gráfico de valores a una altura de 0.85 m	73
Figura 42. Zona auditorio en output tabla a una altura de 0.85 m.....	73
Figura 43. Puntos de simulación zona de eventos.....	74
Figura 44. Datos de simulación 29 de enero del 2013 en la zona de eventos.....	76
Figura 45. Puntos de simulación en la zona auditorio.....	77
Figura 46. Datos de simulación 29 de enero del 2013 en la zona auditorio.....	78
Figura 47. Comportamiento térmico zona auditorio	80
Figura 48. Comportamiento térmico zona de eventos	81
Figura 49. Análisis comparativo entre zonas [Temperatura].....	82
Figura 50. Comportamiento humedad relativa zona de eventos.....	83
Figura 51. Comportamiento humedad relativa zona auditorio	84
Figura 52. Análisis comparativo entre zonas [Humedad].....	85
Figura 53. Análisis comparativo de iluminación en la zona de eventos a las 9:30 a.m.....	87

Figura 54. Análisis comparativo de iluminación en la zona de eventos a las 10:30 a.m.....	87
Figura 55. Análisis comparativo de iluminación en la zona de eventos a las 11:30 a.m.....	88
Figura 56. Análisis comparativo de iluminación en la zona de eventos a las 2:30 p.m.....	89
Figura 57. Análisis comparativo de iluminación en la zona de eventos a las 3:30 p.m.....	89
Figura 58. Análisis comparativo de iluminación en la zona de eventos a las 4:30 p.m.....	90
Figura 59. Análisis comparativo de iluminación en la zona auditorio a las 9:30 a.m.	91
Figura 60. Análisis comparativo de iluminación en la zona auditorio a las 10:30 a.m.....	91
Figura 61. Análisis comparativo de iluminación en la zona auditorio a las 11:30 a.m.....	92
Figura 62. Análisis comparativo de iluminación en la zona auditorio a las 2:30 p.m.	92
Figura 63. Análisis comparativo de iluminación en la zona auditorio a las 3:30 p.m.	93
Figura 64. Análisis comparativo de iluminación en la zona auditorio a las 4:30 p.m.	94
Figura A1. Medidor digital de iluminación [16]	101
Figura A2. Medidor digital de temperatura y humedad	103
Figura B1. Interfaz SketchUp	105
Figura B2. Eje SketchUp.....	106
Figura B3. Conjunto grande de herramientas	106
Figura C1. Submenús plugin Openstudio	107
Figura C2. Cuadro de dialogo Submenú simular	110
Figura C3. Carga de archivo ESO	111

Figura D1. Entorno Dview.....	112
Figura D2. Ventana profile Dview	113
Figura D3. Visualización Dmap.....	114
Figura E1. Información de soleamiento de la Zona de Descanso del día 29 de Enero a partir de Solea-2.....	116
Figura E2. Puntos de medición Zona de Descanso	117
Figura F1. Ícono DIALux	118
Figura F2. Pantalla de bienvenida DIALux.....	119
Figura F3. Editor de locales DIALux	120
Figura F4. Importar archivo DWG	120
Figura F5. Asistente de importación paso 1.....	121
Figura F6. Asistente de importación paso 2.....	121
Figura F7. Asistente de importación paso 3.....	122
Figura F8. Asistente de importación paso 4.....	122
Figura F9. Asistente de importación paso 5.....	123
Figura F10. Asistente de importación paso 6.....	124
Figura F11. Asistente de importación paso 7.....	124
Figura F12. Plano la Casona La Perla	125
Figura F13. Orientación del plano.....	126
Figura F14. Vista planta orientación del plano	126
Figura F15. Paso para elaborar geometría del local.....	127
Figura F16. Edición zona auditorio	128
Figura F17. Editor de locales zona auditorio.....	129
Figura F18. Vista 3D zona auditorio.....	129
Figura F19. Objetos DIALux	130
Figura F20. Puntos de cálculo zona auditorio	130
Figura F21. Insertar Escena de luz zona auditorio.....	131
Figura F22. Factores de luz diurna	132
Figura F23. Plano útil zona auditorio	133
Figura F24. Ubicación geográfica zona auditorio.....	134

Figura F25. Iniciar cálculo DIALux	135
Figura F26. Cálculo DIALux	135
Figura F27. Calculando los resultados de simulación.....	136
Figura F28. Resultados DIALux	137
Figura F29. Datos de simulación 30 de enero del 2013 en la zona de eventos...	138
Figura F30. Datos de simulación 30 de enero del 2013 en la zona auditorio	139
Figura G1. Temperatura operativa zona de eventos 9 de mayo del 2013	141
Figura G2. Humedad relativa zona de eventos 9 de mayo del 2013	142
Figura G3. Temperatura operativa zona de eventos 10 de mayo del 2013	142
Figura G4. Humedad relativa zona de eventos 10 de mayo del 2013	143
Figura G5. Caso más desfavorable en resultados de iluminación 9 de mayo del 2013 en la zona de eventos	146
Figura G6. Error caso más desfavorable en resultados de iluminación 9 de mayo del 2013 en la zona de eventos	146
Figura G7. Caso más favorable en resultados de iluminación 9 de mayo del 2013 en la zona de eventos	147
Figura G8. Error caso más favorable en resultados de iluminación 9 de mayo del 2013 en la zona de eventos	148
Figura G9. Caso más desfavorable en resultados de iluminación 10 de mayo del 2013 en la zona de eventos	150
Figura G10. Error caso más desfavorable en resultados de iluminación 10 de mayo del 2013 en la zona de eventos	151
Figura G11. Caso más favorable en resultados de iluminación 10 de mayo del 2013 en la zona de eventos	151
Figura G12. Error caso más favorable en resultados de iluminación 10 de mayo del 2013 en la zona de eventos	152

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A MEDICIONES DE VARIABLES ASOCIADAS AL CONFORT VISUAL Y TÉRMICO	100
ANEXO B GOOGLE SKETCHUP	10404
ANEXO C PLUGIN OPENSTUDIO	1077
ANEXO D DVIEW	1122
ANEXO E SOLEA-2	1155
ANEXO F DIALux	1188
ANEXO G RESULTADOS COMPLEMENTARIOS	1400

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN DE LA PLATAFORMA ENERGY-PLUS COMO HERRAMIENTA PARA EL ANÁLISIS EN UN ENTORNO TROPICAL: CASO BUCARAMANGA.*

AUTORES: JAVIER MAURICIO JIMÉNEZ JÁCOME
CARLOS FERNANDO RODRÍGUEZ CELIS**

PALABRAS CLAVE: Herramientas computacionales, corrientes de aire, iluminación del sol, software de licencia gratuita, *Energy-Plus*, diseño arquitectónico, confort térmico y lumínico

DESCRIPCIÓN:

El uso racional de la energía es vital para el ahorro energético en edificaciones, teniendo en cuenta que el manejo desmedido de aparatos electrónicos tales como aires acondicionados, calefactores, iluminación artificial, entre otros, generan un alto consumo energético. Al hacer uso de la tecnología, principalmente de herramientas computacionales, permiten mejorar los diseños de las edificaciones, buscando un ahorro energético y un mayor aprovechamiento de los recursos naturales locales como lo son las corrientes de aire e iluminación del sol.

En este trabajo de grado se plantea una evaluación del software de licencia gratuita Energy-Plus, a través de la comparación de mediciones reales tomadas en el edificio la "Casona la Perla" y los resultados obtenidos a partir de la simulación en este software, contemplando el diseño arquitectónico de la edificación para determinar parámetros de temperatura, humedad e iluminación y de esta manera buscar estrategias en el confort térmico y lumínico, las cuales disminuyen el uso de aparatos electrónicos y por ende un ahorro energético.

Este estudio recomienda el uso del software Energy-Plus en las etapas de diseño de edificaciones, teniendo en cuenta que su evaluación da como resultado, que los análisis realizados a través de este software proporcionan una visión adecuada del comportamiento térmico y de la humedad relativa del lugar, no obstante presenta un análisis lumínico deficiente el cual no permite observar el comportamiento de la iluminación en las áreas diseñadas.

* Proyecto de grado

** Facultad de ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, Director: MSc. Germán Alfonso Osma Pinto, Co-director: Dr. Gabriel Ordoñez Plata

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE PLATFORM ENERGY-PLUS HOW A TOOL FOR THE ANALYSIS IN A TROPICAL ENVIRONMENT: CASE BUCARAMANGA*

AUTHORS: JAVIER MAURICIO JIMÉNEZ JÁCOME
CARLOS FERNANDO RODRÍGUEZ CELIS**

KEYWORDS: Computing tools, air currents, light of the sun, freeware software, Energy-Plus, design of buildings, thermal and lighting comfort.

DESCRIPCION:

Rational use of energy is vital for energy savings in buildings, taking into account that excessive handling of electronic devices such as air conditioners, heaters, artificial lighting, among others, generate high energy consumption. By using technology, mainly of computing tools, these can improve the designs of the buildings, looking for energy savings and better use of local natural resources such as air currents and light of the sun.

This paper arises an assessment from freeware software Energy-Plus, through the comparison of actual measurements taken at the building "Casona la Perla" and the results obtained from the simulation in this software, looking at the architectural design of the building to determine parameters of temperature, humidity and lighting and so find strategies on thermal comfort and lighting, which reduce the use of electronic devices and thus save energy.

This study recommends the use of Energy-Plus software in the design stages of buildings, considering that its evaluation gives as result, that the realized analysis through this software provides an adequate view of the thermal behavior and the relative humidity of the place, however presents a poor lighting analysis which does not allow to observe the behavior of the lighting in the designated areas.

* Project of grade

** Physicomechanical Faculty of engineering, School of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunications, Manager: MSc. Germán Osma Alfonso Pinto, Co-director: Dr. Gabriel Ordoñez Silver

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población y la demanda de energía eléctrica han producido fuertes impactos globales que propiciaron el desarrollo de técnicas –de tipo ambiental- dando inicio a un proceso de asimilación. [1]

Por esto, la Universidad Industrial de Santander dentro de sus procesos misionales y de extensión, promueve la aplicación de temáticas –como el uso racional y eficiente de la energía dando avances en el aprendizaje de estrategias y herramientas- que permitan generar un impacto benéfico a nivel social.

La E3T¹ en su visión promueve el crecimiento personal, científico, tecnológico y profesional de su comunidad; conforma grupos de investigación que aportan al país innovación, investigación y desarrollo en el campo del uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

En este proceso de aprendizaje es preciso identificar conceptos y herramientas para entender el desarrollo de este documento. Por esta razón la estructura y el desarrollo de este trabajo se inicia con una breve introducción al tema a lo largo de todo el capítulo 1.

Posteriormente se realiza un análisis energético de una edificación existente dentro del campus principal de la Universidad Industrial de Santander, como lo es la Casona La Perla, en la cual es posible obtener con facilidad datos tanto de temperatura como de iluminación. Esto se hace a partir de la identificación de los factores de mayor influencia en un estudio de confort térmico y visual como lo es - principalmente- la arquitectura, los materiales de construcción, la ubicación geográfica, la orientación de la estructura, entre otros. Esto se detalla en el capítulo 2 del libro.

¹ Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones UIS

Seguido a la descripción de la edificación, se realiza un proceso de medición real de las variables asociadas al confort visual y térmico, determinando las zonas de medición y analizando los resultados de dichas medidas que se consignan en el capítulo 3.

Para el estudio de simulación se utilizó y evaluó la herramienta computacional *Energy-Plus*, la cual permite estudiar el confort térmico y lumínico de las edificaciones. Su análisis se desarrolla dentro del capítulo 4.

El capítulo 5 contiene un trabajo adicional con otra herramienta computacional, para ampliar el análisis respecto al confort visual, y allí se presentan las simulaciones y resultados.

Finalmente, se realiza un análisis comparativo entre la herramienta computacional y los datos de medición real para validar los resultados obtenidos. Todo esto está contenido en el capítulo 6.

Las directrices de este proyecto son enunciadas a continuación, donde se inicia con la formulación del planteamiento del problema, seguido de la justificación, los objetivos y se finaliza con el alcance.

1. DEFINICION DEL PROYECTO

1.1. Formulación/declaración del problema

El daño ambiental y el uso de recursos limitados para la generación de energía eléctrica muestran que es necesario realizar un cambio en la generación y aprovechamiento de la misma. Por esta razón, es importante buscar soluciones a corto, mediano y largo plazo, en donde –entre más rápido se actué- se podrá, probablemente, detener el proceso de degradación del planeta tierra.

En la búsqueda de una solución a corto plazo en donde algunos aspectos en el uso racional de energía eléctrica se puedan mejorar, se plantea observar el beneficio energético que se tendría al tener en cuenta la arquitectura de un lugar.

Este proyecto está dirigido a evaluar una herramienta computacional que sea de fácil acceso, es decir, de licencia gratuita y enfocada en el confort térmico y lumínico de edificaciones.

Mediante dicha evaluación, en un clima tropical caso Bucaramanga, se concluirá si el software es viable o no para determinar las condiciones de confort de un lugar. Esto con el fin de brindar un impulso al uso de la herramienta computacional en el área del diseño arquitectónico, donde el software permite conocer mediante la variación de pequeños detalles en la arquitectura, si hay mejoría o no en el confort del lugar y así reducir el uso de energía eléctrica.

1.2. Motivación y justificación

El crecimiento acelerado de la población mundial y por consiguiente de la demanda de energía eléctrica pone en evidencia la dificultad para satisfacer todas las necesidades energéticas de la sociedad y también sus costos asociados. Las proyecciones de los expertos [1] coinciden en afirmar que esta tendencia no

cambiará²; por lo cual, es indispensable optimizar el uso de la energía eléctrica en todos los proyectos en la que se encuentre involucrada.

Los avances en esta materia están concentrados en las sociedades desarrolladas, donde se ha generalizado el diseño y la construcción de edificaciones teniendo en cuenta el análisis de las condiciones bioclimáticas que lo afectan y su incidencia en el consumo de energía eléctrica. [2]

Por esta razón, en Colombia –específicamente en la ciudad de Bucaramanga- se pretende impulsar el uso de herramientas computacionales utilizadas para el análisis energético de edificaciones en pro de optimizar el recurso de la energía eléctrica con base en las condiciones climáticas propias del trópico, vinculando las tendencias actuales en esta área.

1.3. Objetivos

A partir de lo expuesto anteriormente se plantea una serie de objetivos a desarrollar en este proyecto.

1.3.1. Objetivo General

Determinar la viabilidad del uso de la plataforma *Energy-Plus* en el análisis energético de edificaciones, ubicados en un entorno tropical como Bucaramanga.

1.3.2. Objetivos Específicos

Se han planteado tres objetivos partiendo del objetivo general a manera más puntual y con base a ellos dar resultados.

- Realizar la descripción espacial, constructiva y climática de la edificación de la Casona La Perla.

² Basado en los documentos: CJN consultores. Consumo de energía y crecimiento económico. 2002;

HERAS CELEMÍN Ma. del Rosario. Conferencia. I Congreso de las Energías, Madrid, 25-10-2007 utilización eficiente de la energía en la edificación.

- Realizar el estudio energético del Edificio ‘La Perla’ a partir de la simulación en la plataforma *Energy-Plus*.
- Validar los resultados obtenidos de simulación a partir de mediciones del nivel de iluminación y temperatura del lugar.

1.4. Alcance

El desarrollo de este proyecto está orientado a evaluar la herramienta computacional *Energy-Plus* en cuanto a confort térmico y lumínico, de esta manera promover su uso para generar un ahorro de energía eléctrica partiendo del confort del lugar.

El análisis de estas condiciones (confort térmico y lumínico) permitirá optimizar el uso de las condiciones ambientales, como la iluminación natural y corrientes de aire, mediante el diseño arquitectónico del lugar. Para esto, se realizará el análisis de un caso cercano, Edificio Casona La Perla en el campus principal de la Universidad Industrial de Santander, donde se tomará lectura por medio de instrumentos de medición, y se registrarán dichos datos para una comparación y evaluación de la plataforma.

1.5. Metodología

Para dar cumplimiento a los objetivos de este proyecto se llevaron a cabo 6 etapas; a continuación se describe de manera general cada una de ellas:

a) Revisión de la información existente del software *Energy-Plus*

En la primera fase del estudio, se realizó una conceptualización del software a partir de información disponible en la web tal como el manual de usuario [3], artículos relacionados[4], informes y tesis de investigación[5][6] con el fin de comprender su funcionamiento, definir la metodología a utilizar e identificar los datos y herramientas requeridas para la simulación.

b) Caracterización del área de estudio

Para realizar la validación del software, la selección del área a estudiar se basó en atributos específicos de posición geográfica, accesibilidad y ausencia de equipos de climatización, lo cual hiciera factible la identificación de las variables que influyeran en el proceso de análisis y comparación.

A partir de la edificación seleccionada, La Casona La Perla, se procedió a caracterizarla según la ubicación geográfica identificando sus coordenadas (latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar), se realizó una descripción general del diseño arquitectónico, además se describió las características de los materiales de construcción en puertas, muros, techos y pisos con relación a su espesor, conductividad, densidad y calor específico; finalmente, para la caracterización climática, se seleccionaron algunas variables como la temperatura de bulbo seco y humedad relativa para conocer su comportamiento durante un periodo específico.

c) Selección de las zonas de trabajo y las variables de medición.

En esta etapa se definieron las zonas de trabajo del área de estudio, que permitieran un análisis efectivo en términos de las propiedades y funcionalidades del software *Energy-Plus*; la selección de las zonas se basó en la presencia de condiciones favorables de distribución y diseño para lograr una correcta medición.

Por otro lado, se seleccionaron las variables a medir en el área de estudio, éstas debían ser determinantes en el análisis energético, estar relacionadas con aspectos climáticos y poseer influencia en la arquitectura bioclimática, asimismo éstas debían permitir evaluar las características del software para dar cumplimiento al objetivo de este proyecto.

d) Medición de variables seleccionadas en el área de estudio

Para llevar a cabo las mediciones de las variables seleccionadas se establecieron procedimientos de medición in situ en cada una de las zonas en el área de estudio, utilizando instrumentos de medición se realizaron toma de datos en días y horas programados durante un periodo específico (este periodo está determinado por el permiso dado por ASEDUIS³ el dirige el funcionamiento de La Casona La Perla).

Para el análisis de los datos registrados y presentación de los resultados de medición, se construyeron tablas y gráficos de cada una de las zonas, lo cual permitió identificar tendencias, puntos críticos y comportamientos particulares en los diferentes días de medición; asimismo se identificaron diferencias de comportamientos entre las zonas de estudio.

e) Simulación de las variables seleccionadas a partir de *Energy-Plus*

Para llevar a cabo esta etapa, primero se elaboró el modelo tridimensional del área y zonas de estudio utilizando como herramienta el software de dibujo *Google SketchUp*, partiendo de la creación del modelo 2D se realiza la estructura de la edificación y se determina su orientación como elemento influyente en el comportamiento de las variables seleccionadas.

El siguiente paso es la entrada al software de los datos de la edificación según los parámetros seleccionados para el desarrollo del proyecto los cuales son: localización, periodo de simulación, materiales de construcción, y asignación de materiales. A partir de la información introducida el software simuló el comportamiento total de la edificación; por tanto, se debieron seleccionar las variables de salidas necesarias para el análisis.

Para analizar los resultados de la simulación de cada una de las zonas y de cada variable seleccionada se establecieron gráficas de comportamientos

³ Asociación de egresados Universidad Industrial de Santander

con las tendencias, puntos críticos, valores promedios y comportamientos particulares en cada una, finalmente se compararon los resultados entre zonas.

f) Comparación entre la simulación y mediciones realizadas

De acuerdo con los análisis realizados en el estudio, las mediciones in situ y la simulación por medio de *Energy-Plus*, se compararon estos resultados considerando las tendencias en cada una de las zonas y las coincidencias entre los análisis. Para finalmente concluir y evaluar la efectividad del software *Energy-Plus*.

1.6. Marco teórico

En esta sección se presentan algunos temas para favorecer la comprensión del trabajo realizado.

1.6.1. Arquitectura bioclimática

La arquitectura bioclimática aborda el diseño de edificaciones teniendo en cuenta las condiciones climáticas para favorecer la calidad del ambiente interior, y así, reducir el impacto ambiental que disminuye gracias al bajo consumo de energía. En general, el costo de construcción desde este enfoque, puede ser aún mayor que una arquitectura corriente –sin embargo- se puede compensar con el ahorro de energía durante su vida útil [7].

El concepto de diseño bioclimático se desarrolló como reacción al uso abusivo de la climatización artificial. Éste promueve un método de acondicionamiento ambiental basado en el análisis detallado de las condiciones micro-climáticas del lugar, contrastadas con las demandas biológicas de calidad humana para proponer técnicas de acondicionamiento ambiental pasivo adaptadas al entorno,

Esto con el fin de que permitan optimizar el aprovechamiento de los factores climáticos (temperatura, sol, viento, entre otros) cuando sean favorables, además de su modificación o protección cuando signifiquen un perjuicio eliminando o reduciendo la dependencia de equipos de climatización artificial [8].

La clave del éxito de un diseño bioclimático se fundamenta en un mayor esfuerzo del diseño formal, empezando por la planificación urbana ya que dichos esfuerzos son significativamente rentables al obtener el máximo beneficio ambiental con el mínimo costo material. Es necesario advertir que los impactos ambientales no corregidos inicialmente tendrán una difícil corrección posterior, lo cual implica elevados costos de inversión tanto en la ejecución material, como en el consumo energético durante toda la vida útil del edificio [8].

1.6.2. *Energy-Plus*: Herramienta computacional para la simulación energética de edificaciones

Energy-Plus es un programa de simulación energética de edificaciones desarrollado por el Departamento de Energía de Estados Unidos y está basado en dos software existentes: *BLAST* y *DOE-2*. Éstos son empleados en análisis de cargas en edificios y sistemas termodinámicos. Esta herramienta nace a partir de la necesidad de integrar el análisis energético desarrollado por los dos programas en los cuales está basado, ya que cada herramienta posee por separado funciones importantes: *BLAST* en lo que respecta a confort térmico y *DOE-2* a la parte de iluminación, mostradas en la Figura 1. Además, *Energy-Plus* permite modernizar el lenguaje de programación y simplifica, lo cual facilita una mejor y más completa experiencia de análisis [9].

Al hacer uso del programa debe realizarse un estudio previo sobre condiciones climáticas de la región y observar si estas condiciones son viables para el buen funcionamiento del software.

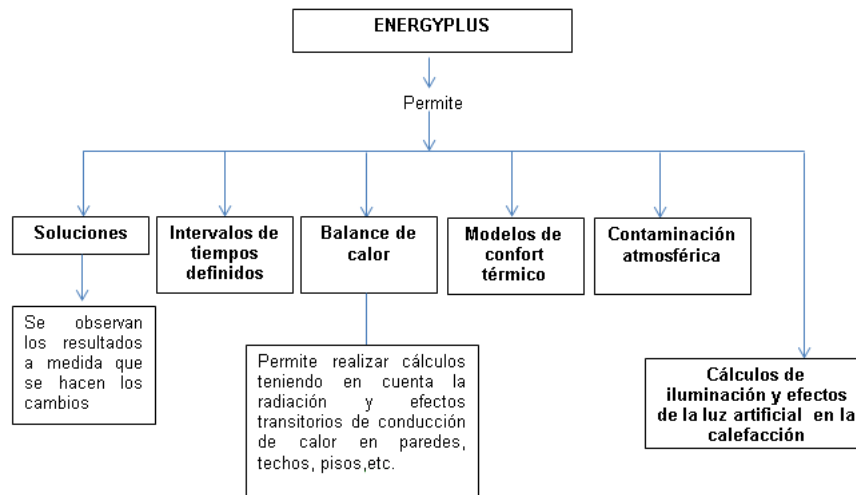


Figura 1. Funciones principales de Energy-Plus [10]

1.6.3. Características del software Energy-Plus

Las principales características del software *Energy-Plus* son: gestión de la estructura y simulación que permite hacer adiciones que mejoren su funcionamiento sin tener que entender grandes porciones del código para estas pequeñas modificaciones. La modularidad por su parte facilita la adición de características y enlaces a otros programas, permitiendo cambiar o actualizar una parte del programa sin tener que modificarlo en su totalidad. Los enlaces establecidos tienen como objetivo maximizar el número de desarrolladores individuales que pueden rápidamente integrar su trabajo a la herramienta, con una inversión mínima de recursos. Finalmente, la integración de cargas, los sistemas y las plantas, permiten impactar directamente sobre la respuesta térmica del edificio en vez de calcular primero todas las cargas.

2. DESCRIPCIÓN ESPACIAL, CONSTRUCTIVA Y CLIMÁTICA DE LA EDIFICACIÓN CASONA LA PERLA

Para el proceso de simulación en el software *Energy-Plus* se escogieron ciertas características mínimas del área de trabajo donde se pudieran apreciar de manera directa las variables principales e influyentes (temperatura, humedad e iluminación) dentro de este análisis.

Dentro de los aspectos requeridos para seleccionar las áreas en las cuales se realizaron las mediciones se tuvieron en cuenta: la posición geográfica de la cual se dispusiera de un estudio del clima que permitiera la introducción de los parámetros climáticos en el software. En segunda instancia, la ausencia de instrumentos de climatización –tales como aires acondicionados o calefacción– importante para evitar la alteración de las mediciones en el lugar y, además, ésta debía ser una estructura sencilla y de fácil acceso.

Teniendo en cuenta el cumplimiento de los requisitos definidos, se escogió la edificación la Casona La Perla para la realización de este trabajo de grado.

2.1. Ubicación geográfica

La Casona La Perla es un edificio que se encuentra dentro de las instalaciones de la Universidad Industrial de Santander UIS. Está ubicada entre los edificios de Ingeniería Industrial y Bienestar Universitario, donde funcionan las instalaciones de la Asociación de Egresados de la UIS, ASEDUIS.

La ubicación⁴ de la Casona La Perla, tomada de la foto satelital Figura 2, se encuentra dada a una latitud: 7°08'30.71" respecto al norte, la longitud: 73°07'12.26" respecto al oeste y la altura sobre el nivel del mar de 989 m. Esta información es un insumo importante para llevar a cabo el análisis a través del software *Energy-Plus*.

⁴ Para la toma de estos datos se hizo uso del software gratuito llamado *Google Earth*, el cual presenta una imagen satelital de la zona y de sus respectivas coordenadas.



Figura 2. Vista satelital Casona la Perla 2/3/2011 según Google earth.

2.2. Diseño Arquitectónico

El diseño arquitectónico de la Casona La Perla tiene un estilo rústico en su construcción y posee algunas paredes con un ángulo entre ellas mayor de 90 grados. Además cuenta con tejas de barro cocido como capa superior del techo y posee internamente un techo en machimbre. Dentro de la edificación se encuentran amplios espacios al aire libre, como una zona descubierta central, así como grandes ventanas sin vidrio o persianas, lo que favorece la circulación de aire natural como se aprecia en la Figura 3.



Figura 3. Visualización interior edificación la Casona la Perla

En la Figura 4 se observa las distancias perimetrales y la distribución de las diferentes zonas de la edificación.

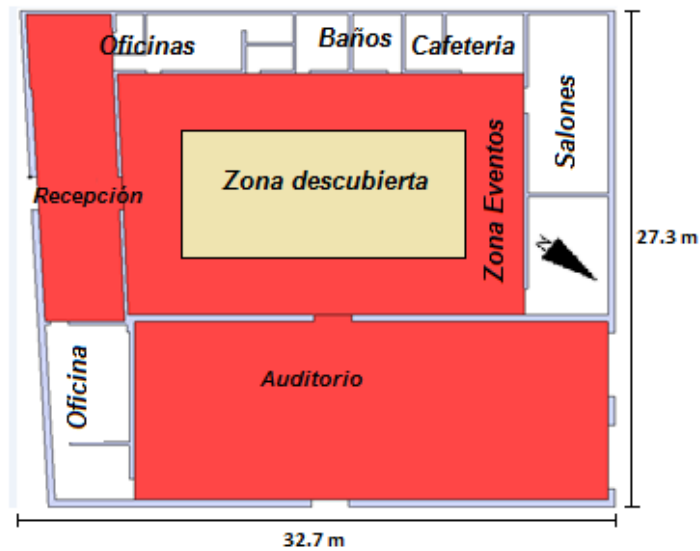


Figura 4. Zonas del edificio la Casona la Perla

2.3. Materiales de construcción

La Casona La Perla está construida con ciertos materiales que son poco usados en la actualidad, como son la tapia pisada, la cual es usada para la elaboración de muros tanto externos como internos. A continuación en la Tabla 1, se presentan los materiales predominantes de esta edificación, así como las

características mínimas requeridas por el software *Energy-Plus* para realizar los procesos de análisis y simulación.

Tabla 1. Características de los materiales de la Casona la Perla

	PUERTAS	MUROS	TECHO		PISOS	
Material	Madera	Tapia Pisada	Tejas de Barro	Madera	Baldosa	Jardín central
Espesor [m]	0,05	0,3	0,03	0,05	0,05	0,09
Conductividad [W/m-K]	0,13	0,34	0,1	0,13	0,8	0,8
Densidad [kg/m ³]	900	1 600	500	900	2 000	1 540
Calor Especifico [J/kg-K]	1 760	1 840	1 000	1 760	800	1 000

2.4. Datos del clima

Los datos del clima fueron obtenidos a partir de un estudio previo por parte de la E3T⁵ en el área donde se ubican sus instalaciones. En la parte exterior a una altura de 16 m sobre el nivel del suelo, y debido a la cercanía a la Casona La Perla, se toman como el clima aproximado de esta edificación.

Los datos climáticos proporcionados se encuentran de manera digital en formato CSV⁶, que son un tipo de documento en formato abierto sencillo para representar datos en forma de tabla. Además los datos se encuentran en formato .WEA utilizado en el software ECOTECH.

Para el análisis en *Energy-Plus* se deberán trabajar los datos climáticos en el formato digital .EPW, el cual se obtendrá a partir del archivo .WEA mediante la herramienta *Weather Statistics and Conversions*, que se encuentra incluida en el software *Energy-Plus*.

Dentro de las variables suministradas en el archivo climático se encuentran, la temperatura de bulbo seco, la humedad relativa, la velocidad del viento, la iluminación normal directa, la iluminación horizontal difusa, entre otras.

⁵ Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

⁶ Del ingles comma-separated values

La Figura 5 muestra el comportamiento de la temperatura de bulbo seco o temperatura normal del ambiente en el mes de enero, donde se observa una temperatura máxima cercana a los 29 °C y una temperatura mínima de aproximadamente 18°C.

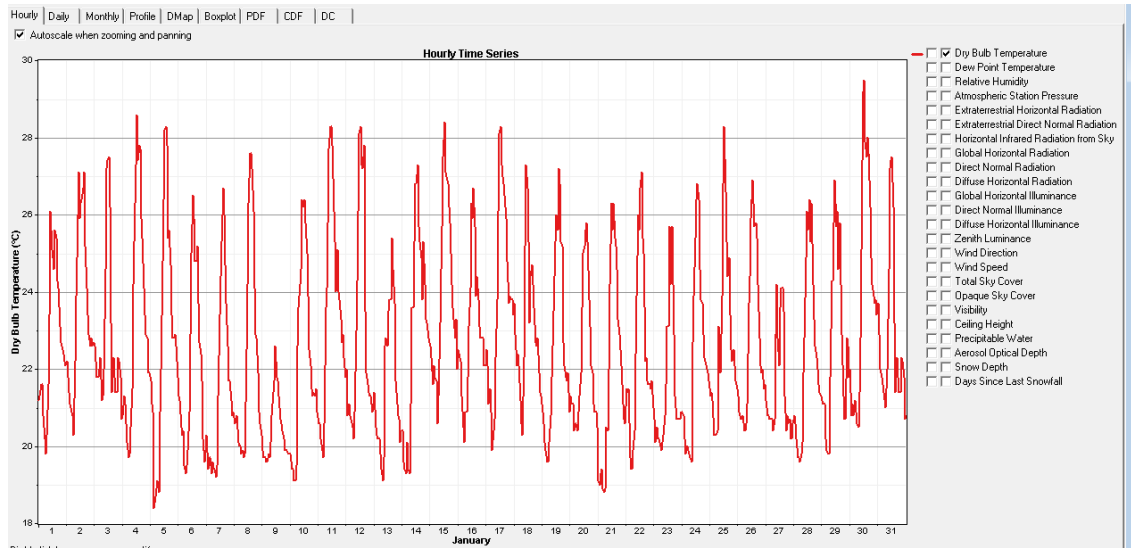


Figura 5. Temperatura de bulbo seco en el exterior (Enero) a partir de DView

En la Figura 6 se muestra la temperatura del ambiente promedio de cada hora en cada mes del año, con lo que se puede observar que la temperatura se comporta de manera similar durante todo el año.

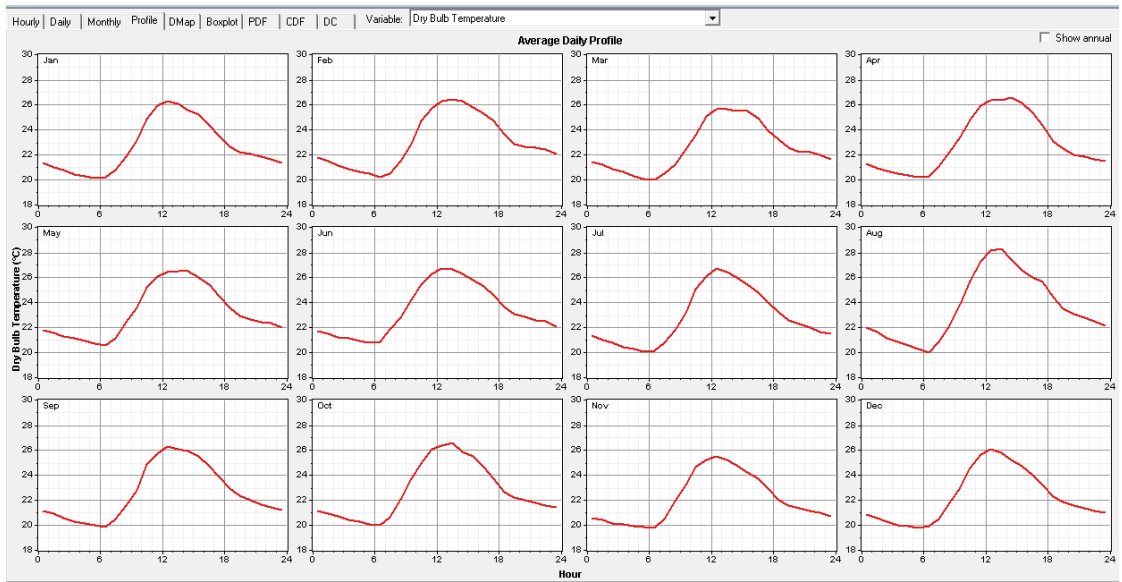


Figura 6. Temperatura de Bulbo seco en el exterior (mensual) a partir de DView.

En la Figura 7 se observa el porcentaje de humedad relativa en el ambiente registrado por el medidor durante todo el año. Allí se muestra el comportamiento a través de las horas del día y su promedio mensual.

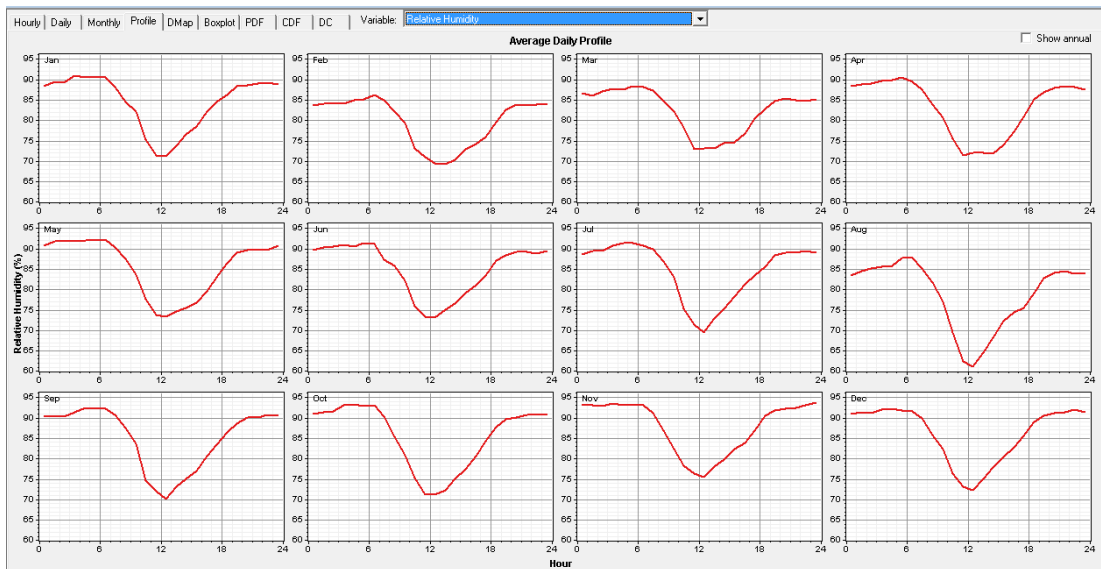


Figura 7. Humedad relativa mensual

El porcentaje de humedad relativa durante el transcurso del año oscila entre un 60% a 90% siendo Agosto el mes que presenta el mayor porcentaje de humedad.

3. MEDICIONES DE VARIABLES ASOCIADAS AL CONFORT VISUAL Y TÉRMICO

En este capítulo se presenta las mediciones realizadas de las variables iluminación, temperatura y humedad, así como los resultados obtenidos de cada una en las zonas de medición seleccionadas de la Casona la Perla.

3.1. Variables de medición

Para la evaluación del software se seleccionaron las variables de iluminación, temperatura y humedad, debido a que éstas poseen un impacto significativo en un análisis energético, presentan factibilidad de medición, impacto en el confort, están directamente relacionadas con los aspectos climáticos y tienen influencia en la arquitectura bioclimática. Asimismo, estas variables permitirán determinar fortalezas y debilidades en la utilización del software. En el anexo A se describen detalladamente cada una de ellas.

3.2. Zonas de medición

Para realizar el trabajo de campo, se requerían espacios en los cuales se logrará medir efectivamente las variables previamente seleccionadas, asegurando la ausencia de elementos que generaran alteraciones en la medición. Por tanto, para la elección de las zonas de medición se definió que se deben cumplir con los siguientes criterios:

- Ausencia de alteraciones de las condiciones ambientales naturales: La zona debe estar libre de equipos electrónicos como computadores e impresoras y equipos de climatización como aire acondicionado y ventiladores que inciden en la toma de datos.
- Accesibilidad: Las zonas deben contar con la autorización de la administración del lugar para realizar las actividades propias de la medición.

- Influencia directa de elementos naturales: Se requiere que las condiciones ambientales de la zona esté siendo influenciada por el sol, la lluvia y el viento.

La lista de chequeo presentada en la tabla 2, evidencia el cumplimiento (v) o incumplimiento (X) de los criterios evaluados en cada una de las zonas de la Casona la Perla. A partir de esta, las zonas seleccionadas son aquellas que cumplen en totalidad con los criterios establecidos como la *Zona de eventos*, *Zona de auditorio* y la *Zona descubierta*. Sin embargo la zona descubierta se excluye, debido a que es una zona al aire libre expuesta directamente a la luz solar, lo cual impedirá el buen funcionamiento del medidor.

Tabla 2. Evaluación de los criterios de selección en las zonas o áreas de la Casona la Perla.

Zonas o áreas de la edificación Casona la Perla.	CRITERIOS DE SELECCIÓN			
	Ausencia de alteraciones de las condiciones ambientales naturales		Accesibilidad a la zona o área	Influencia directa de elementos naturales
	Equipos electrónicos	Equipos de climatización		
1.Oficinas	X	X	X	✓
2.Recepción	✓	X	✓	✓
3.Eventos	✓	✓	✓	✓
4.Salones	X	X	X	✓
5.Descubierta	✓	✓	✓	✓
6.Auditorio	✓	✓	✓	✓
7.Cafetería	X	✓	✓	✓
8.Baños	✓	✓	X	X

✓	Cumple con el criterio establecido
X	No cumple con el criterio establecido

3.3. Medición de las variables en las zonas seleccionadas

Teniendo en cuenta las variables seleccionadas, a continuación se describen los procedimientos realizados y los resultados obtenidos de las mediciones en la zona *de eventos* y *zona auditorio*.

3.3.1. Medición de iluminación

En la zona de eventos se tomaron mediciones en 13 puntos -midiendo de un punto a otro, no todas las mediciones al tiempo-, ilustrados en el numeral a), los cuales se seleccionaron de esta forma para que se abarcara todo el espacio de la parte cubierta, que tuvieran una distancia similar de un punto a otro y buscando facilidad en la toma de datos. Estas mediciones se hicieron cada hora, partiendo a las 9:30 a.m. hasta las 4:30 p.m. con pausa en la medición de 12 p.m. a 2 p.m., esto debido a restricciones de acceso a la Casona La Perla.

En la zona auditorio se tomaron mediciones en 12 puntos –midiendo de un punto a otro, no todas las mediciones al tiempo-, ilustrados en el numeral b), buscando una distancia similar entre puntos y que se abarque la totalidad del espacio alrededor del auditorio, ya que en la parte central el acceso de luz natural es mínimo. Estas medidas fueron tomadas en el mismo horario de la zona de eventos.

En total se tomaron por cada punto de medición 6 medidas por día: 9:30 a.m., 10:30 a.m., 11:30 a.m., 2:30 p.m., 3:30 p.m. y 4:30 p.m.

Las mediciones se realizaron con un luxómetro, a una altura de 0,85 m [11] en los días y horas de estipulados.

Se presentan los resultados obtenidos en el proceso de medición indicando los datos en cada una de las zonas y en cada una de las fechas de realización de este proceso.

a.) Zona de eventos

Los 13 puntos seleccionados en la zona de eventos se presentan en la Figura 8, el espacio vacío entre los puntos, es la zona descubierta mencionada anteriormente.

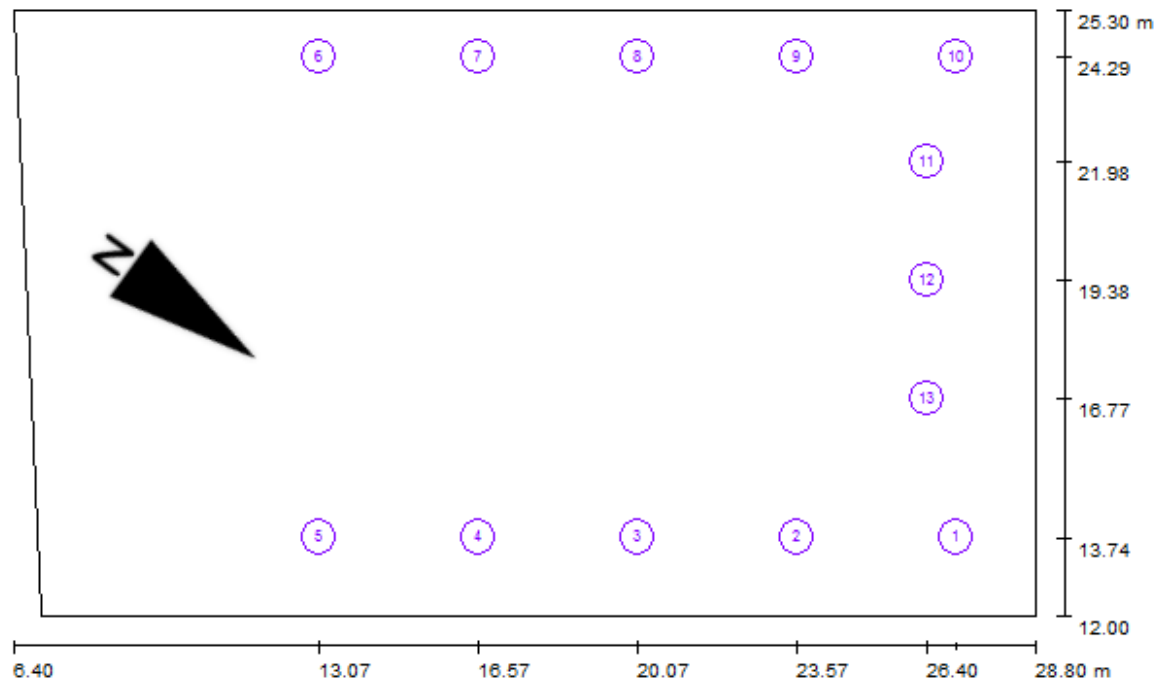


Figura 8. Puntos de medición de la zona de eventos

En el anexo E se realiza un análisis de la relación entre los puntos de medición y la orientación del sol por medio de Solea-2, el cual aporta una expectativa de resultados en las mediciones.

- Resultados de la medición el día 29 de enero de 2013

Los resultados de medición de iluminación en la zona de eventos el día 29 de enero de 2013, son presentados en la Tabla 3.

Tabla 3. Medición 29 de enero del 2013 de la zona de eventos, unidades lx

Punto \ Hora	9:30 a.m.	10:30 a.m.	11:30 a.m.	2:30 p.m.	3:30 p.m.	4:30 p.m.
1	278	300	413	213	171,1	154,9
2	530	592	553	565	668	1 074
3	807	868	1 075	1 176	1 548	2 230
4	675	688	1 019	1 073	919	819
5	490	487	691	679	751	1 032
6	1 200	1 102	1 577	783	920	816

7	1 874	1 972	1 954	1 056	1 027	1 045
8	1 700	2310	1 856	1 241	1 393	1 209
9	1 457	1420	1 195	696	825	476
10	726	600	338	152	224	126
11	2 064	2 350	1 538	831	766	588
12	4 250	4 860	3 470	1 748	1 407	1 011
13	2 370	4 070	2 360	1 449	1 050	851

Se aprecia que a pesar de la cercanía entre los puntos, los niveles de iluminación varían, lo cual será de ayuda a la hora de la evaluación.

A continuación, en la Figura 9, se observa el comportamiento del nivel de iluminación a las diferentes horas del día. En las horas de la mañana (curvas color rojo, verde y violeta) se aprecia que el nivel de iluminación es mayor que en horas de la tarde para los puntos del 6 al 10 (puntos que reciben luz solar directa desde el nororiente) y puntos del 11 al 13 (puntos que reciben luz solar directa desde el suroriente), lo cual es acorde a lo que se espera ya que el sol parte del oriente hacia occidente. Por otra parte los puntos 1 al 5 (puntos que reciben luz solar directa desde el suroccidente) presentan mayor iluminación en horas de la tarde que en horas de la mañana.

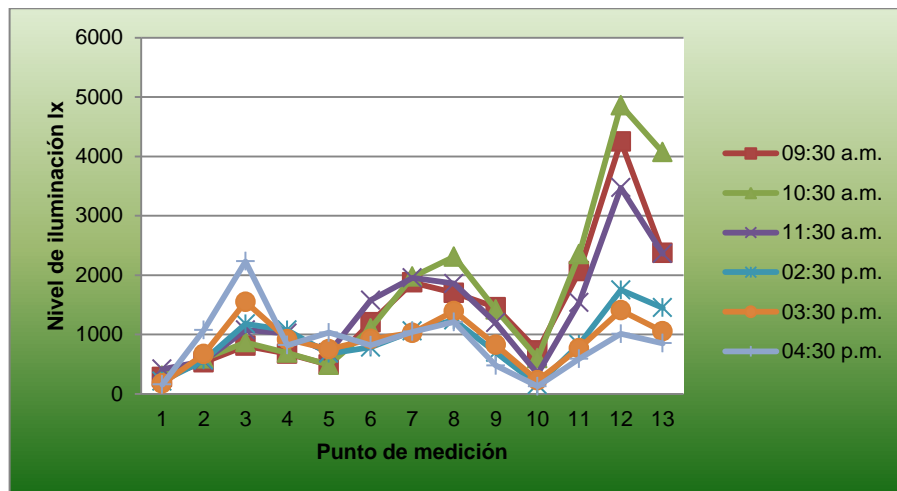


Figura 9. Medición 29 de enero del 2013 en la zona de eventos

- Resultados de la medición el día 30 de enero de 2013

Los resultados de medición de iluminación en la zona de eventos el día 30 de enero de 2013, son presentados en la Tabla 4.

Tabla 4. Medición 30 de enero del 2013 en la zona de eventos, unidades lx

Punto \ Hora	9:30 a.m.	10:30 a.m.	11:30 a.m.	2:30 p.m.	3:30 p.m.	4:30 p.m.
1	265	264	402	266	186	89,1
2	295	368	483	736	691	322
3	484	549	813	1247	1231	4390
4	470	484	710	1388	1041	1051
5	392	382	436	1172	1071	595
6	869	664	771	1045	801	520
7	1315	893	965	1035	1105	655
8	1385	1005	934	1225	1023	659
9	899	716	682	623	658	450
10	502	271	252	225	192,3	154,5
11	1814	1723	1081	884	627	361
12	3230	3210	2360	2100	1032	611
13	2370	2430	1920	1423	621	387

Se observa en la Figura 10 un comportamiento similar al del día anterior, exceptuando un pico de iluminación en el punto 3 en horas de la tarde, debido posiblemente a un rayo de luz directa que penetró los arboles desde suroccidente en esta hora.

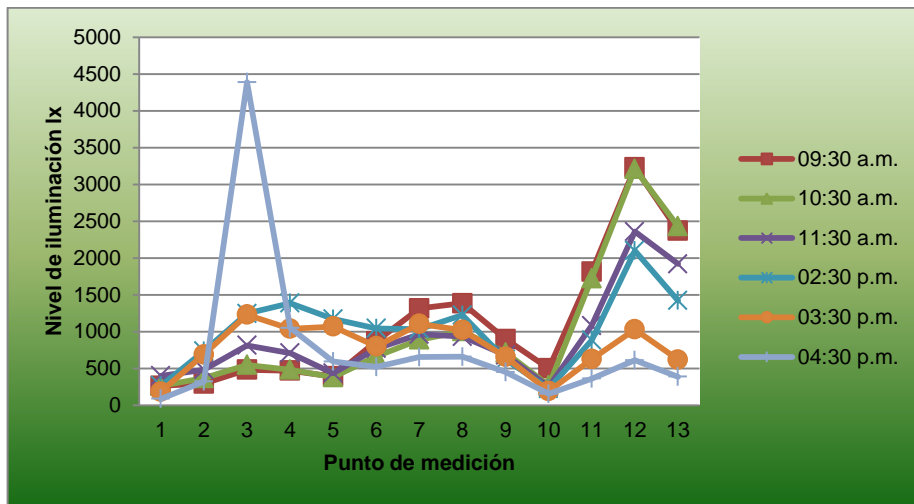


Figura 10. Medición 30 de enero del 2013 en la zona de eventos

b.) Zona auditorio

Los 12 puntos seleccionados en la zona auditorio se presentan en la Figura 11.

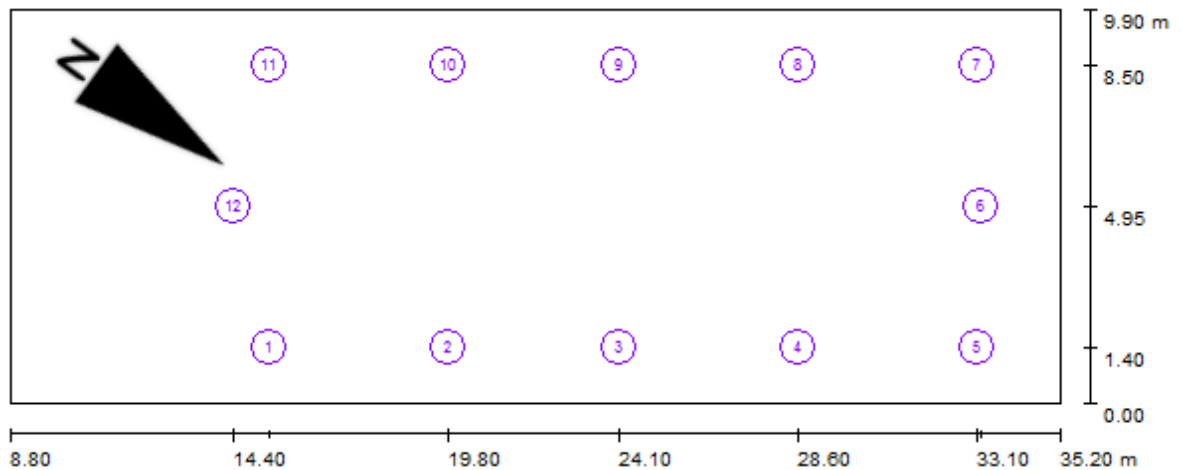


Figura 11. Puntos de medición en la zona auditorio

En el anexo E se realiza un análisis de la relación entre los puntos de medición y la orientación del sol por medio de Solea-2, el cual aporta una expectativa de resultados en las mediciones.

- Resultados de la medición el día 29 de enero de 2013

Los resultados de medición de iluminación en la zona auditorio el día 29 de enero de 2013, son presentados en la Tabla 5.

Tabla 5. Medición 29 de enero del 2013 en la zona auditorio, unidades lx

Punto \ Hora	9:30 a.m.	10:30 a.m.	11:30 a.m.	2:30 p.m.	3:30 p.m.	4:30 p.m.
1	320	338	323	242	200	145
2	400	425	471	310	298	275
3	231	260	391	230	235	170,5
4	164,2	177,8	265	181	183	114,4
5	100,3	110,2	140,4	84,5	145	62,5
6	71,1	72,2	138,7	73,1	100,1	52,5
7	97,9	107,1	140,4	124,4	185,5	82,4
8	48,3	50	72,6	66	73	30
9	62,3	70,7	99,3	70,3	129,9	63,9
10	71,6	80,5	102,5	85,2	155,1	62,2
11	55,9	54	76,6	51,8	56,3	48,4
12	28,5	32	45,1	23,7	30,2	17,9

A continuación, en la Figura 12, se observa el comportamiento del nivel de iluminación a las diferentes horas del día. El auditorio por ser una zona cubierta totalmente, solo presenta entradas de luz por puertas y ventanas, debido a esto se explica los bajos niveles de iluminación. Los puntos 1 al 4 son los que presentan mayor iluminación en comparación al resto de puntos, debido a que no presentan obstáculos en la parte exterior del auditorio, mientras los puntos 7 al 11, por ejemplo, en su parte exterior presentan la obstrucción de luz de la parte cubierta de la zona de eventos.

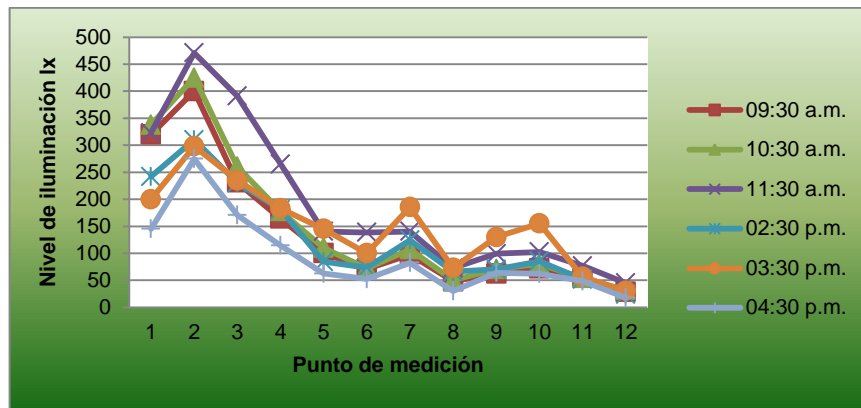


Figura 12. Medición 29 de enero del 2013 en la zona auditorio

- Resultados de la medición el día 30 de enero de 2013

Los resultados de medición de iluminación en la zona auditorio el día 30 de enero de 2013, son presentados en la Tabla 6.

Tabla 6. Medición 30 de enero del 2013 en la zona auditorio, unidades lx

Punto \ Hora	9:30 a.m.	10:30 a.m.	11:30 a.m.	2:30 p.m.	3:30 p.m.	4:30 p.m.
1	220	177	195	285	264	167,1
2	247	256	216	333	309	224
3	197	224	172,7	227	224	159,7
4	102,8	122	104,9	179,5	165,8	111,4
5	104	123	90	135,9	110,6	53,8
6	75,9	79,2	63,8	114,3	95	38,2
7	76,7	102,7	94,5	221	123,2	67
8	42,3	48,8	55,4	73,9	67,1	29,6
9	63	77,6	76,7	145,8	130	88,1
10	64,4	89,7	136,5	170,7	127	174
11	61,3	59,1	57	101,6	79,3	46,1
12	24,3	28,6	25,2	35,6	26,9	21,7

Se observa en la Figura 13 un comportamiento similar al del día anterior, aunque los niveles de iluminación fueron más bajos.

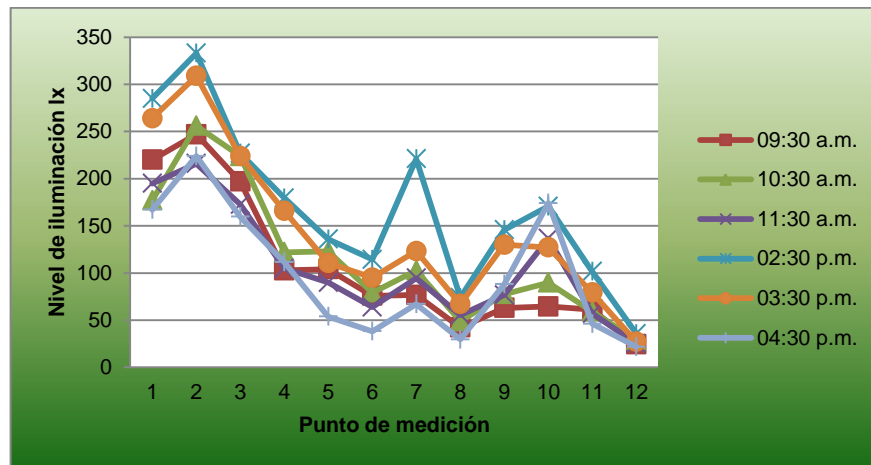


Figura 13. Medición 30 de enero del 2013 en la zona auditorio

3.3.2. Medición de temperatura y humedad

Las mediciones fueron realizadas en las zonas seleccionadas los días 28, 29 y 30 de enero de 2013, para dicho proceso se tomó la temperatura ambiente del centro del área a evaluar tomando la temperatura con una frecuencia de 1 hora a partir de las 8 de la mañana y terminando a las 6 de la tarde.

Debido a que el medidor no registra la medida de forma instantánea, el proceso de medición comprendió en ubicar, en el punto de la toma de datos, el instrumento unos 10 minutos antes del registro del valor

De manera experimental se determinó que en un tiempo de 10 minutos el medidor estabiliza su medida proporcionando un valor correcto de la temperatura ambiente en el área, además al realizar las mediciones en dos ubicaciones diferentes las medidas correspondientes en la zona del auditorio fueron tomadas 10 minutos después del registro de la zona de eventos.

Los datos registrados fueron tabulados y graficados para identificar de mejor manera las tendencias de temperatura y la humedad del lugar.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el proceso de medición indicando los datos en cada una de las zonas y en cada una de las fechas de realización de este proceso, además se resaltan las diferencias y tendencias de cada una de las zonas.

a.) Zona de eventos

Realizando el proceso descrito anteriormente en la zona de eventos se obtuvo la siguiente información:

En la Figura 14 se observa el comportamiento de la temperatura ambiente en la zona de eventos en los días 28, 29 y 30 de enero de 2013, además de la curva promedio del comportamiento de la temperatura en los tres días. Es importante resaltar la similitud de las curvas ya que estas inician en una temperatura cercana a los 25°C aumentando hasta un máximo de alrededor de los 31°C presentado a las 13:00 horas del día, además la disminución de la temperatura en los tres días inicia en el mismo punto alcanzando una temperatura final cercana a los 27°C.

Se observa que el cambio de la temperatura en una hora y en el mismo día no supera los 2°C. Además la temperatura de la zona en una hora determinada en los tres días de medición, no presenta una diferencia mayor a los 1,7°C.

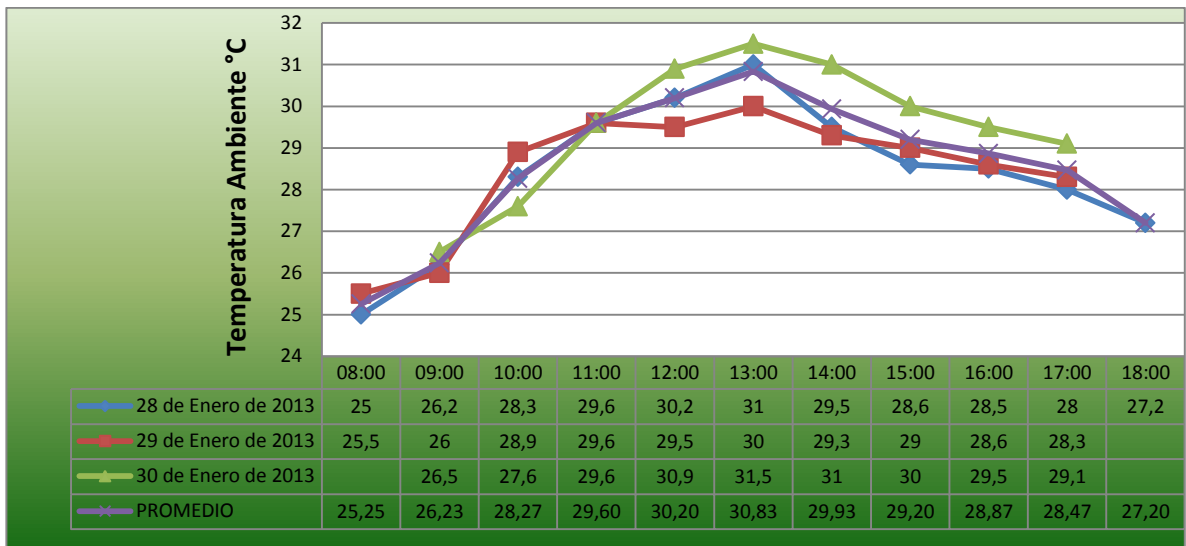


Figura 14. Temperatura en la zona de eventos

En la Figura 15 se observa el porcentaje de humedad relativa presentado a lo largo del día en el periodo de medición, el comportamiento de las curvas es muy similar para los tres días. Cabe resaltar que el porcentaje de humedad máximo es de 81% presentado a las 9:00 horas del día 28 de enero, este punto máximo de humedad se presenta en los tres días de medición así como el punto de porcentaje mínimo el cual se muestra cercano a las 13:00 del día.

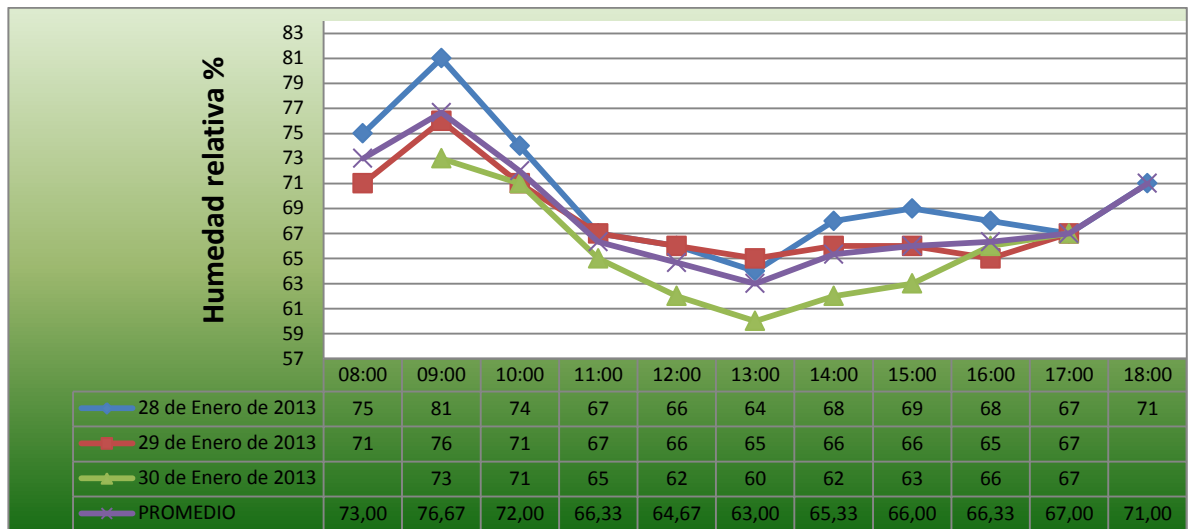


Figura 15. Humedad en la zona de eventos

b.) Zona auditorio

Realizando el proceso de medición en la zona denominada auditorio se observó y registró la siguiente información.

En la Figura 16 se observa el comportamiento de la temperatura ambiente en la zona de auditorio en los días 28, 29 y 30 de enero de 2013, además de la curva promedio del comportamiento de la temperatura en los tres días.

Es importante resaltar la similitud de las curvas exceptuando la presentada el día 30 de enero, la cual se observa se encuentra por encima de las demás, no obstante la tendencia térmica de la zona es similar a la presentada en los días anteriores.

La temperatura inicial se encuentra en un valor cercano a los 24°C aumentando hasta un máximo de alrededor de los 29°C presentado a las 13:00 horas del día, además la disminución de la temperatura en los tres días inicia en el mismo punto alcanzando una temperatura final cercana a los 27°C.

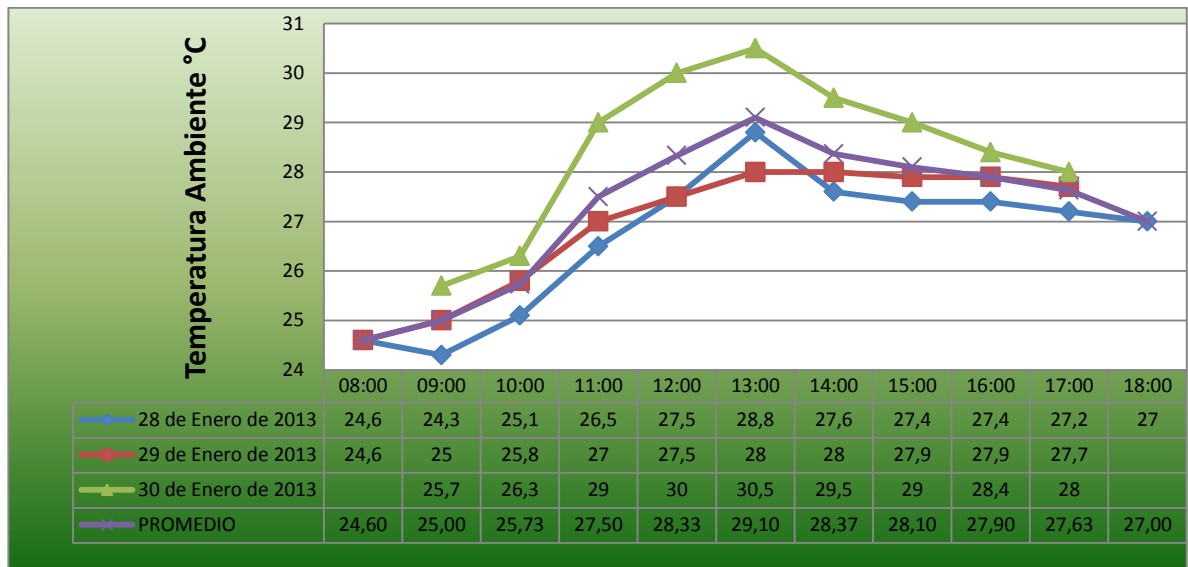


Figura 16. Temperatura en la zona auditorio

En la Figura 17 se observa el porcentaje de humedad relativa presentado a lo largo del día en el periodo de medición, el comportamiento de las curvas es muy similar para los tres días. Cabe resaltar que el porcentaje de humedad máximo es de 87% presentado a las 10:00 horas del día 28 de enero, y el mínimo de 63% presentado el día 30 de enero a las 12:00 horas.

La curva que muestra el comportamiento del 30 enero presenta un comportamiento diferente, mostrando un porcentaje de humedad menor a los días anteriores, lo cual coincide con la gráfica de temperatura de este mismo día el cual presenta mayores temperaturas respecto a los días anteriores.

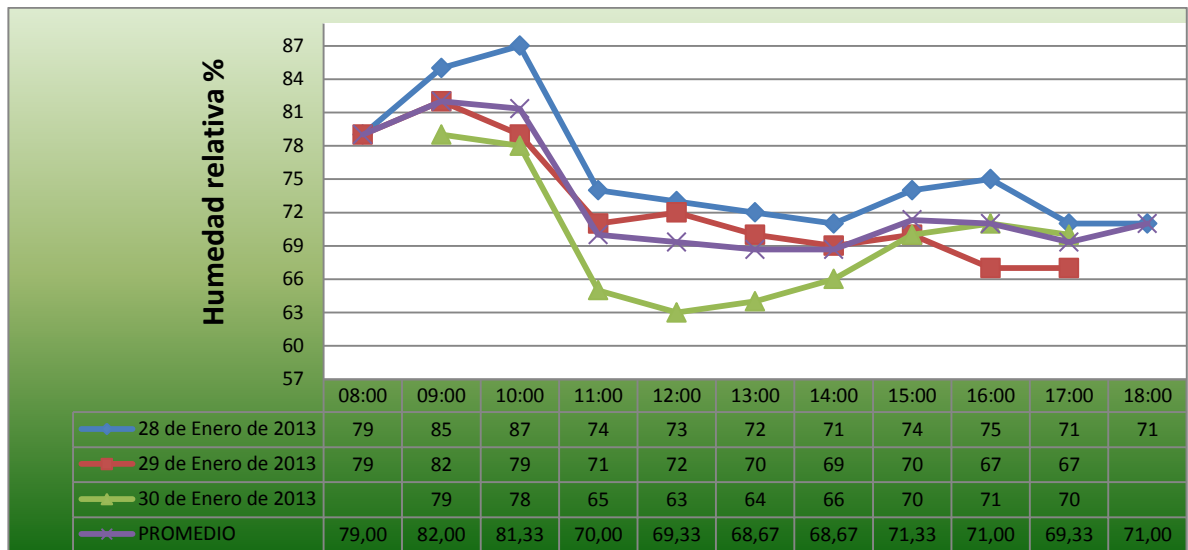


Figura 17. Humedad en la zona auditorio

3.4. Diferencias en las zonas de medición

A pesar de la cercanía de las zonas de análisis las mediciones realizadas muestran comportamientos muy diferentes en la variación de la temperatura así como de la sensación térmica en el área, es importante resaltar que dichas características son muy relevantes en la validación de los resultados obtenidos a partir de EnergyPlus ya que poder establecer una simulación con temperaturas similares o iguales a las del día de la medición se debe crear un nuevo archivo climático correspondiente a las temperaturas de los días 28, 29 y 30 de enero de 2013 lo que dificultaría el desarrollo del proyecto.

La Figura 18 muestra el comportamiento térmico promedio de las dos zonas de medición donde se observa que la zona de eventos presenta temperaturas más altas durante toda la jornada, no obstante cabe resaltar que esta diferencia térmica es más visible en las horas comprendidas entre las 8:00 y 13:00, esto indica que la zona denominada auditorio presenta una característica donde dificulta el aumento o disminución de la temperatura, es decir su comportamiento térmico es más estable.

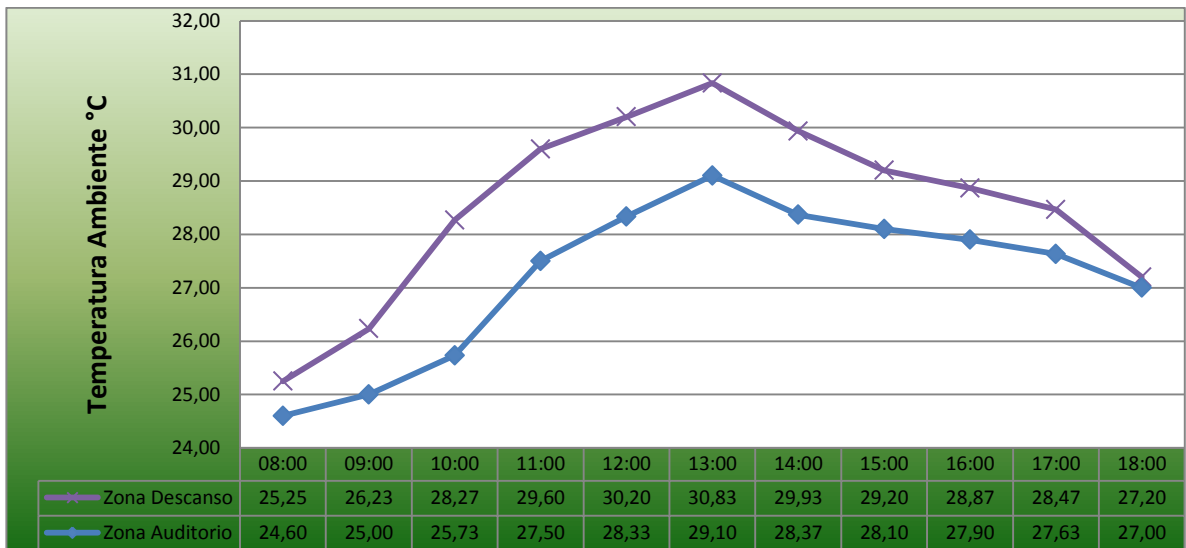


Figura 18. Diferencias de temperatura entre zonas

La Figura 19 muestra el porcentaje de humedad promedio de las zonas de medición, donde se observa que la zona de auditorio presenta mayor porcentaje de humedad durante toda la jornada, además cabe resaltar que el porcentaje de humedad se iguala a las 18:00 horas del día donde la temperatura de ambas zonas es muy similar.

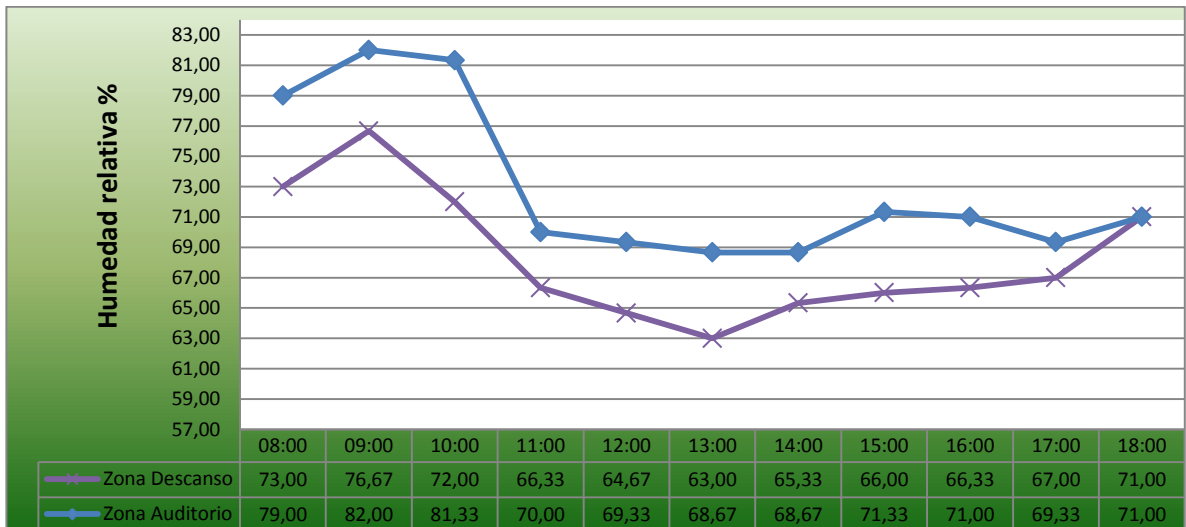


Figura 19. Diferencias de humedad entre zonas

4. ANALISIS ENERGÉTICO A PARTIR DE *ENERGY-PLUS*

El software *Energy-Plus* –como se ha mencionado anteriormente- permite realizar análisis energéticos de diferentes áreas a partir de la información climática del lugar y las características propias de la estructura a analizar. Siendo el análisis de esta herramienta el objetivo principal de este proyecto, se realizó la simulación de temperatura, humedad y luminosidad de La Casona la Perla a través de este software con lo cual se logra identificar los aspectos más importantes en la realización de un análisis de este tipo.

4.1. Descripción del proceso de modelado

La realización del análisis energético es un proceso que cuenta con varias etapas donde se deben describir cada uno de los aspectos influyentes, estas son las características de diseño y la descripción climática de la región, etapas que se especifican a continuación.

4.1.2. Diseño del modelo tridimensional de la Casona la Perla

Una de las limitaciones que presentaba el software *Energy-Plus* era su difícil y tediosa tarea de describir el diseño estructural de la edificación debido a que los parámetros se debían introducir a manera de coordenadas. Esto dificultaba la visualización de la estructura y complicaba la creación de un buen diseño, así como el proceso de simulación.

En la actualidad esta limitación ha sido superada gracias a la aparición del software de dibujo Google SketchUp 3D (ver anexo B) que junto al *plugin* OpenStudio (ver anexo C), permiten la creación de los diseños estructurales de manera gráfica, ágil y con un ambiente de trabajo mucho más amigable que mejora la realización de los modelos y por lo tanto permiten un análisis más completo.

La construcción del modelo 3D de La Casona la Perla fue realizado utilizando la herramienta de dibujo *Google SketchUp 3D*, que facilita este proceso. (Ver anexo B). Para el diseño se desarrollaron las siguientes fases:

- a) **Modelo 2D Casona la Perla:** en primer lugar se desarrolló el plano de planta donde se identifican las áreas de la edificación, así como la posición de las puertas y orientación de los muros externos e internos, como se observa en la Figura 20.

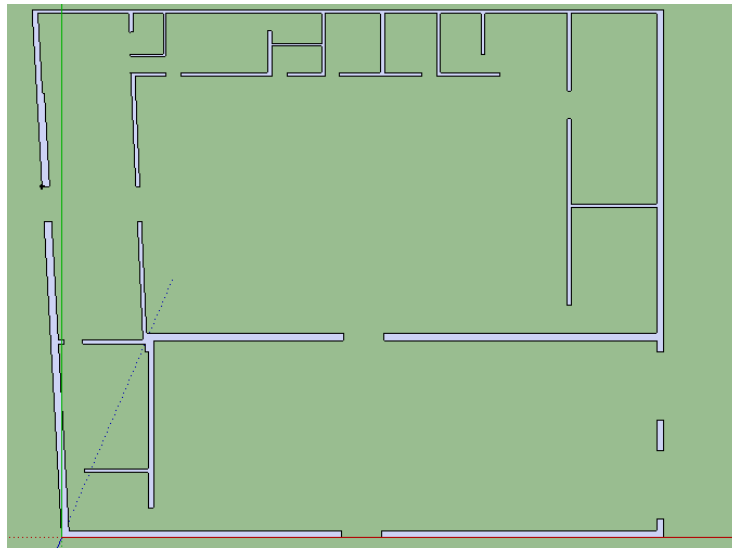


Figura 20. Vista 2D Casona la Perla

- b) **Modelo 3D Casona la Perla:** la realización del modelo tridimensional para el análisis con la herramienta *Energy-Plus* se realiza en primer lugar estableciendo las áreas de simulación. Dentro de éstas se crearán los muros o estructuras deseadas, las cuales serán las mismas que el software identifique para su proceso de análisis, es decir, los resultados obtenidos serán mostrados para cada área propuesta.

Utilizando las herramientas de *Google SketchUp 3D* se realiza el modelo de La Casona la Perla, obteniendo así el archivo de entrada al software *Energy-Plus*, el cual será objeto de análisis.

La Figura 21 muestra el modelo tridimensional de la edificación La Casona la Perla, así como las áreas usadas para la construcción de éste. Además resalta las zonas llamadas auditorio y eventos, zonas que son objeto de estudio del presente proyecto.

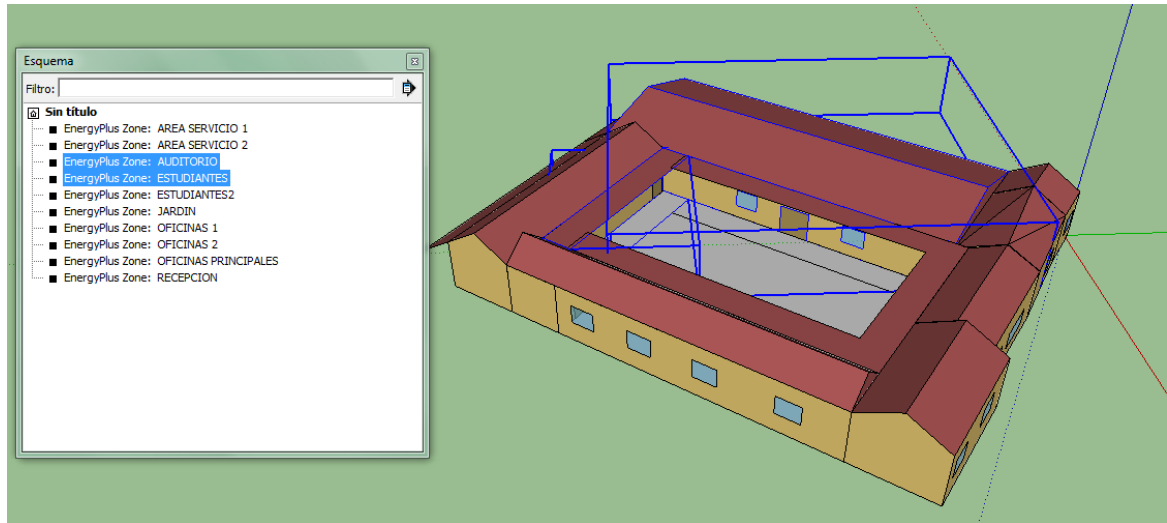


Figura 21. Modelo 3D Casona la Perla

c) Orientación de la estructura: Finalmente es importante determinar la orientación de la edificación debido a que ésta influye en la incidencia del Sol sobre la estructura, cambiando de manera drástica el comportamiento térmico y lumínico de las áreas.

La Figura 22 muestra la orientación que fue determinada utilizando una brújula que permitió observar la orientación de uno de los muros respecto a norte magnético, ubicando la dirección de La Casona la Perla. La medida observada por medio de la brújula para el muro exterior de la zona del auditorio, el cual fue tomado como referencia, fue de 36° respecto al norte.

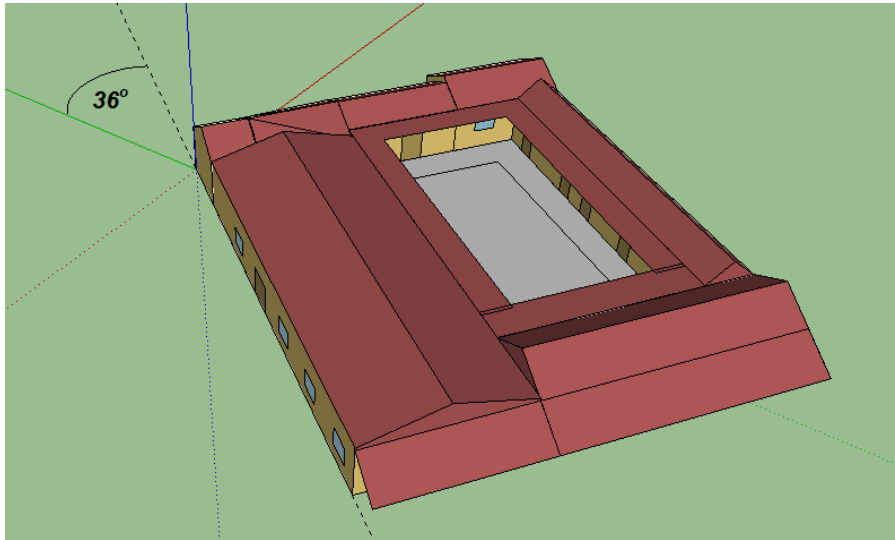


Figura 22. Orientación Casona la Perla

Teniendo en cuenta los ejes de referencia dados por Google SketchUp 3D, siendo el eje de color verde el norte, se ubicó el modelo realizado de tal manera que cumpliera con la condición de 36° respecto al norte, para así recrear de manera más exacta la representación de La Casona la Perla.

Al finalizar este proceso se obtuvo el archivo formato idf, extensión usada por el software *Energy-Plus* como el archivo de introducción del modelo de diseño.

4.1.3. Entrada de parámetros específicos

Una vez realizado el diseño de la estructura, se continúa con la entrada de los datos y características específicas de la edificación a analizar. Para esto se utiliza un componente del software *Energy-Plus*, que se encuentra en el directorio principal de este programa y es llamado EP-Launch, Figura 23.

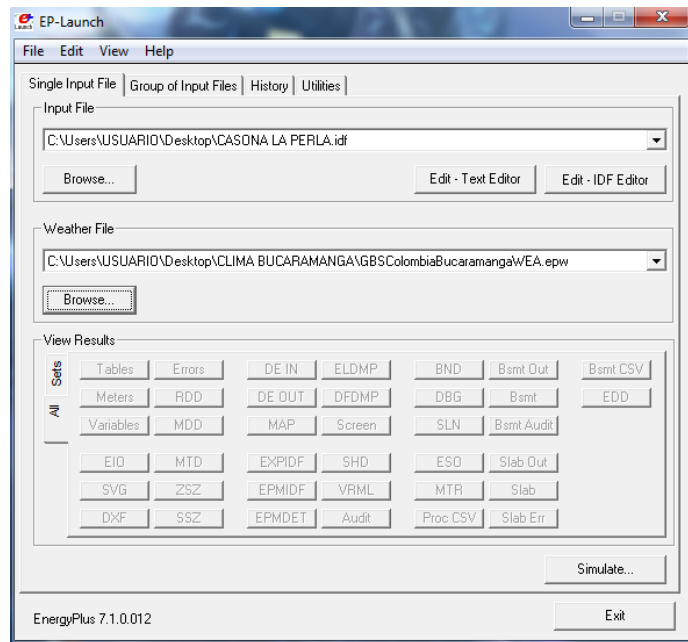


Figura 23. EP-Launch

El archivo de entrada y los archivos de tiempo meteorológicos pueden seleccionarse de manera individual en la opción Browser. Luego de seleccionar el archivo de entrada deseado se podrá modificar a través de la opción Edit-IDF Editor, que permite la entrada de diferentes aspectos característicos de la edificación.

A continuación se muestran algunos de los parámetros más destacados en la realización del presente proyecto:

- a) Localización:** para la correcta introducción de parámetros de ubicación se recurre a la información hallada anteriormente utilizando la información de coordenadas de latitud, longitud y elevación de la Casona la Perla. Estos datos –junto con la zona horaria de la región- comprenden la ubicación geográfica requerida por el software para el correcto desarrollo de las simulaciones.

La Figura 24 muestra la opción en la cual se deben incluir la información de localización requerida por *Energy-Plus*, así como los datos usados para la ubicación del edificio de estudio.

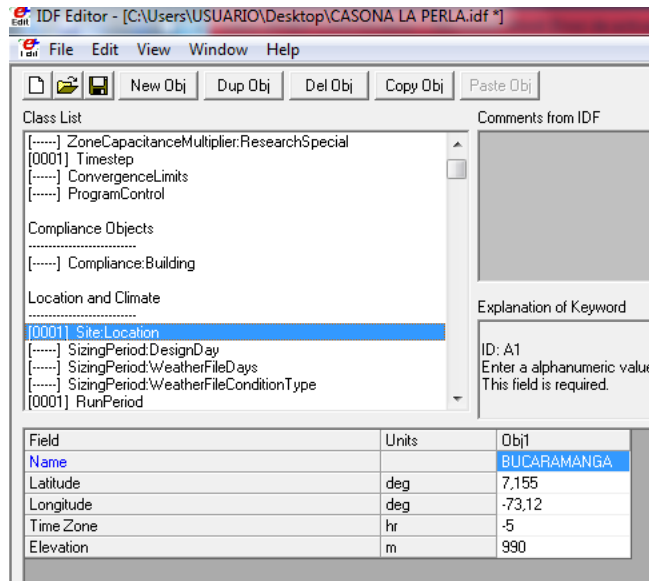


Figura 24. EP-Launch localización

- b) Periodo de simulación:** teniendo presente que el proceso de toma de datos se realizó en el mes de enero, el periodo a simular se estableció entre los días 1ro de enero y 1ro de febrero. Este parámetro se introduce en la opción RunPeriod del IDF Editor.
- c) Materiales de construcción:** tomando como referencia los materiales utilizados en la construcción de La Casona la Perla –identificados anteriormente- se introducen las características de los materiales para recrear de manera precisa el modelo de la edificación, así como el comportamiento de éstos bajo la influencia de la luz y el calor.

En la Figura 25 se observa la inclusión de 5 materiales principales en la construcción de La Casona la Perla, que serán de vital importancia, ya que

estos determinan el comportamiento de la edificación a los factores climáticos.

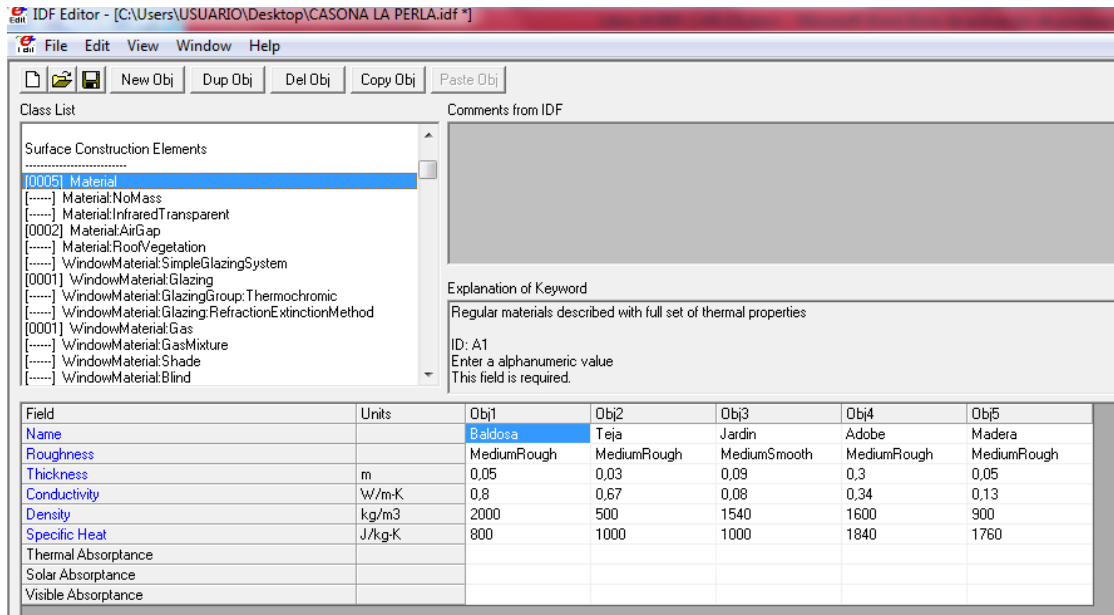


Figura 25. Materiales de construcción Energy-Plus

d) Asignación de materiales: así como una buena descripción de los materiales constituye una etapa fundamental, también es de gran importancia la correcta asignación de éstos a las áreas de trabajo. Esto determinará el comportamiento de las áreas de estudio, ya que están directamente ligadas a la respuesta térmica y lumínica del lugar, tal como se muestra en la figura Figura 26.

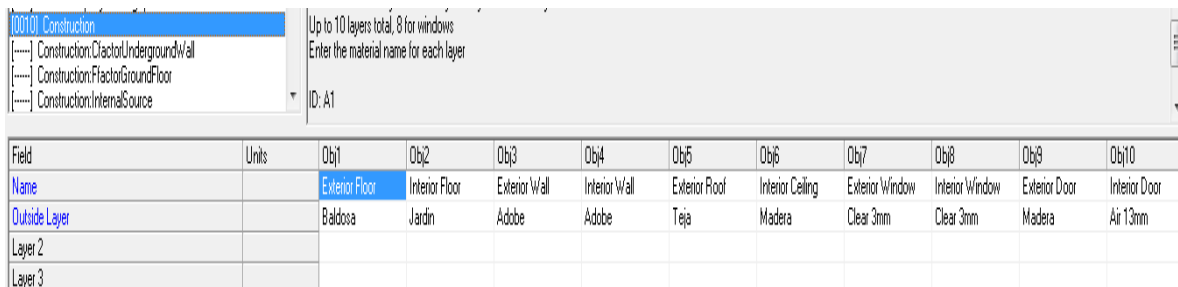


Figura 26. Asignación de materiales

La asignación de los materiales se realiza dando a cada tipo de componente el o los materiales que lo componen –completando así- la información constructiva requerida para el desarrollo del análisis energético.

4.2. Proceso de simulación

Una vez creado y configurado el archivo de entrada (a través del IDF Editor) y seleccionado el archivo climático (en formato EPW), se pulsa el botón *simulate* Figura 27 del EP-Launch para iniciar el proceso de simulación. El tiempo de este proceso está determinado por el rango o periodo a simular.

Una vez se ha terminado el proceso de simulación se mostrará una ventana con el reporte de errores y advertencias que se presentaron, luego se dará paso de nuevo a la ventana del EP-Launch, donde se seleccionarán las variables de salida requeridas.

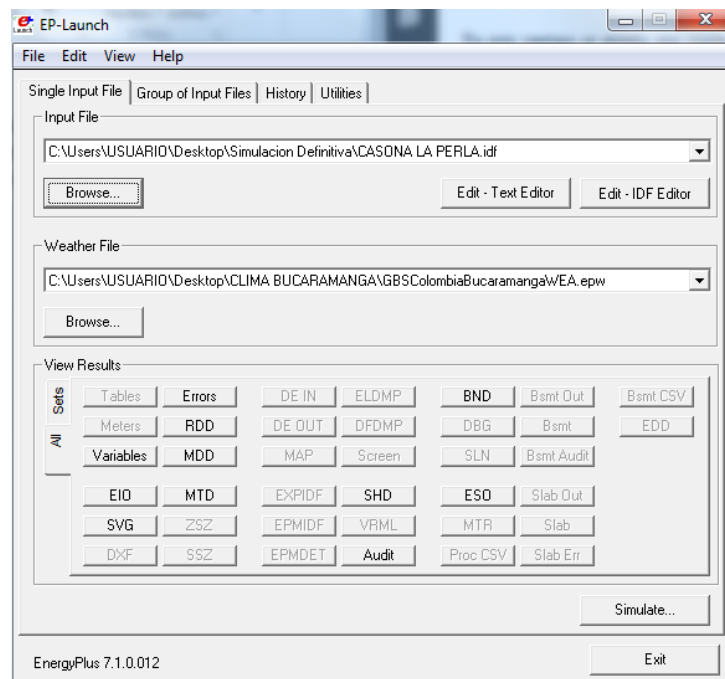


Figura 27. EP-Launch después de la simulación

Los archivos de salida más importantes son los siguientes:

- ESO: informe de las variables de salida.
- RDD: lista de las posibles salidas que puede observar con su simulación.
- MDD: lista de las posibles mediciones que observará en la simulación.
- ERR: listado de errores.
- BND: informe detallado del sistema HVAC y sus nodos de conexión.
- MTR: informe de las medidas de salida.
- SVG: diagrama HVAC.
- DXF: archivo de dibujo en formato AutoCAD DXF.
- CVS: archivo tipo Microsoft Excel.

Una vez terminada la simulación se puede observar la salida que se desee. Para visualizarla se selecciona el archivo RDD y se copia el nombre de la variable que se requiera en el archivo IDF en el text editor, (Figura 28).

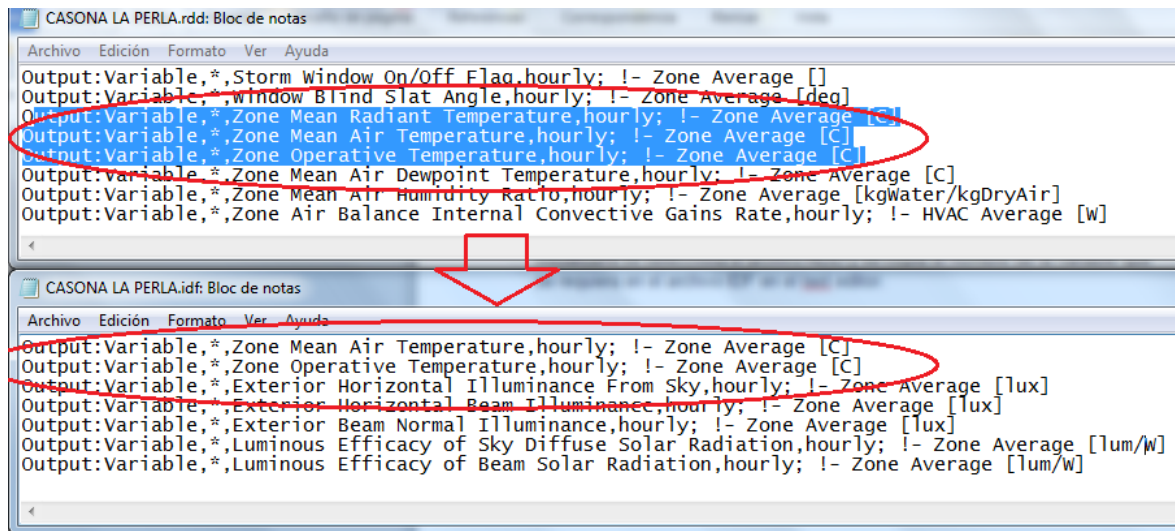


Figura 28. Selección de salidas de la simulación

Cuando ya se han seleccionado las variables de salida, se guardan los cambios realizados y se procede a pulsar el botón simulate del EP-Launch. Al finalizar este proceso se podrán observar los resultados de la simulación que se podrán observar de diferentes maneras. Una de ellas y la más sencilla, es a partir de un

archivo de Microsoft Excel, que encuentra en la carpeta en la cual se halla guardado el proyecto y tendrá una extensión CSV.

Los archivos CSV al presentar gran cantidad de datos se vuelven difíciles de entender o analizar. Por esto, se han creado programas o plugins que permiten visualizar estas salidas de una manera más eficaz y de forma detallada.

Para este proyecto se utilizó la herramienta Dview (ver anexo D), programa que muestra resultados en serie de tiempo con una gran variedad de formatos. Dview abre archivos de texto y archivos de Excel que contengan cualquier tipo de datos cada hora, y reconoce varios formatos de archivo –incluyendo los EPW- que son los *Energy Plus Weather File*, archivos meteorológicos propios de *Energy-Plus*.

4.3. Resultados de la simulación

Para este proyecto se seleccionaron las variables de salida de acuerdo a las variables de medición utilizadas; con esto se pretende corroborar y validar los resultados obtenidos a través de *Energy-Plus*.

Las variables de salidas seleccionadas son las siguientes:

- **Zona de temperatura media radiante, hora [C]:** Suma total de las temperaturas de las paredes, el suelo y el techo teniendo en cuenta el ángulo sólido que forman cada una de ellas desde el punto de medición.
- **Zona de temperatura media del aire, hora [C]:** Es la temperatura promedio del aire circundante dentro un área y se mide con un termómetro de bulbo seco.
- **Temperatura de la zona operativa, hora [C]:** Es una combinación de la temperatura media del aire y la temperatura media radiante, teniendo en cuenta la velocidad del aire.
- **Zona de humedad relativa del aire, hora [%]:** La humedad relativa de una masa de aire es la relación entre la cantidad de vapor de agua que

contiene y la que tendría si estuviera completamente saturada; así cuanto más se aproxima el valor de la humedad relativa al 100% más húmedo está.

- **Iluminancia Horizontal Exterior Del Cielo, hora [lux]:** Nivel de iluminación natural horizontal total determinado por las coordenadas de posicionamiento global.
- **Iluminancia exterior horizontal del haz, hora [lux]:** Nivel de iluminación natural horizontal de un área determinada teniendo en cuenta factores climáticos como nubosidad, velocidad del viento etc.
- **Iluminancia exterior normal del haz, hora [lux]:** Nivel de iluminación natural vertical de un área determinada teniendo en cuenta factores climáticos como nubosidad, velocidad del viento etc.

4.3.2. Resultados de la simulación en la zona de eventos

Los resultados obtenidos en el proceso de simulación muestran el valor promedio en el mes de enero para cada una de las salidas.

Como se observa en la Figura 29, los resultados obtenidos en la zona de eventos en las tres variables de temperatura seleccionadas, presentan un comportamiento muy similar y muestran la tendencia térmica de la zona durante las 24 horas del día.

La temperatura máxima observada en esta área se encuentra cerca de los 30°C – que se presenta alrededor de las 13 horas del día- y una temperatura mínima de 20°C evidenciada en gran parte de la noche.

El comportamiento de la temperatura presentado en la simulación está de acuerdo con lo esperado, ya que presenta un calentamiento constante en la jornada de la mañana. Durante la tarde se da un enfriamiento, que posteriormente, se estabiliza en las horas de la noche, siendo éstas las temperaturas más bajas registradas.

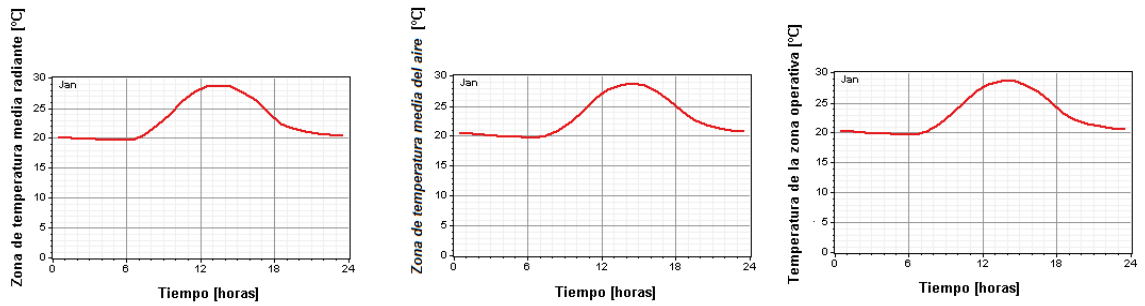


Figura 29. Resultados simulación zona de eventos [Temperatura]

En la Figura 30 se observa un mayor porcentaje de humedad en las horas comprendidas entre las 1 a.m. y las 6 a.m., donde tienen un valor cercano de 95% de humedad relativa del aire. Luego atraviesa un proceso de disminución hasta llegar a su valor mínimo, que es cercano al 60% dado alrededor de las 12 horas del día. La jornada termina con un comportamiento ascendente del porcentaje de humedad llegando cerca del 90% de humedad relativa en esta zona.

La variación de la humedad en la zona de eventos varía durante toda la jornada y se logra obtener una diferencia entre los puntos extremos del 40% de humedad, observando mayor porcentaje de éste en las horas de la noche.

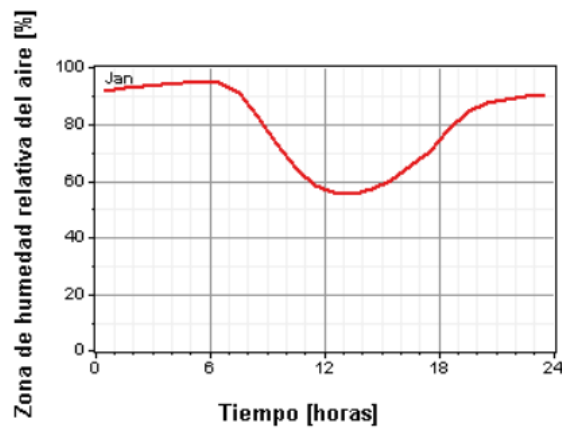


Figura 30. Resultado simulación zona de eventos [Humedad]

4.3.3. Resultados de la simulación zona auditorio

Los resultados presentados a continuación indican el comportamiento de las variables de salida del software *Energy-Plus* durante el mes de enero en las 24 horas del día.

En la Figura 31 se observa gran similitud en cada una de las gráficas, donde se registra una temperatura máxima cercana a los 28°C presentada pasadas las 12 horas; y una temperatura mínima de alrededor de 19°C durante la mayor parte de la noche. Asimismo se identifica que el cambio de tendencia de la temperatura comienza a las 6 a.m. hasta llegar a su punto máximo a la 1p.m. para iniciar el descenso térmico hasta estabilizarse cerca de las 6 p.m.

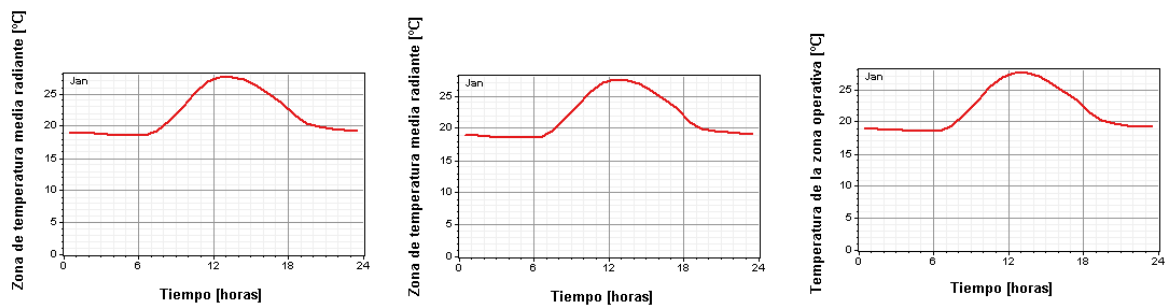


Figura 31. Resultados de la simulación zona auditorio [Temperatura]

En la Figura 32 se observa un máximo de humedad relativa del aire cercano al 95%, y un mínimo alrededor del 60%. Es decir, existe una diferencia del 35% de humedad entre puntos extremos presentados durante las 24 horas del día, además se puede decir que las horas que corresponden a la jornada nocturna presentan mayor porcentaje de humedad.

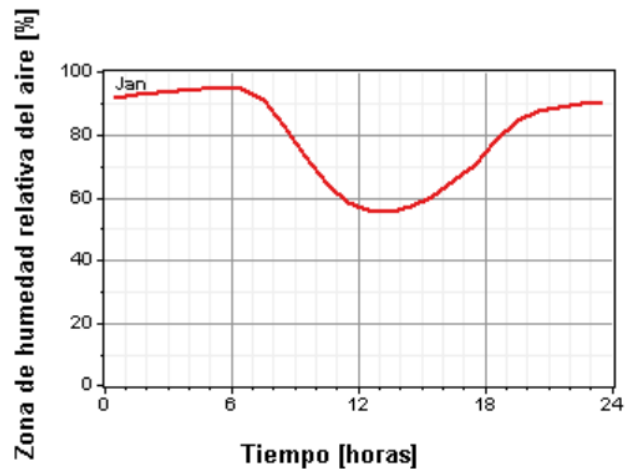


Figura 32. Resultado de la simulación zona auditorio [Humedad]

4.3.4. Resultados simulación comparación entre zonas

Debido al comportamiento similar de las tres variables de temperatura se analizaron las diferencias de los resultados obtenidos entre zonas de estudio a partir de las gráficas superpuestas de una sola de variable. La Figura 33 muestra los resultados obtenidos en la simulación en las variables de salida, las cuales permiten observar el comportamiento térmico de las dos zonas de estudio durante las 24 horas del día.

La simulación muestra el comportamiento de las dos zonas donde se presenta un intervalo de tiempo comprendido entre las 8 a.m. y las 12 m. donde la temperatura de las dos zonas coincide, es decir el comportamiento térmico de las zonas durante este intervalo de tiempo es muy similar.

Teniendo en cuenta lo anterior es claro que la zona de auditorio presenta mayor variación en las horas de la mañana donde la pendiente de la curva de calentamiento es mayor, no obstante le tendencia de enfriamiento en las zonas es muy similar manteniéndose la diferencia de temperatura entre zonas de forma constante.

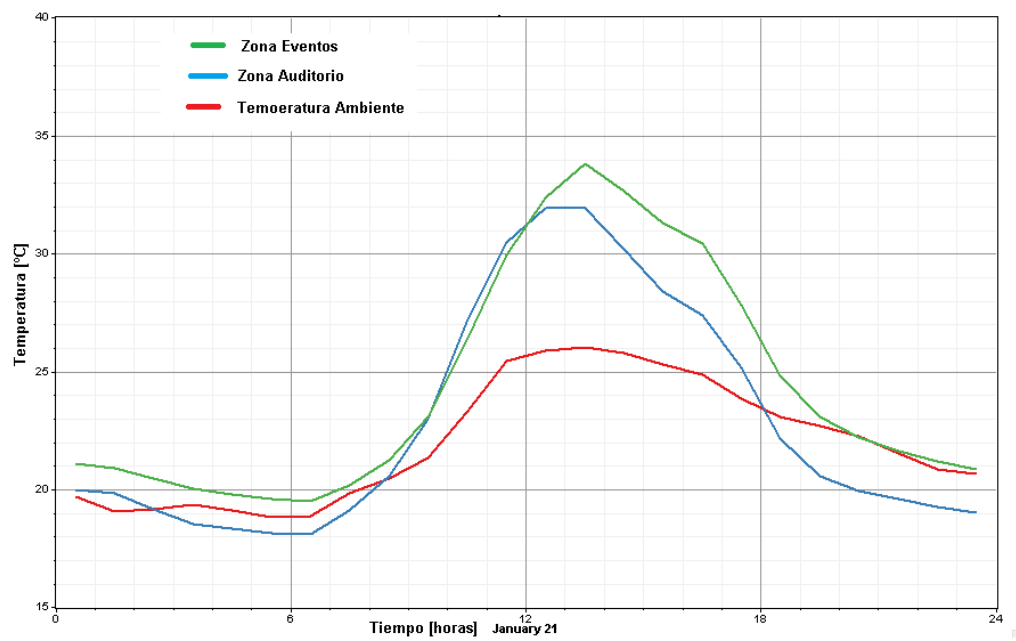


Figura 33. Resultados simulación comparación entre zonas [Temperatura operativa]

En la Figura 34 se observa los resultados obtenidos a partir de *Energy-Plus* en la variable de salida de porcentaje de humedad relativa en el aire. Aquí se muestra el comportamiento presentado un día de enero durante las 24 horas del día.

La zona de auditorio presenta la tendencia de cambio más marcada ya que en esta área se obtienen los valores máximos y mínimos de humedad relativa en el aire, no obstante la diferencia entre la humedad en cada zona no supera el 10%.

En los resultados obtenidos durante toda la jornada cabe resaltar los puntos en los cuales el porcentaje de humedad es igual en cada zona de estudio. Esta situación se presenta cerca de las 9 a.m. y las 16 p.m.

Por último, se puede observar que los niveles de humedad más altos se presentan en las horas de la noche cuando las temperaturas son más bajas.

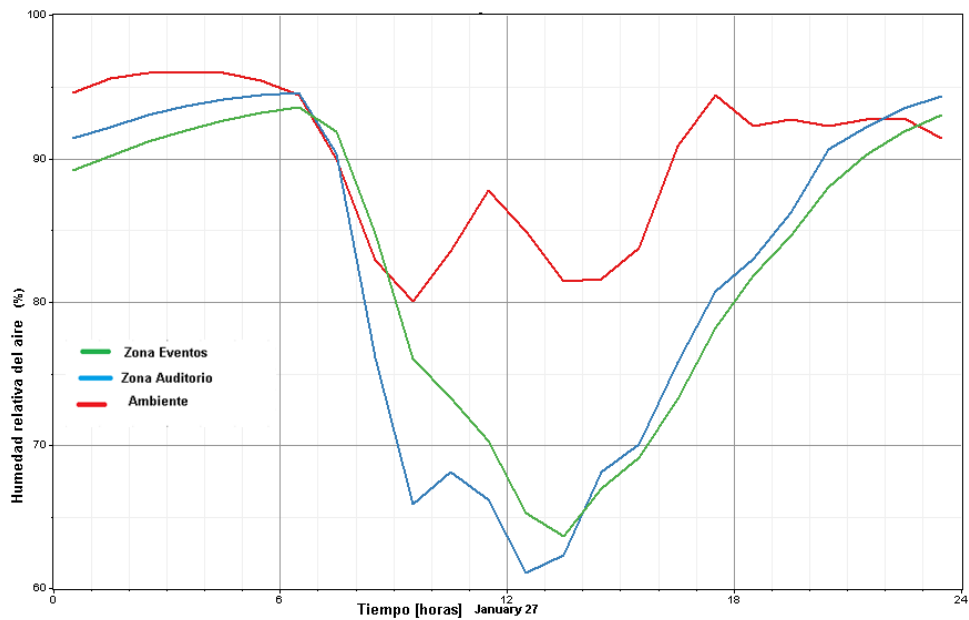


Figura 34. Resultados simulación comparación entre zonas [Humedad]

4.3.5. Resultados de la simulación respecto a iluminación

Los resultados mostrados en la Figura 35 presentan la iluminancia horizontal exterior del cielo, la iluminancia exterior horizontal del haz, y la iluminancia exterior normal del haz. Se observa que la cantidad de luxes máxima en La Casona La Perla esta alrededor de los cincuenta mil luxes.

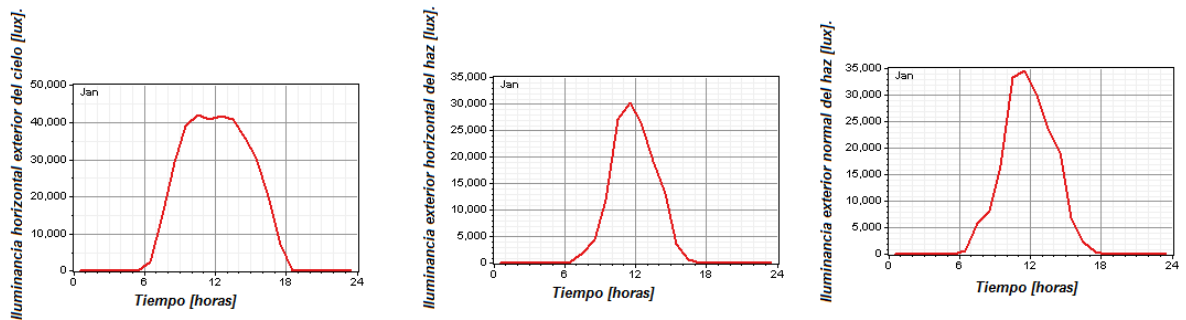


Figura 35. Resultados de la simulación en Energy-Plus respecto a iluminación

Estos resultados no son los adecuados si se desea conocer la iluminación en las respectivas zonas, por esta razón, se realizó como complemento un trabajo de análisis y simulación con el software de iluminación *DIALux*.

5. ANÁLISIS LUMÍNICO A PARTIR DE *DIALUX*

Este capítulo es un análisis complementario sobre iluminación natural, a partir de la utilización del software *DIALux*. Dicho análisis busca mantener el enfoque del proyecto, por lo cual se validaron los resultados de simulación a partir de los datos de medición tomados, y a partir de ello, se explica la utilidad de esta herramienta en el uso de un análisis energético.

Se presenta una descripción detallada de conceptos del proceso de análisis, donde se explica los aspectos a tener en cuenta para llevar a cabo una correcta simulación en *DIALux*; por último, se muestra el análisis de los resultados obtenidos. En el anexo E se presenta el proceso detallado para utilizar software.

5.1. *DIALux*: Herramienta computacional para la simulación lumínica de edificaciones

DIALux[12] es un software para el cálculo de iluminación que permite verificar de forma detallada parámetros luminotécnicos; como hojas de datos de luminarias, diagramas de densidad lumínica, diagramas *Sollner*, grados de reflexión, gráficos de valores de la iluminancia, isolíneas, etc.

Una gran ventaja de este software se debe a su interface amigable con un entorno 2D y 3D para el diseño de un ambiente tanto interno (salones, museos) como externo (parques, calles); adicionalmente permite cargar archivos DFX de AutoCAD.

5.2. Descripción del proceso de análisis en *DIALux*

Para el estudio la utilidad dada al software *DIALux* se relaciona con el uso de la luz diurna en la arquitectura del lugar, por ende no todas las herramientas de *DIALux* son usadas.

A continuación se enuncian algunos conceptos y/o herramientas a tener en cuenta en *DIALux* para llevar a cabo una buena aproximación del entorno y así obtener buenos resultados.

- Tipo de proyecto: proyecto interior, proyecto exterior y proyecto de calle; el proyecto está enfocado al uso de iluminación en el interior de una edificación, por lo tanto se trabaja con “proyecto interior”.
- Editor de locales: configuración de la longitud, anchura, y altura del local, por defecto trae sólo cuatro puntos de coordenadas en forma de cuadrilátero para la superficie del local, pero se pueden insertar más puntos.
- Importar archivo DWG: permite importar un archivo AutoCAD, lo cual facilita la creación de los locales donde se harán las respectivas simulaciones.
- Ubicación geográfica: es necesario para un máximo desempeño dar la ubicación geográfica de la edificación, para esto *DIALux* permite escoger entre diferentes ciudades del mundo o agregar nuevas ubicaciones, donde se requiere solo de la posición geográfica (longitud, latitud) para el caso del proyecto: caso tropical.
- Orientación del edificio: *DIALux* trae por configuración el norte de la edificación representado por una flecha verde, ubicada como eje Y, y el oriente de la edificación por una flecha roja, ubicada como eje X. La opción de orientación permite dar un ángulo respecto al eje Y (desviación del eje Y de la dirección norte en sentido horario) para así determinar la verdadera orientación del norte de la edificación.
- Insertar objetos: para dar una descripción muy cercana a la realidad del lugar, es importante añadir todo tipo de objetos existentes en el lugar, como lo son puertas, ventanas, columnas, escalones, tragaluces, entre otros.
- Editar construcción: la ambientación exterior permite al software ser más preciso en cuanto a los resultados, la cercanía de árboles, edificaciones, carteles, etc.

- Escena de luz diurna: la escena de luz diurna permite la simulación teniendo en cuenta la fecha y hora, las cuales son importantes por la ubicación del Sol. También permite escoger el tipo de cielo en el momento de simular.
- Superficies y puntos de cálculo: son las superficies y puntos donde se realiza el análisis de la simulación y se obtienen los resultados. La superficie de cálculo se debe ubicar por medio de coordenadas (eje X, eje Y, eje Z el cual marca la altura de medición) y adicional dar longitud y anchura. Los puntos de cálculo se ubican sólo por medio de coordenadas.
- Iniciar cálculo: herramienta de *DIALux* que permite llevar a cabo la simulación, donde se realizan los cálculos de simulación de forma estándar (cálculo recomendado) o muy exacto (largos tiempos de cálculo).
- Outputs: contiene los resultados de la simulación, los cuales pueden ser guardados en formato pdf.

5.3. Simulación

Al realizar la simulación *DIALux* permite observar y verificar si la simulación tuvo en cuenta y se asemeja a resultados realistas; para esto posee opciones como: visualización de sol y sombras, mostrar en CAD las isolíneas, representación en colores falsos.

- Visualización de sol y sombras: da iluminación al diseño 3D de *DIALux* y permite ver si la orientación de sombras es correcta como se observa en la Figura 36, para esto se puede utilizar como ayuda extra el software SOLEA-2.

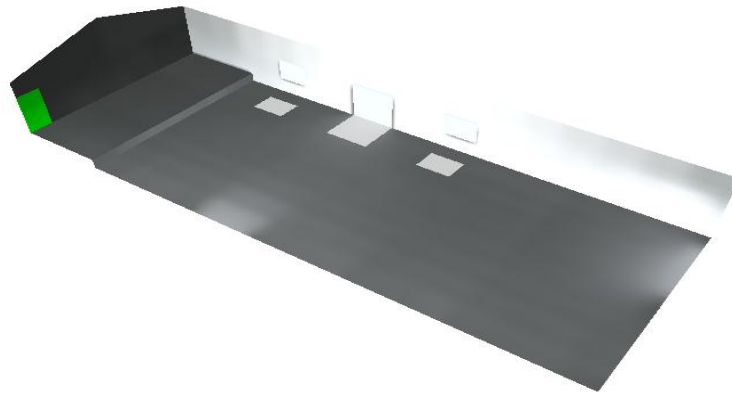


Figura 36. Zona auditorio con la opción visualización de sol y sombras

- Muestra en archivo CAD las isolíneas: muestra superficies de nivel para diferenciar la cantidad de iluminación a la altura de simulación como se observa en la Figura 37. Es una herramienta que sólo cuenta con tres niveles posibles de iluminación, lo cual hace lento el proceso de interpretación en una zona general, pero útil si se quiere observar pequeñas zonas (10 m²).

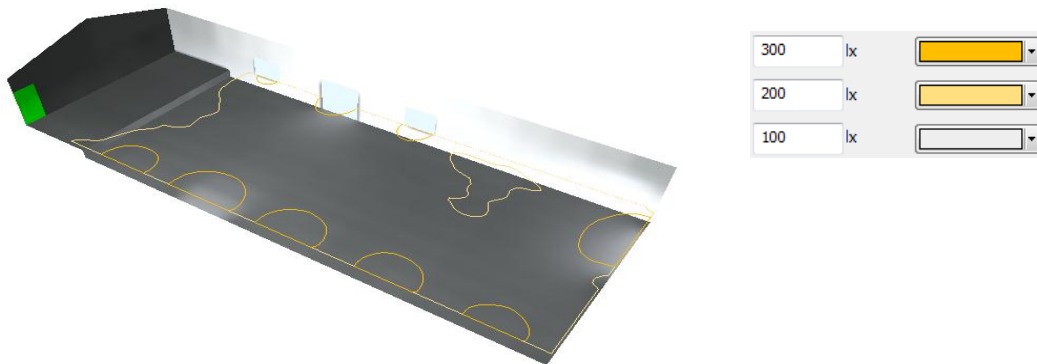


Figura 37. Nivel de iluminación zona auditorio en representación de isolíneas a 0.85 m

- Representación de colores falsos: herramienta que muestra la cantidad de luxes en el suelo del recinto como se observa en la Figura 38, lo cual permite dar una percepción de cómo se distribuye la luz en el lugar.

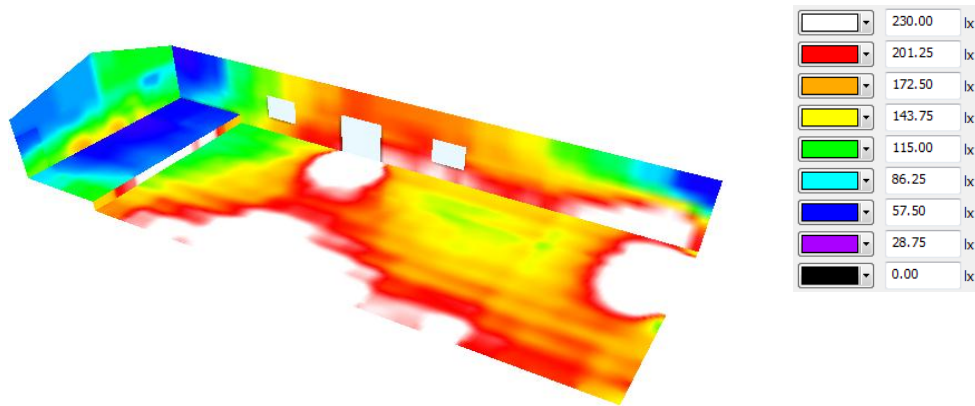


Figura 38. Zona auditorio en representación de colores falsos

Finalmente, en la opción *Output* se pueden observar los resultados de la simulación cuantitativamente, para ello hay cuatro opciones posibles, si se trata de una superficie de cálculo, las cuales son: isólinas, gama de grises, gráfico de valores y tabla. A continuación se presentan cada una de ellas.

- a) Isólinas: la Figura 39 muestra la cantidad de luxes por curvas de nivel con su respectivo valor.

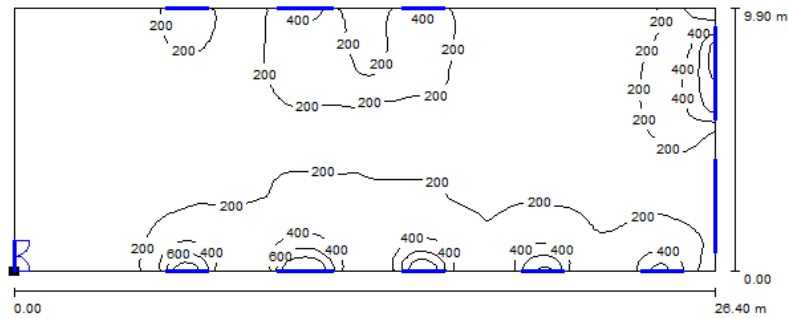


Figura 39. Zona auditorio en output isólinas a un altura de 0.85 m

- b) Gama de grises: la Figura 40 muestra la cantidad de luxes por zonas representando los valores en gama de grises.

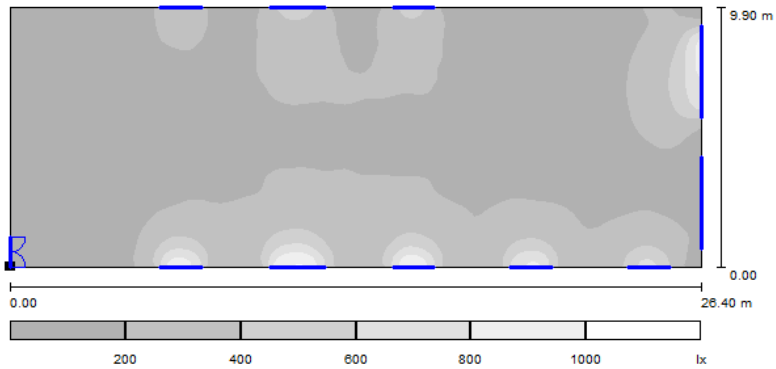


Figura 40. Zona auditorio en output gama de grises a un altura de 0.85 m

c) Gráfico de valores: la Figura 41 muestra la cantidad de luxes en la zona por cada determinada distancia, mostrando mayor cantidad de datos.

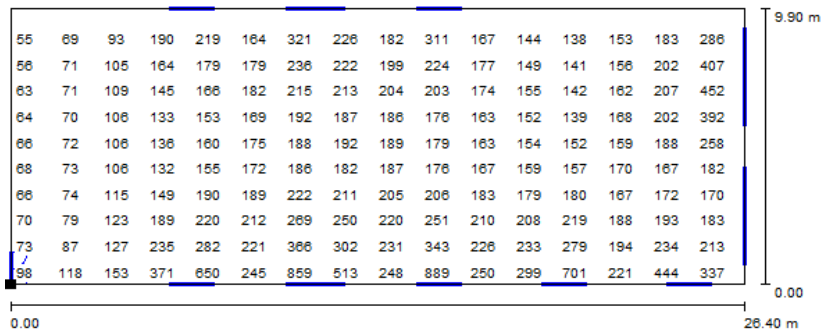


Figura 41. Zona auditorio en output gráfico de valores a una altura de 0.85 m

d) Tabla: la Figura 42 muestra la cantidad de luxes de la zona por coordenadas, es de utilidad para puntos específicos.

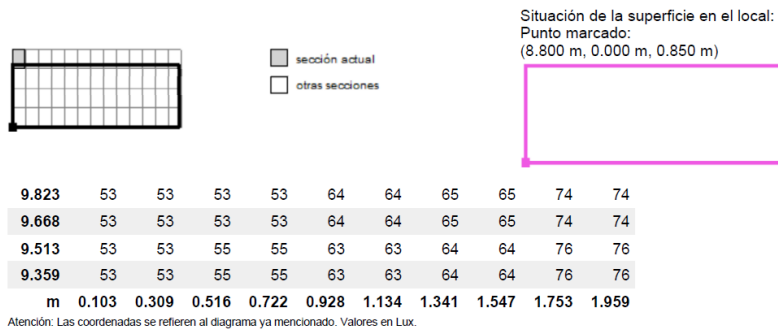


Figura 42. Zona auditorio en output tabla a una altura de 0.85 m

Para los *Output* de puntos de cálculo se encuentran en el anexo F.

5.4. Análisis de los resultados

Es importante entender el comportamiento de un software al analizar sus resultados, por esta razón se resalta que los resultados de simulación esperados de un día a otro no tengan diferencia significativa en la misma zona.

5.4.2. Zona de eventos

En la Figura 43 se observan los mismos 13 puntos de medición de iluminación en la zona de eventos. En estos puntos se realizaron las pruebas de simulación por parte de *DIALux*, teniendo en cuenta los obstáculos mencionados en la medición.

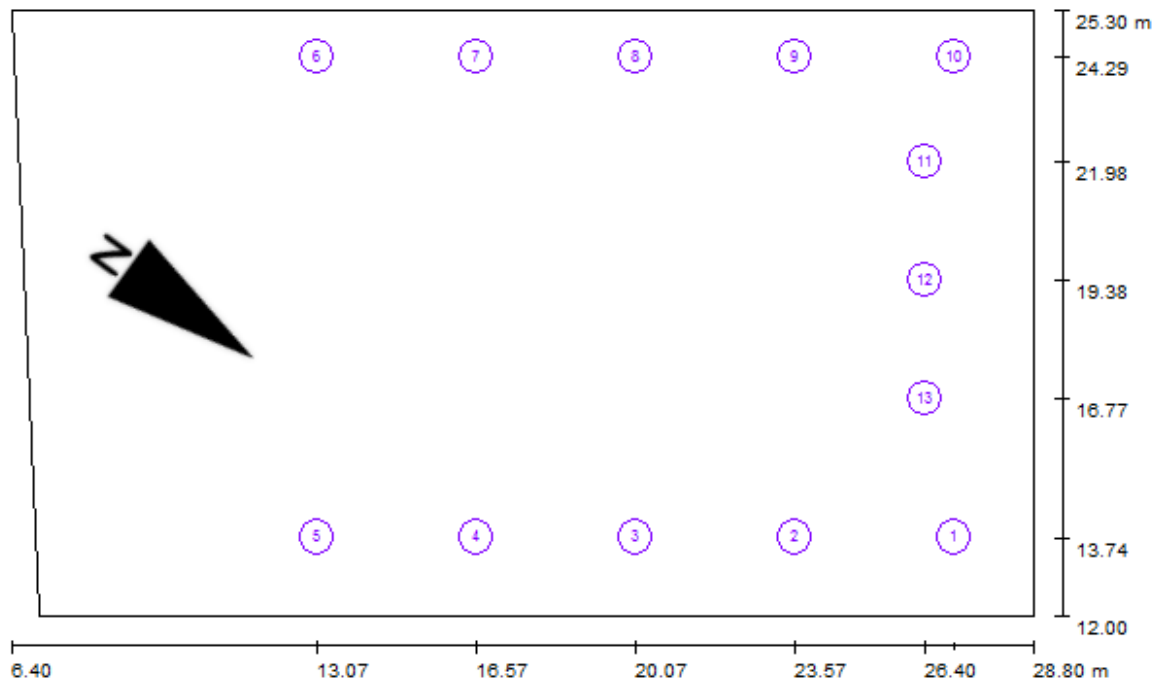


Figura 43. Puntos de simulación zona de eventos

- 29 de Enero del 2013

La Tabla 7 muestra los resultados de la simulación en los 13 puntos seleccionados en las horas determinadas, para el día 29 de enero del 2013 en la zona de eventos.

Tabla 7. Datos de simulación 29 de enero del 2013 en la zona de eventos, unidades lx

Punto \ Hora	9:30	10:30	11:30	14:30	15:30	16:30
1	573	704	780	381	168	119
2	902	1139	1389	1076	1301	449
3	1027	1312	1633	1421	1540	907
4	1023	1341	1702	1508	1036	917
5	818	1080	1404	1412	1018	664
6	2893	2668	2371	1377	1203	942
7	3535	3133	2700	1489	1294	1012
8	3757	3275	2783	1493	1301	1023
9	3506	2956	2430	1194	1041	828
10	1551	1236	986	361	289	230
11	5023	4121	3167	1088	870	645
12	5273	4595	3763	1238	951	686
13	3713	3650	3231	1164	786	539

En la Figura 44 se observa una división gráfica de tres zonas, del punto 1 al 5 hay un comportamiento similar en el nivel de iluminación a lo largo del día, con alrededor de 1000 lux; del punto 6 al 10 se observa un comportamiento similar en el nivel de iluminación, en horas de la tarde con un valor de 1000 lux, mientras que en horas de la mañana con un valor de 3000 lux; finalmente en los puntos 11 al 13, el comportamiento de la curva es similar tanto para las horas de la mañana, con un valor de 4000 lux, como en horas de la tarde con un valor de 1000 lux.

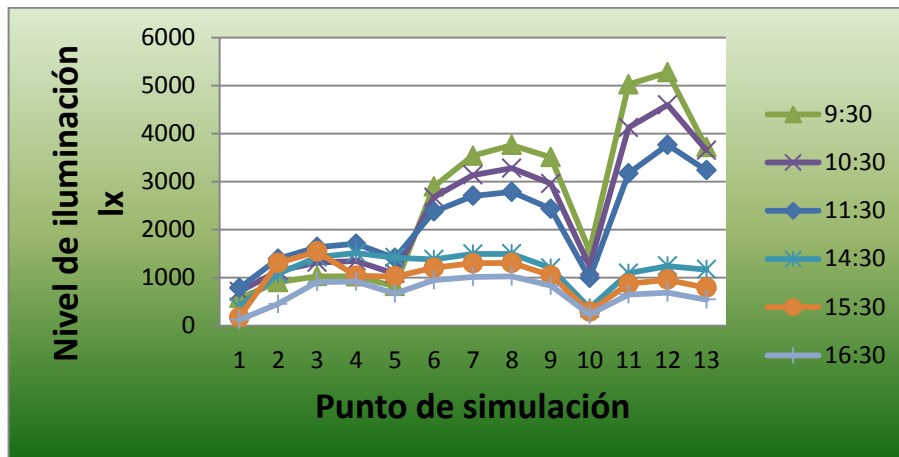


Figura 44. Datos de simulación 29 de enero del 2013 en la zona de eventos

- 30 de Enero del 2013

Los resultados son similares al día 29 de enero del 2013 y se encuentran al final del anexo F.

5.4.3. Zona auditorio

En la Figura 45 se observan los mismos 12 puntos de medición de iluminación en la zona auditorio. En estos puntos se realizaron las pruebas de simulación por parte de *DIALux*, teniendo en cuenta los obstáculos mencionados a la hora de medir.

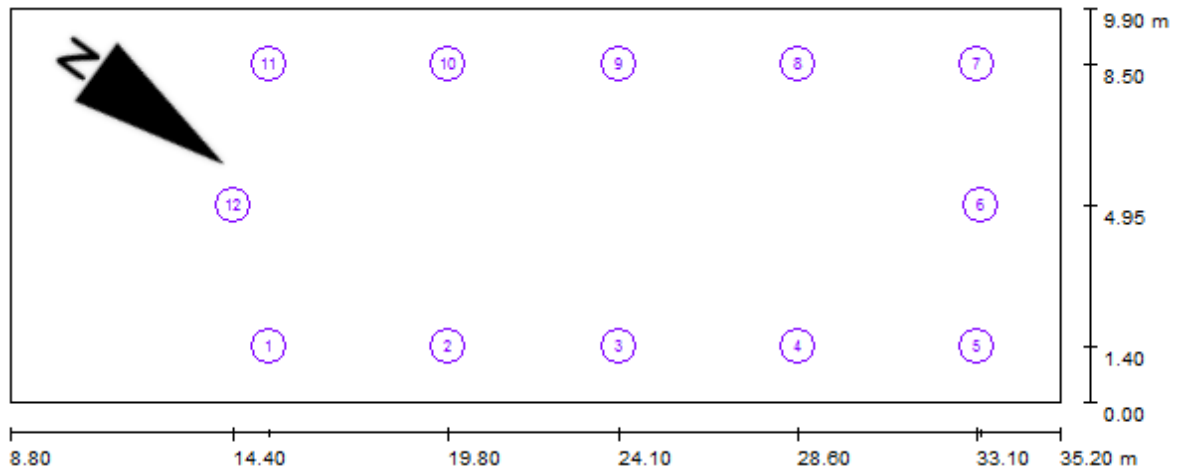


Figura 45. Puntos de simulación en la zona auditorio

- 29 de Enero del 2013

La Tabla 8 muestra los resultados de la simulación en los 12 puntos seleccionados en las horas determinadas, para el día 29 de enero del 2013 en la zona auditorio.

Tabla 8. Datos de simulación 29 de enero del 2013 en la zona auditorio, unidades lx

Punto \ Hora	9:30	10:30	11:30	14:30	15:30	16:30
1	436	395	355	235	202	153
2	633	581	525	351	298	220
3	406	384	353	236	202	141
4	390	360	326	224	190	132
5	230	223	200	154	141	108
6	130	125	120	103	104	71
7	146	154	152	113	105	62
8	150	151	147	104	86	51
9	179	184	178	144	137	116
10	187	194	190	164	156	132
11	128	132	134	109	92	73
12	123	122	122	97	83	64

Se observa en la Figura 46 que el comportamiento de la curva en la zona auditorio, presenta un aumento en el nivel de iluminación del punto 1 al 2, dándose

una decaída en el nivel de iluminación del punto 2 al 6, donde se mantiene casi constante hasta el punto 12.

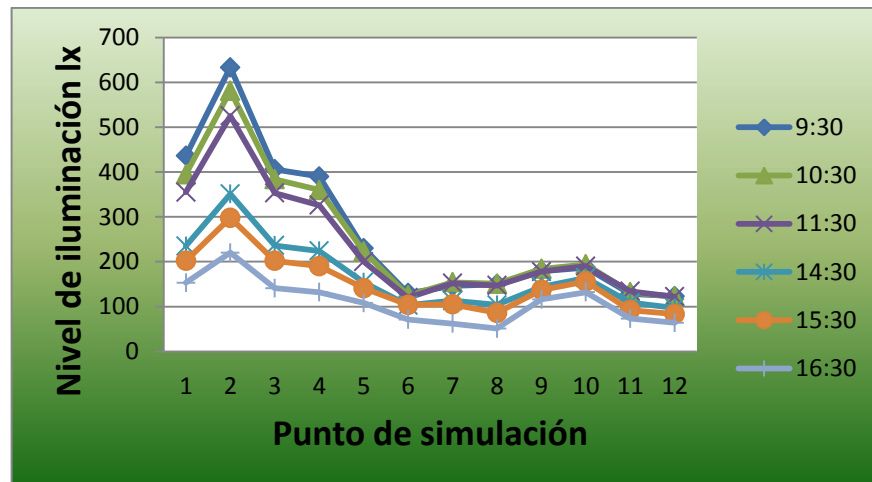


Figura 46. Datos de simulación 29 de enero del 2013 en la zona auditorio

- 30 de Enero del 2013

Los resultados son similares al día 29 de enero del 2013 y se encuentran al final del anexo E.

Gracias a los resultados obtenidos mediante DIALux, en el siguiente capítulo se procede a realizar un análisis comparativo entre las simulaciones y mediciones, en la sección de iluminación.

6. ANALISIS COMPARATIVO

En este capítulo se analizan las diferencias encontradas a partir de los resultados obtenidos a través de los procesos realizados, es decir, una comparación de resultados entre el proceso de medición manual y las simulación realizadas a partir de los software *Energy-Plus* y *Dialux*.

En el proceso de análisis comparativo es importante resaltar que el inicio del proceso de medición se encuentra cerca de las 8:00 horas y termina alrededor de las 18:00; por tanto la comparación de resultados se realizó observando este intervalo de tiempo para ambos procesos, es decir, no se tienen en cuenta los resultados obtenidos en la simulación que se encuentran fuera de este periodo de tiempo.

6.1. Análisis comparativo temperatura

En primer lugar se analizaron los resultados de temperatura obtenidos en cada zona de trabajo, identificando tendencias y puntos claves que permitan observar las diferencias y similitudes presentes en los resultados obtenidos.

Por último, y siguiendo los mismos parámetros de revisión, se contrastaron los resultados de las comparaciones de zonas lo que permitió ver más de cerca aspectos relevantes en el proceso de evaluación del software *Energy-Plus*.

6.1.1. Análisis comparativo zona auditorio [Temperatura]

En la Figura 47 se observan las gráficas obtenidas a través de la medición de temperatura en la zona del auditorio y la simulación realizada por el software *Energy-Plus* en esta misma área.

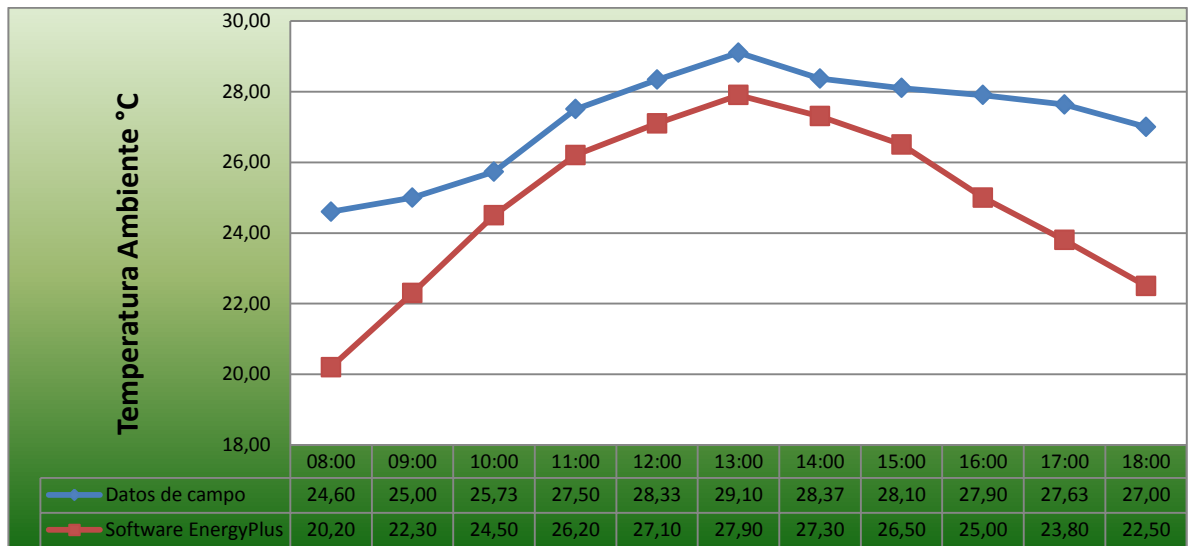


Figura 47. Comportamiento térmico zona auditorio

Como se observa en la figura anterior, la curva de la temperatura resultante en el proceso de simulación presenta valores más bajos que los encontrados durante las mediciones. No obstante el comportamiento térmico en los dos análisis es similar y muestra una diferencia entre las temperaturas en un mismo punto no mayor a 2°C, exceptuando las temperaturas de los puntos correspondientes a las horas de inicio de la mañana y final de la tarde.

Además se evidencia la coincidencia del punto de máxima temperatura el cual se presenta a la 1 p.m. (13:00 horas) con tan solo 1,2°C de diferencia entre las temperaturas registradas en ese punto, es decir, con un error menor al 5%.

Es importante resaltar que las tendencias encontradas en la curvas de calentamiento poseen similitudes entre ellas, pero es claro que los resultados obtenidos a través de EnergyPlus muestran un comportamiento más variable ya que su diferencia entre la temperatura máxima y mínima registrada es cercana a los 7°C, contraria a la presentada en el proceso de medición el cual es de tan solo 5°C.

6.1.2. Análisis comparativo zona de eventos [Temperatura]

En la Figura 48 se observa las gráficas obtenidas a través de la medición de temperatura en la zona de eventos y la simulación realizada por el software *Energy-Plus* en esta misma área.

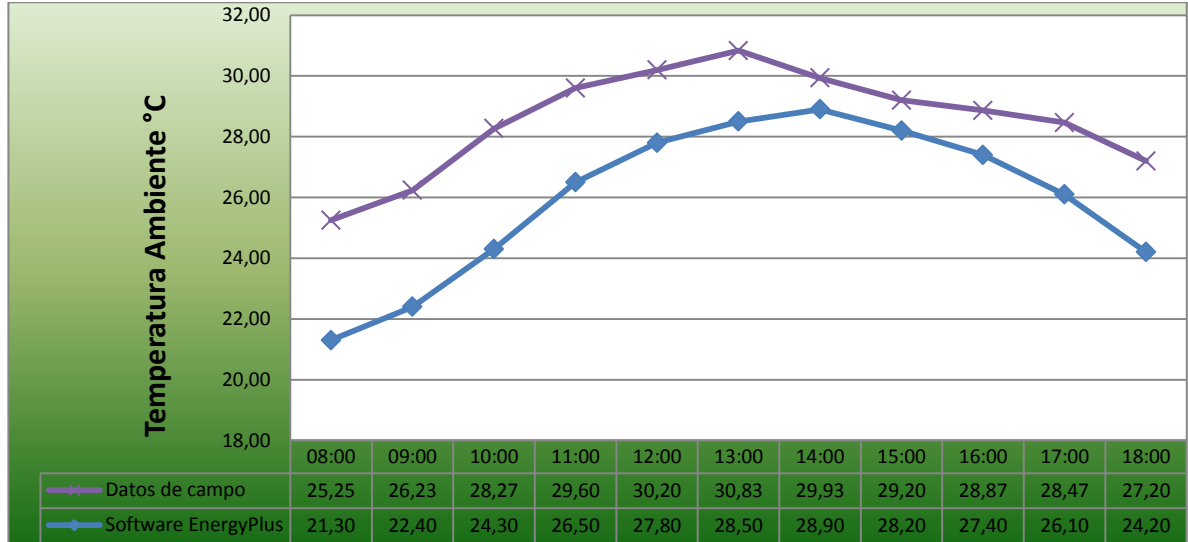


Figura 48. Comportamiento térmico zona de eventos

En la figura anterior se observa que el comportamiento térmico obtenido a través de EnergyPlus en la zona de eventos es similar al mostrado en la curva resultante en el trabajo de campo. No obstante se inicia con una diferencia de temperatura cercana a los 4°C, la cual se va reduciendo a medida que transcurre el día llegando a presentarse una diferencia de alrededor de 1°C a las 2 p.m. (14:00 horas), es decir, las curvas de comportamiento térmico presentan mayor discrepancia en la jornada de la mañana donde la temperatura de inicio obtenida a través de EnergyPlus muestra un error cercano al 15%.

Es importante resaltar que la diferencia entre las temperaturas máximas no sobrepasa los 2°C, sin embargo estas se presentan con una hora de diferencia, es decir, la temperatura máxima en el análisis hecho en EnergyPlus se observa a las 2 p.m. a diferencia de lo presentado en el trabajo de campo donde este punto se observó a 1 p.m.

6.1.3. Análisis comparativo entre zonas [Temperatura]

En la Figura 49 se observan las gráficas obtenidas a través de la medición de temperatura en ambas zonas de estudio y la simulación realizada por el software *Energy-Plus*. Allí se resaltan los aspectos más relevantes obtenidos en la comparación del comportamiento térmico de las zonas de estudio.

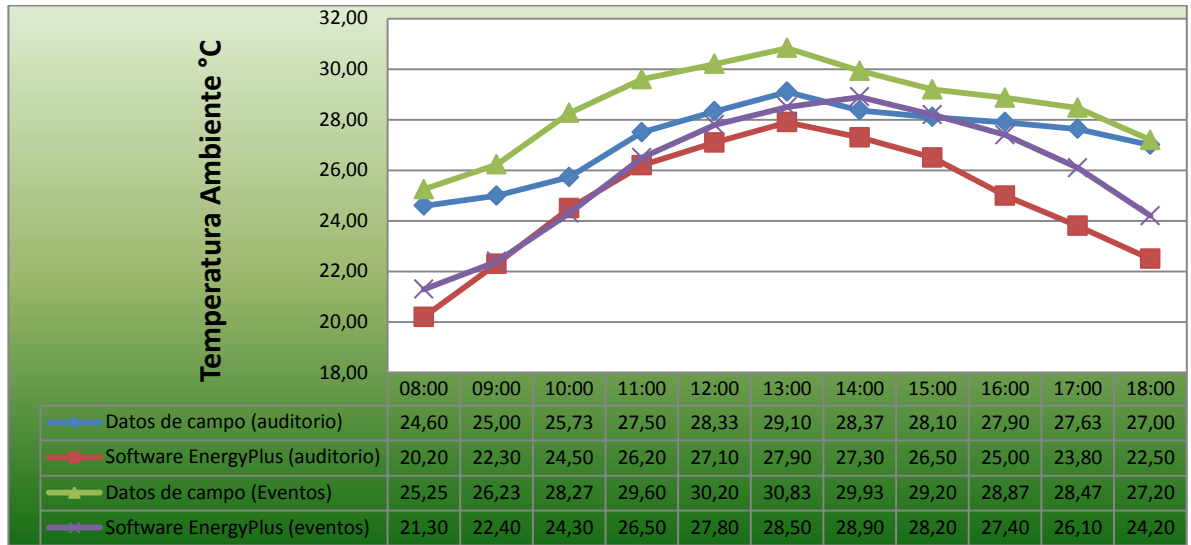


Figura 49. Análisis comparativo entre zonas [Temperatura]

Se observa que el punto de inicio de las gráficas correspondientes a los datos de campo inicia con una temperatura muy similar en ambas zonas de estudio. A su vez los resultados obtenidos mediante la simulación coinciden con lo anterior, ya que presentan temperaturas cercanas durante el transcurso de la mañana.

Las tendencias observadas en los dos procesos de análisis coinciden en gran medida pues presentan un incremento de la temperatura en las horas de la mañana y una disminución de la misma en las horas de la tarde. Además, comparando los resultados entre las zonas para cada análisis, se observa que la temperatura de la zona de eventos es mayor durante el transcurso del día.

Otro punto importante se observa al contrastar las temperaturas máximas de cada análisis, las cuales en ambos casos se presentan alrededor de las 13:00 del día con una diferencia de temperatura entre zonas cercanas a los 1,5°C.

6.2. Análisis comparativo humedad

En primer lugar se analizaron los resultados de la humedad relativa obtenidos en cada zona de trabajo identificando tendencias y puntos claves que permitan observar las diferencias y similitudes presentes en los resultados. Además se contrastan los resultados de las comparaciones de zonas lo que permitirá ver más de cerca aspectos relevantes en el proceso de validación de los resultados obtenidos a partir del software *Energy-Plus*.

6.2.1. Análisis comparativo zona de eventos [Humedad]

En la Figura 50 se grafican los resultados del porcentaje de humedad relativa obtenidos en la zona de eventos a través de los procesos de medición y simulación.

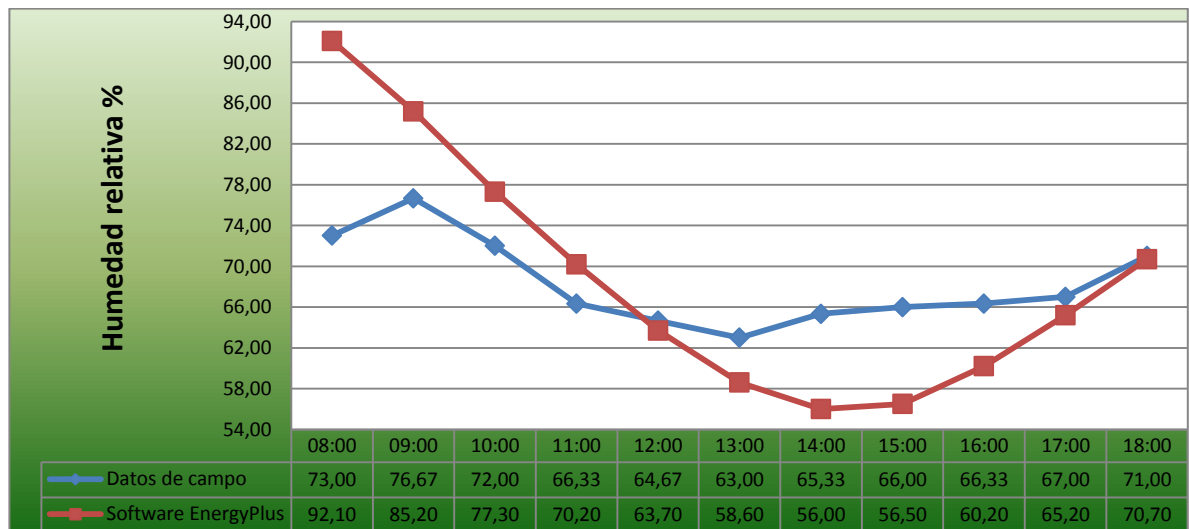


Figura 50. Comportamiento humedad relativa zona de eventos

A simple vista las gráficas presentadas son bastante diferentes, ya que los resultados obtenidos a través de la simulación muestran tendencias más marcadas, es decir, los cambios del porcentaje de humedad relativa son mayor al observado en la medición de esta variable.

No obstante el porcentaje de humedad relativa para ambos análisis se presenta en las horas de la mañana entre las 8 a.m. y las 9 a.m. Además presenta una

disminución de humedad llegando a su punto mínimo cerca de las 2 p.m. donde su tendencia cambia para aumentar su valor hasta llegar al 70% de humedad relativa en el aire.

6.2.2. Análisis comparativo zona auditorio [Humedad]

En la Figura 51 se grafican los resultados del porcentaje de humedad relativa obtenidos en la zona de auditorio a través de los procesos de medición y simulación.



Figura 51. Comportamiento humedad relativa zona auditorio

Las gráficas obtenidas muestran gran diferencia debido a la mayor variación de la humedad que presenta el análisis de la simulación. Sin embargo, se resalta la tendencia a estabilizarse el valor del porcentaje de humedad para ambos análisis entre las 11:00 y 14:00 horas del día donde la variación no supera el 2%.

Es importante resaltar que los valores mínimos de humedad difieren, obteniendo una diferencia de cerca del 10% entre los dos valores mínimos, al igual que el valor máximo de humedad relativa del aire el cual es cercana al 85% alrededor de las 9:00a.m.

6.2.3. Análisis comparativo entre zonas [Humedad]

En la Figura 52 se observan las gráficas obtenidas a través de la medición de humedad en ambas zonas de estudio y la simulación realizada por el software *Energy-Plus*. Allí se resaltan los aspectos más relevantes obtenidos en la comparación del comportamiento de la humedad relativa en las zonas de estudio.



Figura 52. Análisis comparativo entre zonas [Humedad]

Se observa una diferencia entre los resultados obtenidos debido a la mayor variación de la humedad presentada en los resultados de la simulación en el software *Energy-Plus*. Sin embargo, se resalta que la diferencia de la humedad relativa del aire en las dos zonas y en ambos procesos de análisis presentan porcentajes con un error no mayor al 15 %.

Es importante destacar que los resultados obtenidos en el trabajo de campo muestran a la zona de eventos con un porcentaje de humedad más bajo respecto a la zona del auditorio, a diferencia de los resultados proporcionados por el software *EnergyPlus*.

6.3. Análisis comparativo de iluminación

Se muestra una comparación por hora entre los dos días de medición (medición 29 de enero de 2013 línea color rojo, medición 30 de enero de 2013 línea color

azul) y las simulaciones (Las cuales son muy similares para los dos días, se representan mediante una línea verde). Para determinar si los resultados son apropiados, se debe tener en cuenta, que las simulaciones se hicieron con la máxima iluminación posible (luz solar directa), seguido a eso se definen los criterios de evaluación.

Al comparar las gráficas entre los dos días de medición, se observa que la iluminación, incluso a la misma hora, varía claramente; por ende el criterio de evaluación seleccionado será totalmente de observación, donde se determina la funcionalidad de los resultados de simulación mediante observar si la tendencia de las curvas es aproximada o no.

6.3.1. Zona de eventos

Para la zona de eventos se decide dividir las gráficas en 3 zonas (zona uno puntos 1-5, zona 2 puntos 6-10 y zona 3 puntos 11-13) para hacer un análisis más amplio de estas.

En la Figura 53 se observa que en la zona uno el comportamiento es casi contante entre estos puntos para las tres gráficas (29 de enero, 30 de enero, simulación); en la zona 2 se observa un aumento del punto 6 al 8 y un descenso del punto 8 al 10 para la gráfica del 30 de enero y simulación, mientras en la gráfica del 29 de enero, el aumento es del punto 6 al 7 y el descenso del punto 7 al 10; en la zona 3 se observa que el mayor nivel de iluminación se da en el punto 12 para las 3 gráficas. En general esta gráfica muestra que es funcional la simulación a esta hora.

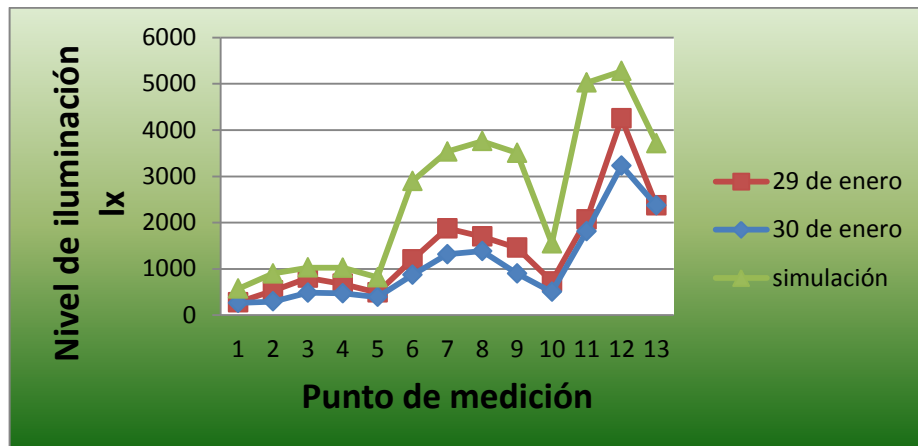


Figura 53. Análisis comparativo de iluminación en la zona de eventos a las 9:30 a.m.

Se observa en la Figura 54 que en la zona uno el comportamiento es casi constante entre estos puntos para las tres gráficas; en la zona 2 se observa un aumento del punto 6 al 8 y un descenso del punto 8 al 10 para las tres gráficas; en la zona 3 se observa que el mayor nivel de iluminación se da en el punto 12 para las 3 gráficas. En general esta gráfica muestra que es funcional la simulación a esta hora.



Figura 54. Análisis comparativo de iluminación en la zona de eventos a las 10:30 a.m.

Se observa en la Figura 55 que en la zona uno el comportamiento es parecido a una pequeña colina, aumentando del punto 1 hasta 3 o 4 y luego descendiendo hasta el punto 5, para las tres gráficas; en la zona 2 se observa un comportamiento parecido a una montaña con mayor pendiente del punto 5 al 6,

luego una pendiente del punto 6 al 7 o 8, y por ultimo un descenso hasta el punto 10, para las tres gráficas; en la zona 3 se observa que el mayor nivel de iluminación se da en el punto 12 para las 3 gráficas. En general esta gráfica muestra que es funcional la simulación a esta hora.

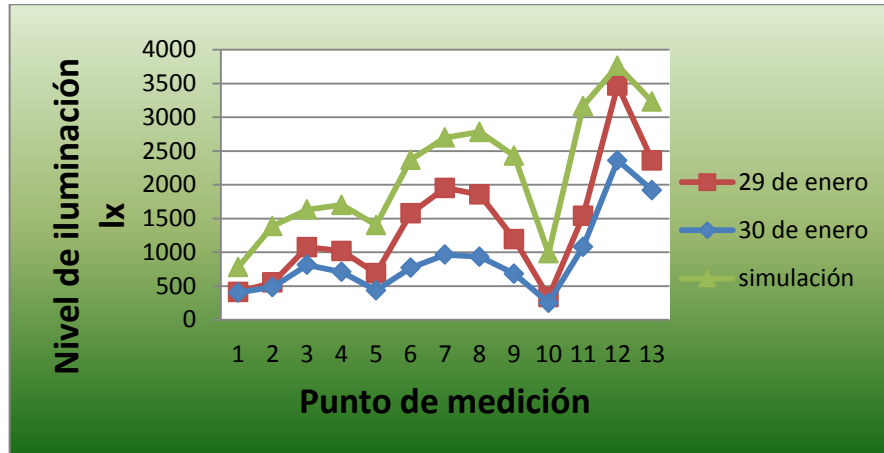


Figura 55. Análisis comparativo de iluminación en la zona de eventos a las 11:30 a.m.

Se observa en la Figura 56 que en la zona uno, la curva tiene una pendiente positiva del punto 1 al punto 3 o 4 y descende al punto 5 para las tres gráficas; en la zona 2 se observa un aumento del punto 6 al 8 y un descenso del punto 8 al 10 para las tres gráficas; en la zona 3 se observa que el mayor nivel de iluminación se da en el punto 12, pero el aumento de este punto para la gráfica de simulación no es tan apreciable. En general esta gráfica muestra que es funcional la simulación para la zona 1 y 2 para esta hora.

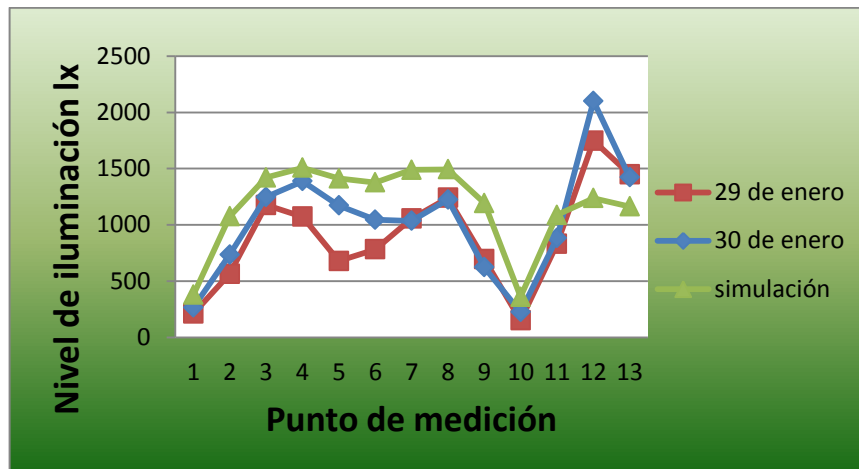


Figura 56. Análisis comparativo de iluminación en la zona de eventos a las 2:30 p.m.

En la Figura 57 se observa que en la zona uno, la curva tiene una pendiente positiva del punto 1 al punto 3 y descende al punto 4 para las tres gráficas; en la zona 2 se observa un aumento del punto 6 al 7 u 8 y un descenso hasta el punto 10 para las tres gráficas; en la zona 3 se observa que el mayor nivel de iluminación se da en el punto 12, pero el aumento de este punto para la gráfica de simulación no es tan apreciable. En general esta gráfica muestra que es funcional la simulación para la zona 1 y 2 para esta hora.

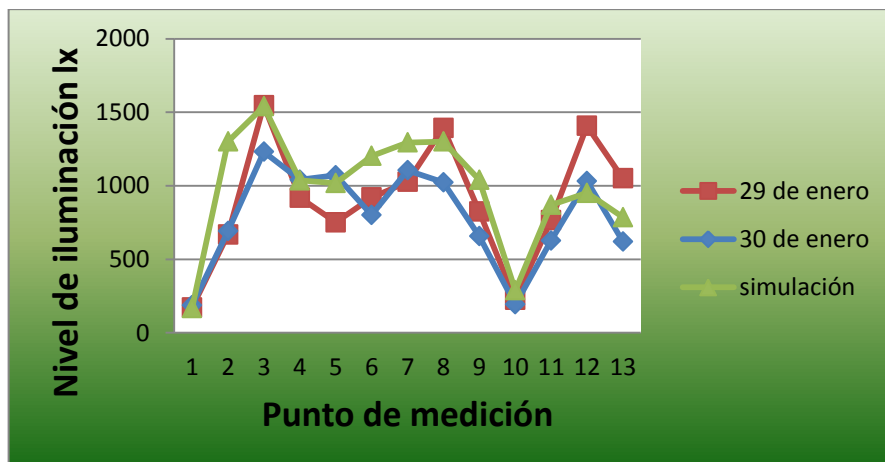


Figura 57. Análisis comparativo de iluminación en la zona de eventos a las 3:30 p.m.

Se observa en la Figura 58 una falta de tendencia, incluso para los datos reales, esto no permite decir si la simulación es o no funcional.

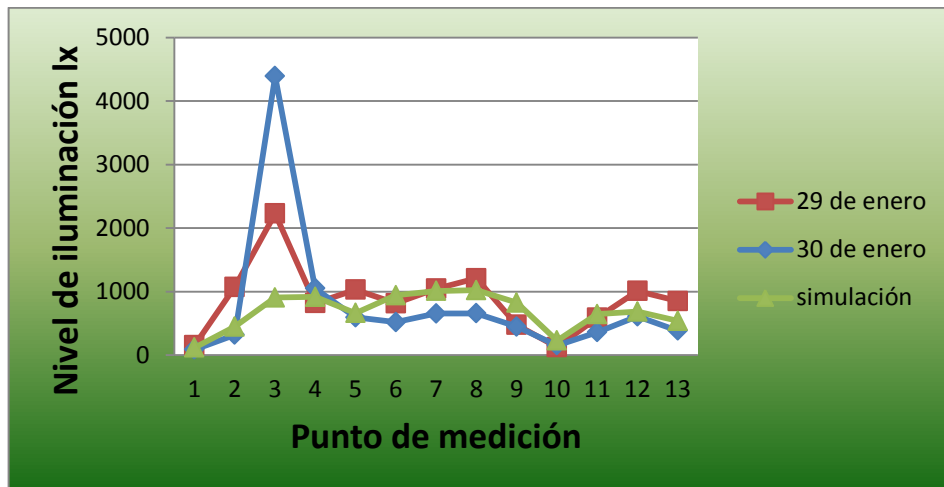


Figura 58. Análisis comparativo de iluminación en la zona de eventos a las 4:30 p.m.

Como conclusión del análisis de la zona de eventos, es de utilidad la herramienta de simulación de luz natural *DIALux*, esperando que si se realizara algún cambio en la arquitectura del lugar, se pudiera observar el beneficio o perjuicio en los niveles de iluminación de esta zona, partiendo de la comparación con los datos de la arquitectura actual.

6.3.2. Zona auditorio

Se analizan los resultados en la zona auditorio de acuerdo a las mediciones y simulaciones hora a hora.

En la Figura 59 se observa un aumento del nivel de iluminación del punto 1 al punto 2, seguido de un descenso de este nivel hasta el punto 6 donde parece comportarse constante hasta el punto 12, en las 3 gráficas. En general esta gráfica muestra que es funcional la simulación para esta hora.

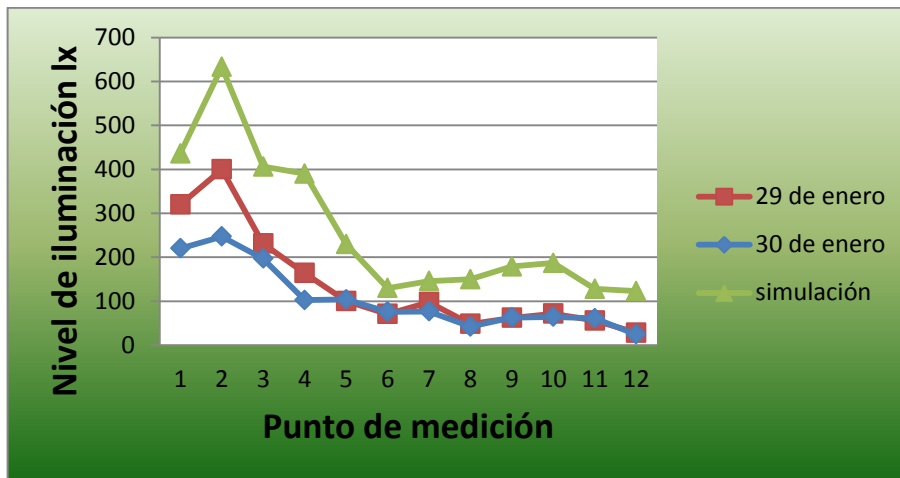


Figura 59. Análisis comparativo de iluminación en la zona auditorio a las 9:30 a.m.

En la Figura 60 se observa un aumento del nivel de iluminación del punto 1 al punto 2, seguido de un descenso de este nivel hasta el punto 6 donde varía poco hasta el punto 12, en las 3 gráficas. En general esta gráfica muestra que es funcional la simulación para esta hora.

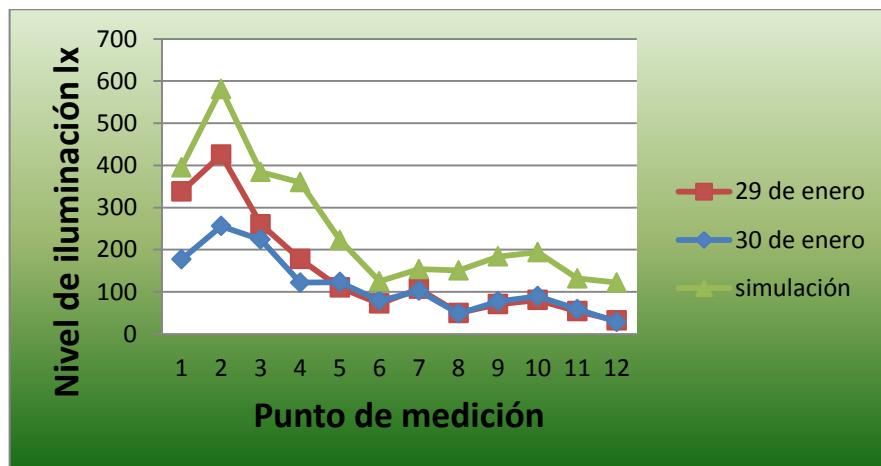


Figura 60. Análisis comparativo de iluminación en la zona auditorio a las 10:30 a.m.

En la Figura 61 se observa un aumento del nivel de iluminación del punto 1 al punto 2, seguido de un descenso de este nivel hasta el punto 6 donde varía poco hasta el punto 12, en las 3 gráficas. En general esta gráfica muestra que es funcional la simulación para esta hora.

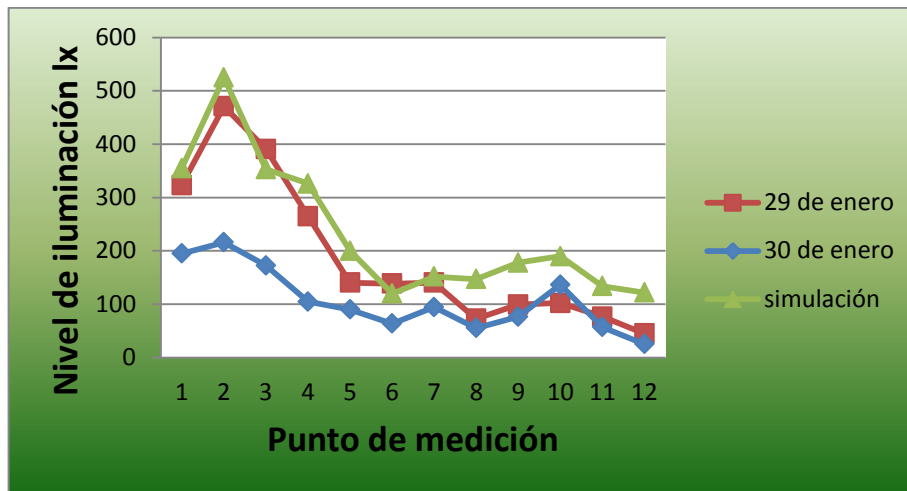


Figura 61. Análisis comparativo de iluminación en la zona auditorio a las 11:30 a.m.

Se observa en la Figura 62 un aumento del nivel de iluminación del punto 1 al punto 2, seguido de un descenso de este nivel hasta el punto 6, donde asciende de nuevo hasta el punto 7 y desciende al punto 8 formando un pico, realizando un comportamiento similar formando un pico entre los puntos 8 y 12, con valor máximo en el punto 10, en las 3 gráficas exceptuando el punto 7 de la simulación donde el pico no es apreciable. En general esta gráfica muestra que es funcional la simulación para esta hora excepto por el punto 7.

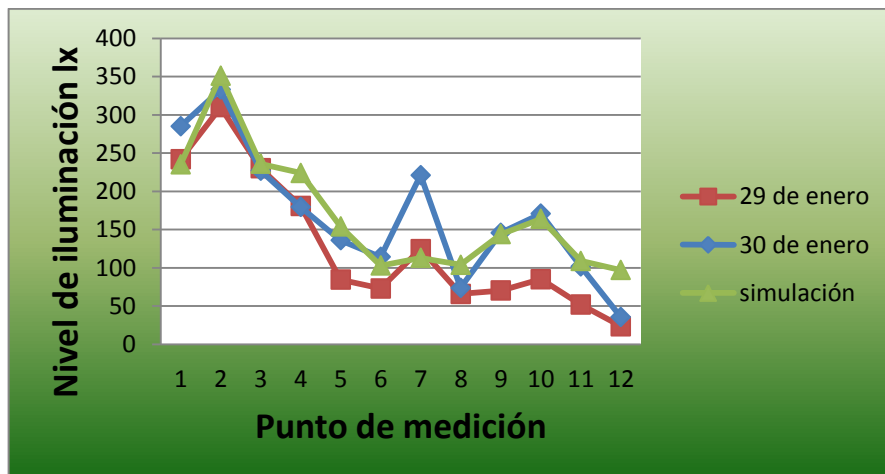


Figura 62. Análisis comparativo de iluminación en la zona auditorio a las 2:30 p.m.

En la Figura 63 se observa un aumento del nivel de iluminación del punto 1 al punto 2, seguido de un descenso de este nivel hasta el punto 6, donde asciende de nuevo hasta el punto 7 y desciende al punto 8 formando un pico, realizando un comportamiento similar formando un pico entre los puntos 8 y 12, con valor máximo en el punto 10, en las 3 gráficas exceptuando el punto 7 de la simulación donde el pico no es apreciable. En general esta gráfica muestra que es funcional la simulación para esta hora excepto por el punto 7.

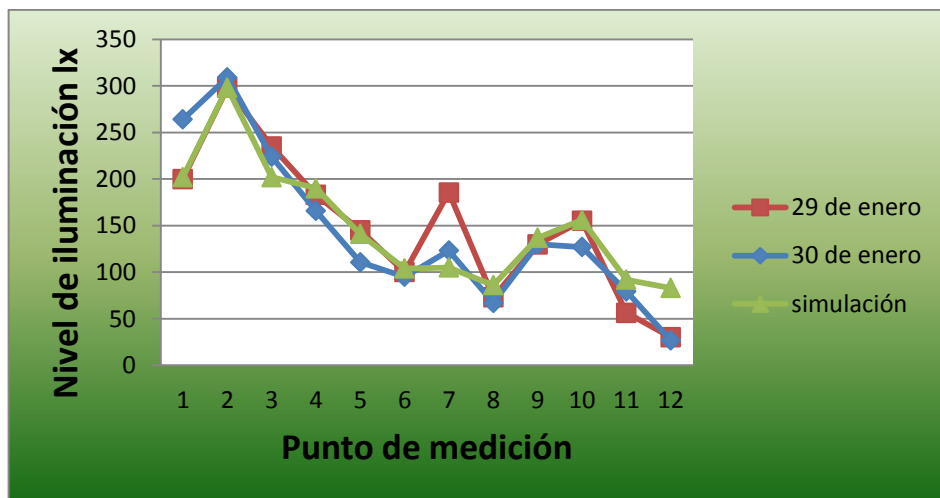


Figura 63. Análisis comparativo de iluminación en la zona auditorio a las 3:30 p.m.

En la Figura 64 se observa un aumento del nivel de iluminación del punto 1 al punto 2, seguido de un descenso de este nivel hasta el punto 6, para las 3 gráficas; del punto 6 asciende de nuevo hasta el punto 7 y desciende al punto 8 formando un pico, para las curvas de datos reales mientras la de simulación se comporta diferente; del punto 8 al 12 no hay una tendencia similar para las curvas de datos reales, lo que impide concluir algo de estos puntos. En general esta gráfica muestra que la simulación es poco funcional para esta hora.

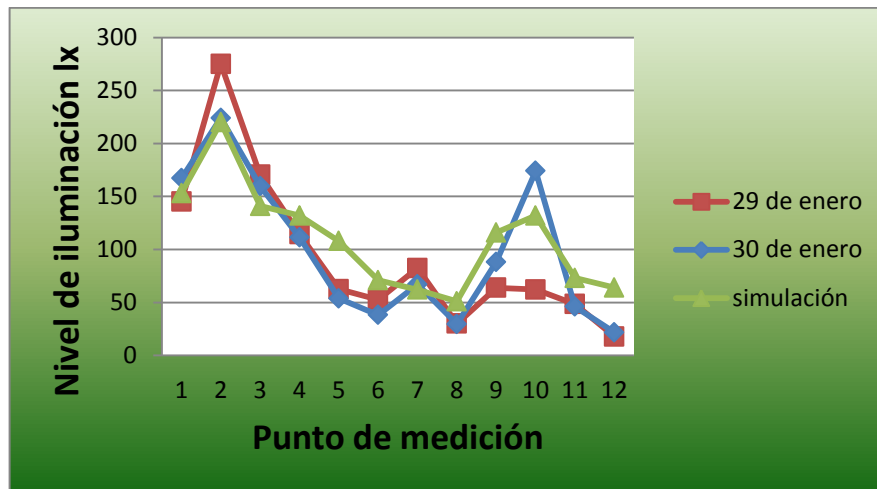


Figura 64. Análisis comparativo de iluminación en la zona auditorio a las 4:30 p.m.

Como conclusión del análisis de la zona auditorio, es de utilidad la herramienta de simulación de luz natural *DIALux* en horas de la mañana, mientras que en horas de la tarde presenta aproximación solo en algunos puntos. Esperando que si se realizara algún cambio en la arquitectura del lugar, se pudiera observar el beneficio o perjuicio en los niveles de iluminación de esta zona, partiendo de la comparación con los datos de la arquitectura actual.

Adicional a los resultados y comparaciones hechas, se realizó un estudio adicional los días 9 y 10 de mayo del 2013, los cuales fueron hechos con los datos climáticos correspondientes a esos días. Todo esto contenido en el Anexo G.

7. CONCLUSIONES

- El principal objetivo de este proyecto fue determinar la viabilidad del uso del software *Energy-Plus* en el proceso de análisis térmico y lumínico de edificaciones. Teniendo en cuenta la medición *in-situ* y el análisis realizado por medio de la simulación, se determinó que el software presenta como fortaleza: la determinación del comportamiento térmico de las áreas o zonas de la edificación; no obstante, variables como el porcentaje de humedad relativa requieren de una descripción más detallada de las zonas aledañas para lograr un análisis más cercano al valor real. El análisis lumínico que realiza el software *Energy-Plus* presenta resultados sobre el máximo de iluminación presente en el total del área descrita, sin embargo no se obtendrán proyecciones de la incidencia de la luz solar en cada una de las zonas o áreas de la edificación.
- El programa *DIALux* el cual es presentado como herramienta complementaria para la realización del análisis lumínico y teniendo en cuenta el análisis comparativo realizado, proporciona una solución a la deficiencia identificada en el software *Energy-Plus*.
- En el proceso de simulación en el software *Energy-Plus* se logró identificar la necesidad de complementar el software a través de *plugins*⁷ y programas de dibujo⁸ que facilitaron la realización del modelo tridimensional de la edificación *La Casona la Perla* permitiendo una mejor simulación del comportamiento de la estructura desde el punto de vista visual y térmico.
- La realización del proyecto permitió observar la importancia de la determinación de las características climáticas de la región, las cuales deben realizarse durante un tiempo no menor a un año para reconocer el comportamiento climático durante la épocas de sequía y lluvia , además factores como las coordenadas de posicionamiento global y las

⁷ DView: <https://beopt.nrel.gov/downloadDView>

⁸ Google sketchup: <http://www.sketchup.com/intl/es/product/gsu.html>

características físicas de los materiales usados en la construcción se convierten en la materia prima utilizada por el software para la realización del análisis lumínico y visual.

- Aunque el software *Energy-Plus* fue desarrollado por el Departamento de Energía de Estados Unidos y es trabajado en países que presentan estaciones climáticas, parece presentar resultados aceptables en un clima tropical como es el clima de la ciudad de Bucaramanga debido a que el software posee la opción de crear los archivos climáticos de entrada los cuales pueden realizarse directamente en la zona de estudio.
- El desarrollo de esta investigación constituye un insumo práctico para la realización de futuros análisis energéticos del confort térmico y confort visual de edificaciones que estén orientadas al aprovechamiento de las condiciones climáticas del entorno.

8. RECOMENDACIONES

- En vista de la importancia de la recolección de los datos de entrada que se deben suministrar al software, se sugiere documentar permanentemente y realizar actualizaciones continuas de los datos climáticos en las zonas donde pretenda realizar construcciones en años futuros.
- A los grupos de investigación de la Universidad Industrial de Santander relacionados con análisis energético se recomienda hacer uso de software libres como *Energy-Plus* y *Dialux* para el diseño de edificaciones futuras que permitan contribuir y fomentar la cultura de aprovechamiento de las condiciones climáticas del entorno, convirtiendo así a la UIS en un modelo de referencia en el desarrollo sostenible en la región.
- Con el objetivo de mejorar el nivel de análisis del software y exista un nivel de aprovechamiento mayor de sus funciones y características, se recomienda la elaboración de estudios posteriores sobre características térmicas, que incluyan el uso de instrumentos de climatización (aires acondicionados, calefactores), motores y zonas con alta presencia de personal, en las simulaciones.
- Al grupo de investigación GISEL se le recomienda formular y desarrollar estudios complementarios que permitan comparar la eficiencia de diferente software tales como *DesignBuilder* y *Ecotec* respecto a *Energy-Plus*, permitiendo la identificación de fortalezas y debilidades de cada uno de ellos para mejorar la práctica de la arquitectura bioclimática.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] International Energy Agency, "<http://www.hipernova.cl/Notas/Energias-renovables-insuficiencia.html>." [Online]. Available: www.iea.org. Fecha de consulta: Enero 2013.
- [2] F. C. D'Amico, "<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n14/afcel.html>." Fecha de consulta: Enero 2013.
- [3] "<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/gettingstarted.pdf>." Fecha de consulta: Enero 2013.
- [4] "http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_documentation.cfm." Fecha de consulta: Enero 2013.
- [5] I. Esp, "Estudio energético con EnergyPlus e implementación del sistema de climatización con CYPE Ingenieros del edificio de oficinas de INEF Lleida," 2011. Fecha de consulta: Enero 2013.
- [6] A. Mart and C. O. Vocatoria, "ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE UN EDIFICIO CON ENERGY PLUS TITULACIÓN: Ingeniería Técnica Industrial en Electrónica Industrial," 2010. Fecha de consulta: Enero 2013.
- [7] Jorge, A., Romero, C., Allan, Chin, Wo, and C, "<http://www2.eie.ucr.ac.cr/~jromero/sitio-TCU-oficial/edificio-energeticamente-eficiente/Manual-Edificios-Energeticamente-Eficientes.pdf>," no. Fecha de consulta: Enero 2013. Fecha de consulta: Enero 2013.
- [8] ICARO, "<http://editorial.dca.ulpgc.es/ftp/icaro/Manual-5-OBJETIVOS+.pdf>." Fecha de consulta: Enero 2013.
- [9] "<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>." Fecha de consulta: Enero 2013.
- [10] "<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/gettingstarted.pdf>." Fecha de consulta: Enero 2013.
- [11] "Sección 490 RETILAP." Fecha de consulta: Enero 2013.
- [12] "<http://www.dial.de/DIAL/es/dialux.html>." Fecha de consulta: Enero 2013.
- [13] G. I. Conectiva, "<http://www.grupoconectiva.com/niveles.html>." Fecha de consulta: Enero 2013.
- [14] Real Academia Española, "<http://www.rae.es/rae.html>." Fecha de consulta: Enero 2013.

- [15] J. L. Morales Fernandez, “[http://www.tenmars.com/.](http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=Un+lux%C3%B3metro+(tambi%C3%A9n+llamado+luxmetro+o+light+meter)+es+un+instrumento+de+medici%C3%B3n+que+permite+medir+simple+y+r%C3%A1pidamente+la+iluminancia+real+y+no+subj+etiva+de+un+ambiente.+La+unidad+de+medida.” Fecha de consulta: Enero 2013.</p><p>[16] TEMMARS, “<a href=)” Fecha de consulta: Enero 2013.
- [17] PCE, “ [Fecha de consulta: Enero 2013.](http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/unidades-temperatura.htm.” Fecha de consulta: Enero 2013.</p><p>[18] NREL, “<a href=)
- [19] ICARO, “[99](http://editorial.dca.ulpgc.es/ftp/icaro/Manual-1-ILUMINACION.pdf.” Fecha de consulta: Enero 2013.</p></div><div data-bbox=)

ANEXOS

ANEXO A MEDICIONES DE VARIABLES ASOCIADAS AL CONFORT VISUAL Y TÉRMICO

Iluminación

Con esta variable se pretende conseguir un nivel de iluminación dependiendo al uso que se quiere dar al espacio iluminado y el nivel dependerá de la tarea que los usuarios hayan a realizar.

El lux (símbolo lx) es la unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades para la iluminancia o nivel de iluminación equivale a un lumen /m². Se usa en fotometría como medida de la intensidad luminosa, tomando en cuenta las diferentes longitudes de onda según la función de luminosidad, un modelo estándar de la sensibilidad a la luz del ojo humano [13], [14].

La intensidad lumínica de algunas fuentes de iluminación y lugares de alimentación son:

- Sol de verano – de 5000 a 10000 lux
- Luz diurna en un día nublado – 5000 lux
- Luna llena – 0,5 lux
- Iluminación de trabajo – 500 a 1000 lux
- Iluminación del hogar (salón) – 150 lux

Medición del nivel de iluminación

Un luxómetro (también llamado lux metro o light meter) es un instrumento de medición que permite medir simple y rápidamente la iluminancia real y no subjetiva de un ambiente. La unidad de medida es lux (lx). Contiene una célula fotoeléctrica que capta la luz y la convierte en impulsos eléctricos, los cuales son interpretados

y representada en un *display* o aguja con la correspondiente escala de luxes [14], [15].

El luxómetro moderno funciona según el principio de una celda (célula) C.C.D. o fotovoltaica; un circuito integrado recibe una cierta cantidad de luz (fotones que constituyen la "señal", una energía de brillo) y la transforma en una señal eléctrica (analógica). Esta señal es visible por el desplazamiento de una aguja, el encendido de diodo o la fijación de una cifra. Una fotorresistencia asociada a un ohmímetro desempeñaría el mismo papel [15].

Un filtro de corrección de espectro permite evitar que las diferencias de espectro falseen la medida (la luz amarilla es más eficaz que la azul, por ejemplo, para producir un electrón a partir de la energía de un paquete de fotones) [15].

Los luxómetros pueden tener varias escalas para adaptarse a las luminosidades débiles o las fuertes (hasta varias decenas de millares de luxes). En la figura A1. se observa el luxómetro utilizado para recopilar la información de iluminación en las zonas escogidas [15] con especificación de un $\pm 6\%$ de error en las medidas.



Figura A1. Medidor digital de iluminación [16]

Temperatura

La temperatura es una magnitud física que expresa el grado o nivel de calor o frío de los cuerpos o del ambiente [17].

A través de la medición de la temperatura ambiente se determinará la condición térmica de las diferentes áreas de trabajo, siendo esto fundamental en el análisis energético de espacios ya que permite evaluar unos de los factores principales del confort térmico [17].

Los grados Celsius unidad de medida dada por el Sistema Internacional de Unidades o también denominado grado centígrado, se representa con el símbolo °C. Esta unidad de medida se define escogiendo el punto de congelación del agua a 0°C y el punto de ebullición del agua a 100°C, ambas medidas a una atmósfera de presión, y dividiendo la escala en 100 partes iguales en las que cada una corresponde a 1 grado [17].

Medición de temperatura y humedad

La medición de temperatura se realiza con un medidor digital de temperatura y humedad como se presenta en la Figura A2, el cual registra la temperatura ambiente del lugar utilizando como unidad de medida los grados Celsius o Fahrenheit, además expone el porcentaje de humedad en el ambiente circundante con una especificación de un $\pm 6\%$ de error en las medidas. El medidor de temperatura debe ser localizado en el punto de medición durante un tiempo prudencial para estabilizar la medida debido a que el cambio en la temperatura no será instantáneo.



Figura A2. Medidor digital de temperatura y humedad

ANEXO B GOOGLE SKETCHUP

Google SketchUp es un programa de diseño 3D muy fácil de usar que permite crear, compartir y presentar modelos 3D. La potencialidad de este software se incrementa con los plug-in (complementos) que se pueden descargar e instalar. Por ejemplo, el plug-in OpenStudio el cual permite exportar los diseños creados como archivos de entrada para *Energy-Plus*. Los modelos 3D creados con SketchUp pueden geo localizarse en Google Earth.

Este programa de dibujo se presenta en dos versiones, una gratuita, la cual fue utilizada para el desarrollo del proyecto, y una versión profesional la cual es paga. La versión gratuita se puede descargar desde su página oficial <http://www.sketchup.com/intl/es/download/>.

SketchUp fue diseñado con el objetivo de que pudiera usarse de una manera intuitiva y flexible. El programa incluye en sus recursos un tutorial en vídeo para ir aprendiendo paso a paso cómo se puede ir diseñando y modelando el propio ambiente.

SketchUp permite conceptualizar y modelar imágenes en 3D de edificios, coches, personas y cualquier objeto o artículo que imagine el diseñador o dibujante. Además el programa incluye una galería de objetos, texturas e imágenes listas para descargar.

Una vez instalado el programa, al ejecutarlo, se inicia con una interfaz de aspecto limpio, que se puede dividir en:

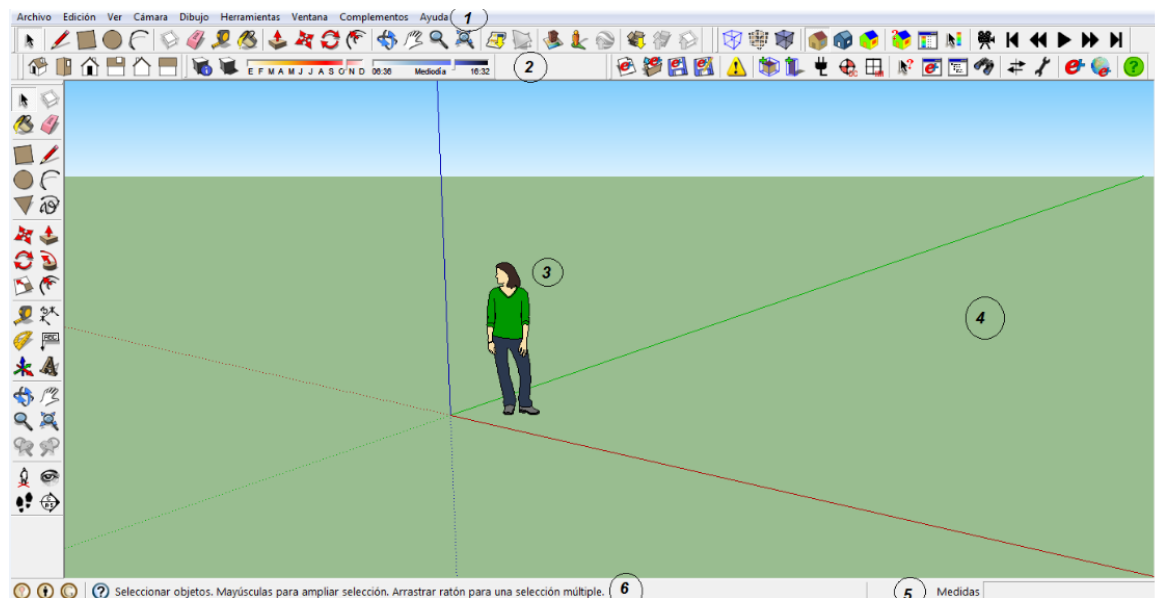


Figura B1. Interfaz SketchUp

- 1. Barra de menú**
- 2. Barra de herramientas:** Situada en la parte superior de la interfaz, contiene todas las herramientas y opciones necesarias para manejar Google SketchUp con facilidad.
- 3. Modelo de referencias:** Transmite la sensación del espacio tridimensional.
- 4. Área de dibujo:** Es el espacio en donde se crea el modelo. El espacio 3D del área se identifica visualmente mediante los ejes de dibujo, que son tres líneas de colores perpendiculares entre sí. Estos ejes pueden ser de ayuda para dar un sentido de la dirección en el espacio 3D mientras se está trabajando.
- 5. Barra de estado**
- 6. Cuadro de control de valores**

En SketchUp el valor eje “X” positivo negativo se representan mediante líneas rojas continuas o punteadas, respectivamente; el eje “Y” positivo negativo se representa respectivamente mediante líneas de ejes verdes continuas o punteadas; y el eje “Z” positivo o negativo (por encima o por debajo del suelo) se representa mediante líneas azules continuas o punteadas. El plano en el que

descansan las líneas de eje roja y verdes se denomina plano de suelo. Por último el termino origen se emplea para definir el lugar donde se inician todas las líneas de eje.

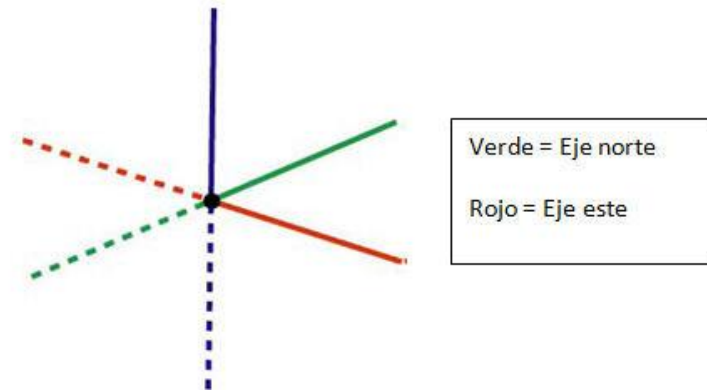


Figura B2. Eje SketchUp

Además cuenta con una barra de herramientas adicional llamada conjunto grande de herramientas. Para desplegar esta barra, en la barra de menú se selecciona Ver-Barra de herramientas –conjunto grande de herramientas, y podrá observar la siguiente barra:



Figura B3. Conjunto grande de herramientas

ANEXO C PLUGIN OPENSTUDIO

OpenStudio es un *plugin* gratuito para el programa de dibujo Google *SketchUp* 3D el cual ayuda a crear y editar la geometría de la construcción en los archivos de entrada de *Energy-Plus* utilizando las herramientas estándar de *SkethUp*, además permite lanzar simulaciones *Energy-Plus* y ver los resultados sin salir del programa de dibujo.

Al instalar *OpenStudio* se introducirán al menú de herramientas de *SketchUp* algunos submenús que permiten un manejo más sencillo y directo del *plugin*, alguno de estos son:

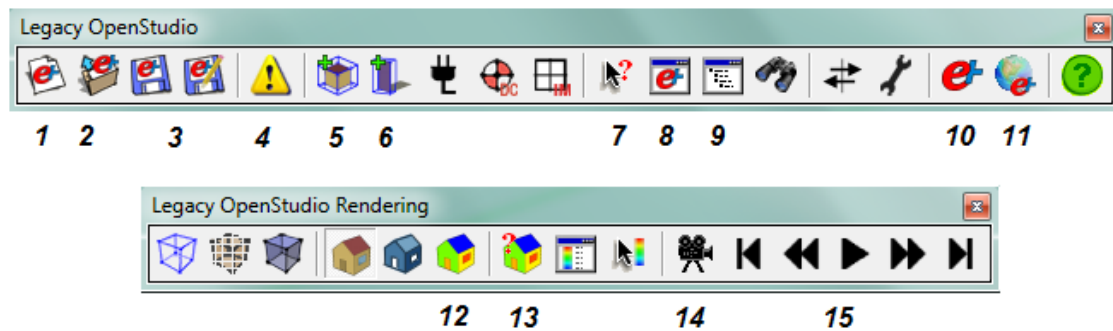


Figura C1. Submenús plugin Openstudio

- 1. Nuevo archivo *Energy-Plus*:** Crea un nuevo archivo de entrada para *Energy-Plus*. El nuevo archivo se genera en una plantilla que incluye varios objetos de entrada que son necesarios para todos los archivos de entrada de *Energy-Plus*. Puede editar el archivo directamente en la plantilla teniendo en cuenta que estos solo se guardaran en la memoria temporal de *SkethUp* hasta que se guarde el archivo en la ubicación deseada.
- 2. Abrir archivo *Energy-Plus*:** Abre un archivo existente de entrada a *Energy-Plus* utilizando las herramientas de grupos, caras y aristas de

SkethUp. Cualquier cambio que se realice en el diseño mostrado en *SkethUp* se actualizara en el archivo de entrada de *Energy-Plus*.

3. **Guardar:** Guarda el archivo de entrada a *Energy-Plus* en su dirección actual o si realiza la acción de guardado por primera vez podrá guardar su archivo en la dirección deseada.
4. **Muestra errores y advertencias:** Muestra los errores y advertencias de comandos que se generan dentro de un archivo de *Energy-Plus*, esta notificación se mostrará en una ventana de dialogo. Estos errores y advertencias pueden incluir problemas de geometría común o errores en la sintaxis de entrada del archivo.
5. **Nueva zona:** Se creara una nueva zona de análisis en el archivo de entrada la cual esta resaltada con un rectángulo azul. Con el cursor situado sobre el punto de construcción, haga doble clic en él para comenzar a editar la zona utilizando las herramienta de *SkethUp*, cabe resaltar cualquier entidad creada se definirá dentro de esta zona sin importar que se encuentre dentro del rectángulo azul de demarcación de nueva zona.
6. **Sombreado:** Esta herramienta funciona de manera casi idéntica a la herramienta de nueva zona, a excepción de que cualquier nueva construcción que se trace en el interior del grupo, inmediatamente se agregara un sombreado independiente de la nueva superficie para el archivo de entrada, en lugar de las superficies de transferencia de calor.
7. **Herramienta de información:** Muestra información sobre la cara en la cual se está trabajando, aunque es una información momentánea.

- 8. Información de objeto:** Muestra una ventana de dialogo con información sobre el objeto que está seleccionado actualmente. El contenido del cuadro de dialogo “Información de objetos” dependerá de la selección actual además se actualizara de forma dinámica mostrando la información al cambiar de selección. Si se desea información general de archivo de entrada se obtendrá haciendo clic en información de objeto al no tener ninguna objeto seleccionado, así mismo mostrara la información de una zona de trabajo o una estructura particular como muros, techos, pisos etc.
- 9. Perfilador:** Muestra todos los objetos que existen en el modelo. Muestra ua lista de cada zona y las respectivas estructuras existente en ellas.
- 10. Simular:** Muestra una ventana de dialogo donde se puede seleccionar y ejecutar opciones de control de simulación. Al oprimir la opción correr del cuadro de dialogo el motor de *Energy-Plus* comenzará a ejecutar la simulación.

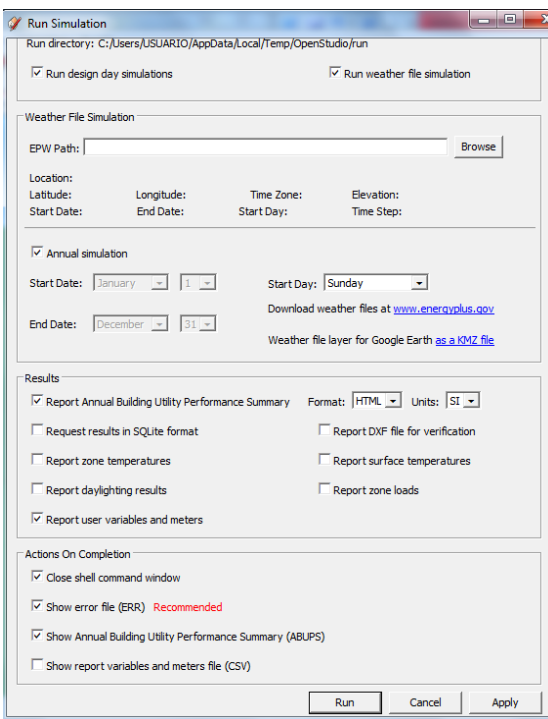


Figura C2. Cuadro de dialogo Submenú simular

11. Generador de archivos de ejemplo: Conecta con el departamento de energía en el caso que necesites descargar ejemplos de archivos de entrada para *Energy-Plus*.

12. Procesamiento de color: Una vez que el archivo se ha cargado en el periodo de ejecución seleccionado y los datos de la variable seleccionadas, el usuario puede ver el modelo resultante en una escala de color. Las superficies o zonas están coloreadas por el valor de la variable en un instante determinado en el tiempo. Utilizando la herramienta fecha y hora de *SkethUp* el usuario podrá visualizar los resultados en un momento deseado de la simulación. El usuario puede observar una barra de color para hacer referencia a los valores absolutos de la variable, o usar el cursor del valor de los datos.

13. Cuadro de dialogo: Permite a los usuarios seleccionar la salida de *Energy-Plus* (archivo .ESO) correspondiente al modelo simulado. Una vez cargado este archivo se podrá seleccionar la salida y periodos de tiempo en los cuales se desean observar los resultados.

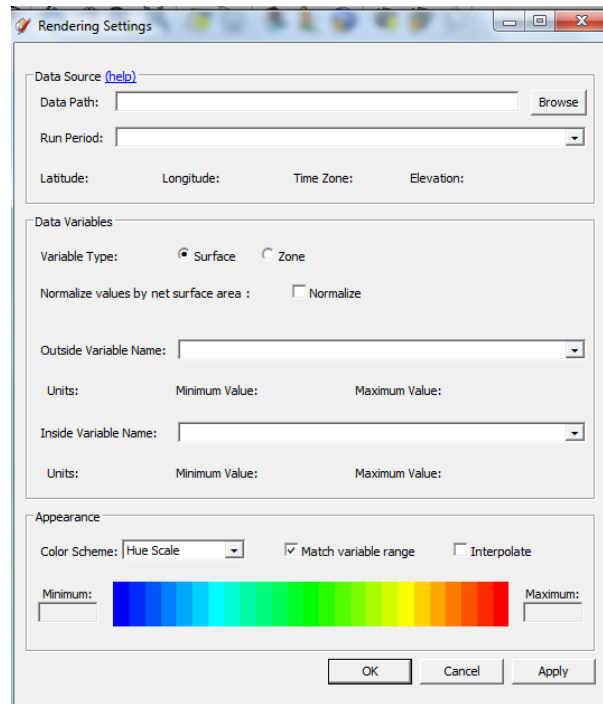


Figura C3. Carga de archivo ESO

14. Animación: Una vez que el archivo de ESO se carga en la memoria, el usuario puede ver como las variables cambian con el tiempo a lo largo de su modelo utilizando el comando Animación. El periodo de tiempo para ejecutar se puede configurar y el usuario puede configurar la animación de bucle continuo. No se podrá exportar este video, sin embargo una herramienta de captura de pantalla puede ser utilizada para grabar un video para su uso posterior.

15. Rebobinar, marchar y avanzar: Dar paso a la simulación durante el periodo de tiempo exigido.

ANEXO D DVIEW

Dview es un programa que muestra resultados en series de tiempo con una gran variedad de formatos. Está diseñado para observar archivos de tiempo con un muestreo horario, con énfasis particularmente en datos de tipo anuales. Dview abre archivos de texto y archivos de Excel que contengan cualquier tipo de datos cada hora, y reconoce varios formatos de archivos, incluyendo los EPW, que son los *Energy-Plus Weather File*, archivos meteorológicos propios de *Energy-Plus* [18].

Este software es de libre distribución y puede ser descargado de su página principal en <https://beopt.nrel.gov/downloadDView>.

Dview permite elegir dos ventanas y comparar resultados, solapando un gráfico encima de otro, abriendo dos ventanas a la vez y hacer múltiples comparaciones [18].

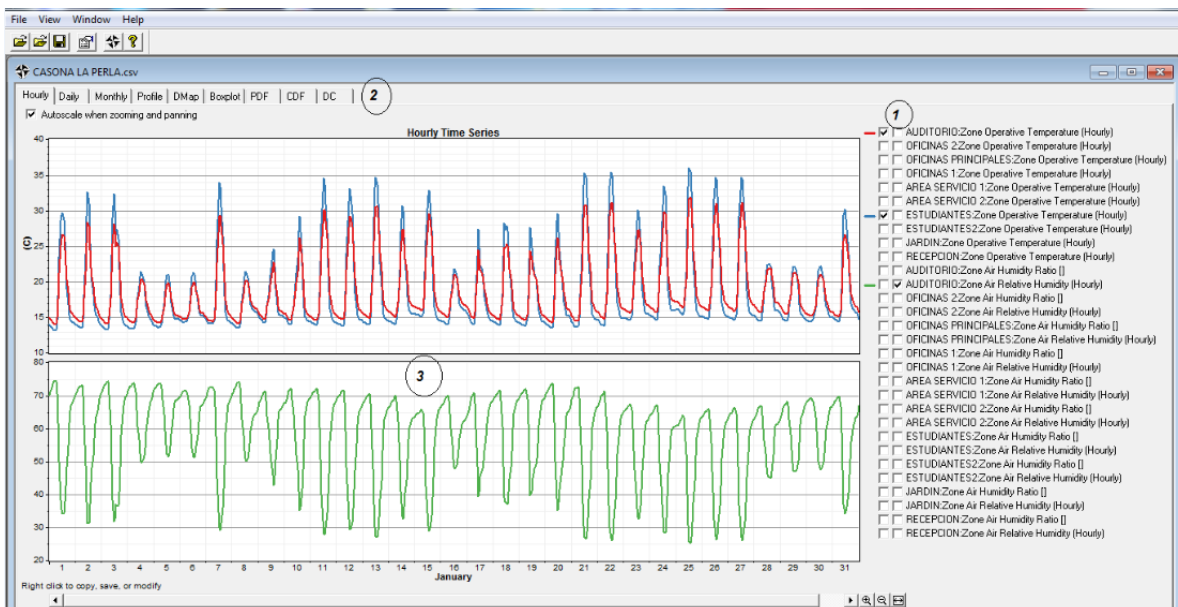


Figura D1. Entorno Dview

El número 1 mostrado en la Figura D1 se muestra la comparación de las variables, como se puede observar se tienen dos columnas de cuadros, si se eligen dos cuadros de la misma columna automáticamente se solapa un gráfico con otro, esto es de utilidad al tener variables de una misma magnitud por ejemplo la variación de la temperatura en dos áreas diferentes como es el caso de este proyecto.

Al seleccionar dos cuadros de diferente columna se mostraran las salidas como se indica en el numeral 3 de la gráfica, es decir dividirá la pantalla en dos mostrando cada una de las salidas en una de estas divisiones.

En la parte superior (2) se puede elegir diferentes maneras de ver las salidas, se podrá elegir el rango (diario, mensual, horario, etc.). En la pestaña *profile* se puede ver las medias de cada mes del año de la variable a elegir.

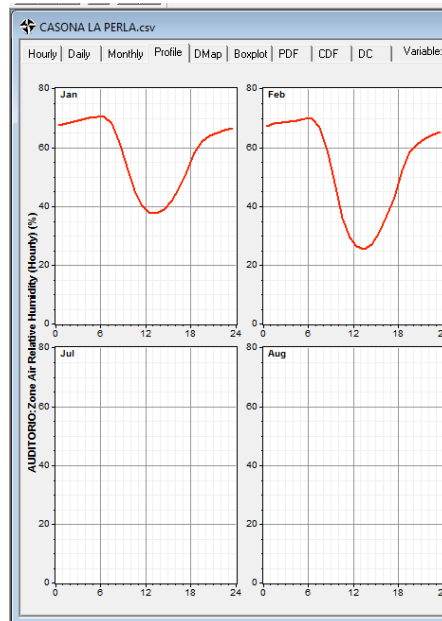


Figura D2. Ventana *profile Dview*

Otras de las características más importantes de *Dview* son las opciones de visualización *Dmap* que muestra un mapa de la distribución de la variable seleccionada y la opción *boxplot* donde se muestra dentro de cada mes la media alta diaria y la media baja diaria, por ejemplo de temperatura.

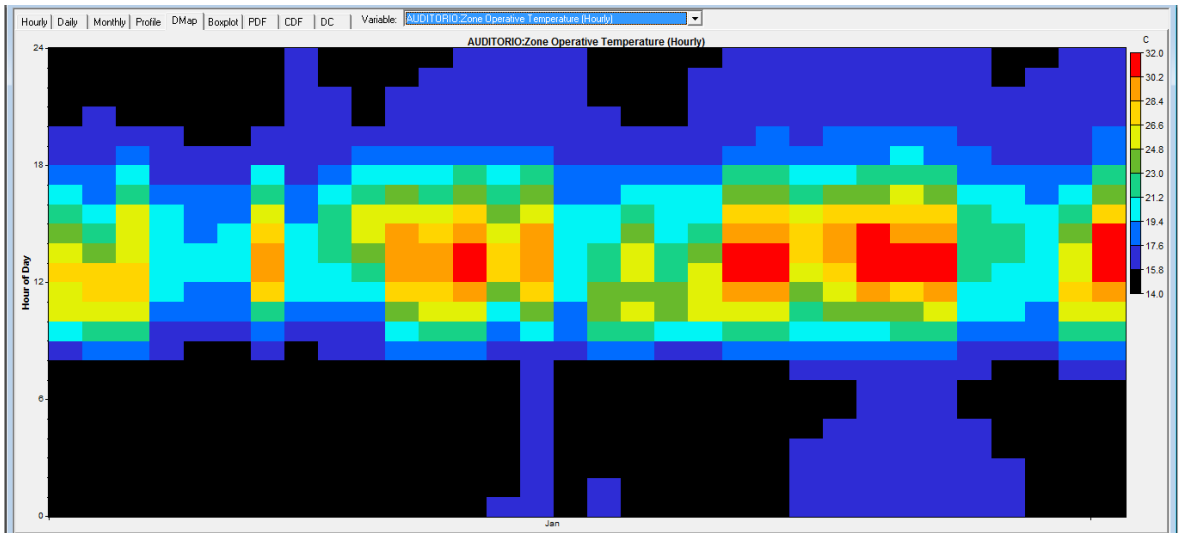


Figura D3. Visualización Dmap

ANEXO E SOLEA-2

El programa Solea-2 es una herramienta que permite predecir los niveles de iluminación exterior existentes durante un día sobre ventanas situadas en fachadas con cualquier orientación, inclinación, latitud y época del año, considerando la altura media de las obstrucciones visuales y la reflectancia media del entorno [19].

a.) Ejemplo de análisis a partir de Solea-2

Al observar la Figura E1 a partir de Solea-2⁹, con 7,13 grados de latitud y el día 29 de Enero, se puede interpretar la cantidad de irradiancia solar sobre cada fachada a determinada hora. Se observa que el sol realiza su recorrido de oriente a occidente con inclinación al sur para este periodo del año. (Posee mayor irradiancia el sur que el norte durante todo el día), por tanto las paredes o puntos con mayor iluminación en el día serán los que permitan el acceso de luz desde el oriente en horas de la mañana, occidente en horas de la tarde y sur en todo el día.

⁹ Programa que calcula la intensidad solar instantánea y diaria

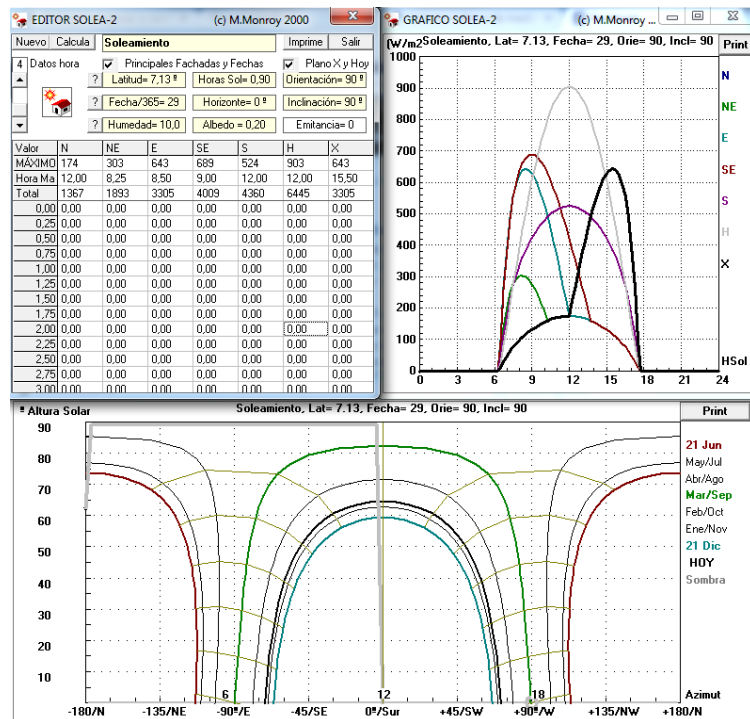


Figura E1. Información de soleamiento de la Zona de Descanso del día 29 de Enero a partir de Solea-2

Sin considerar los obstáculos que impiden el paso libre de la luz solar y que el análisis es válido para esta época del año, a continuación se relacionan los puntos de medición presentados en la Figura E2 y los niveles de iluminación de Figura E1.

- Los puntos 1-5 deben tener mayor cantidad de iluminación en las horas de la tarde, ya que reciben luz del sur (línea violeta) y del occidente (línea negra) pero en la mañana también reciben buena cantidad de luz proveniente del sur, por lo cual la diferencia en el nivel de iluminación se espera que sea mínima;
- Los puntos 6-10 reciben poca iluminación desde el norte (línea azul, oculta debajo de la línea negra de 6 a.m. a 12 m donde alcanza su máximo de iluminación y decae de 12m a 6 p.m. con un comportamiento simétrico a como ascendió en horas de la mañana), pero el oriente (línea celeste) ilumina esta zona en las horas de la mañana, así que se espera mayor cantidad de iluminación en las horas de la mañana que en las horas de la tarde para estos puntos;

- Los puntos 11-13 deben tener mayor iluminación en las horas de la mañana por recibir iluminación tanto del oriente como del sur, a comparación de las horas de la tarde donde solo reciben del sur.

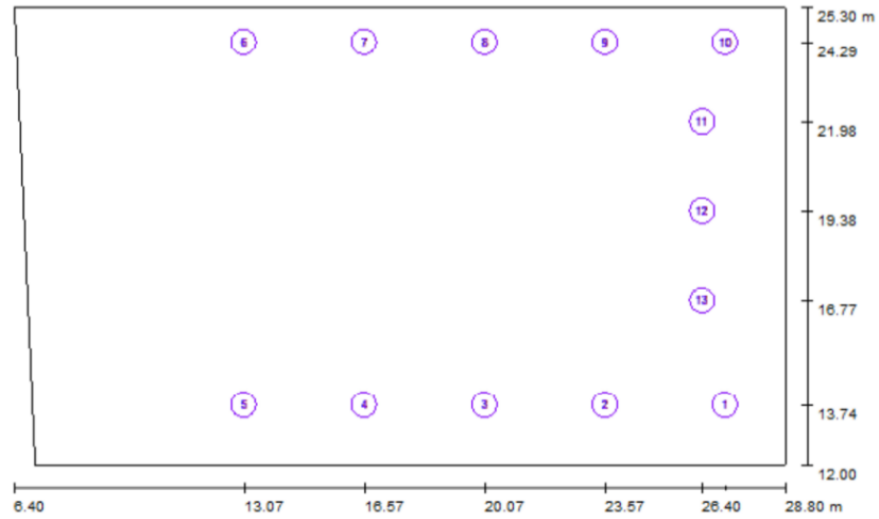


Figura E2. Puntos de medición Zona de Descanso

ANEXO F DIALux

A continuación se muestran los pasos utilizados para el desarrollo de las simulaciones con DIALux en la edificación la casona la perla.

Para empezar se debe tener instalado el software de licencia gratuita, en este caso la versión que se utilizara será la 4.10.0.2 que aparece actualmente en la página: <http://www.dial.de/DIAL/es/dialux/download.html>

Ya teniendo instalado el software se dirige al icono, Figura F1, que aparece en el escritorio o bien en “todos los programas”, y se accede a él.

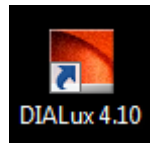


Figura F1. Ícono DIALux

Al acceder al programa se encuentra una bienvenida donde se debe elegir cualquiera de las 6 opciones del programa o la X con la cual se cierra esta pantalla de bienvenida, como se observa en la Figura F2.



Figura F2. Pantalla de bienvenida DIALux

En este caso, se da clic en nuevo proyecto interior.

Seguido a eso aparece en la parte izquierda de la pantalla, un recuadro como se observa en la Figura F3, que pide las dimensiones del lugar, en este caso particular se tomaran dos zonas de la Casona La Perla denominadas “Auditorio” y “Eventos” y se estudiara por aparte detalladamente cada división.

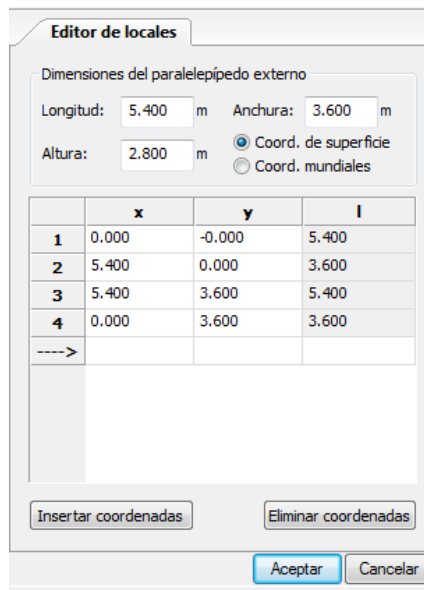


Figura F3. Editor de locales DIALux

Antes de introducir los datos reales de las dimensiones, se hace clic en aceptar y luego se procede a cargar el diseño completo de la casona la perla que se tiene en archivo AutoCAD. Para esto, como se observa en la Figura F4, dirigirse a Archivo > Importar > Archivo DWG o DXF...

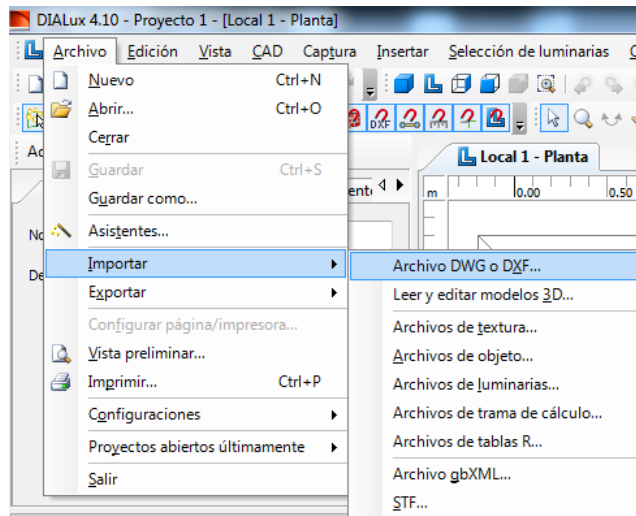


Figura F4. Importar archivo DWG

Aparece en pantalla el asistente para la importación de un dibujo CAD, Figura F5.

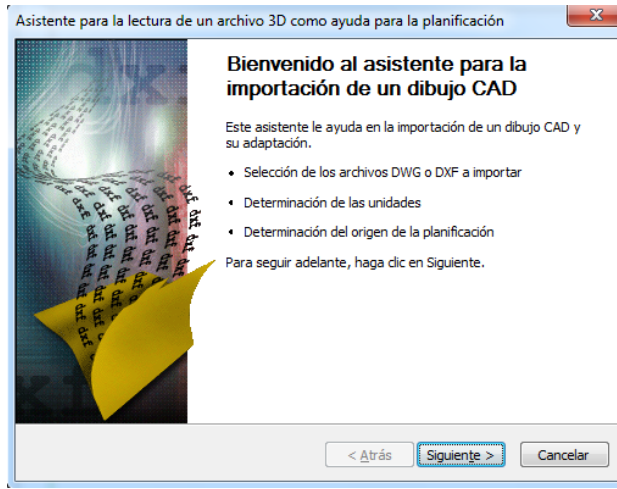


Figura F5. Asistente de importación paso 1

Se da clic en siguiente.

La Figura F6 muestra el paso 2 del asistente y se da clic en buscar.

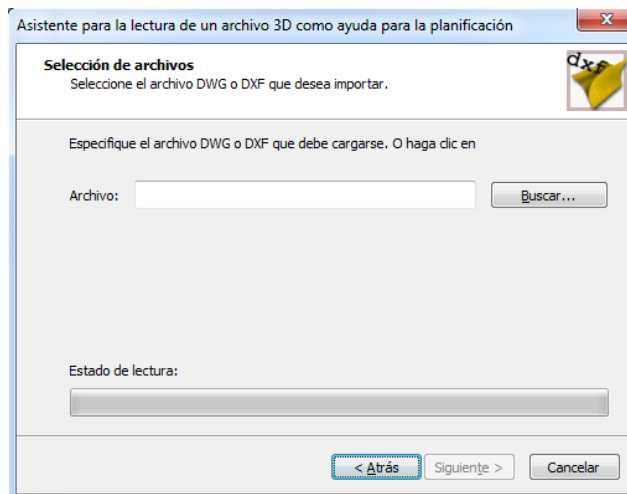


Figura F6. Asistente de importación paso 2

Seguido a eso sale en pantalla la Figura F7, se busca la ubicación del archivo, se selecciona y se da clic en abrir.

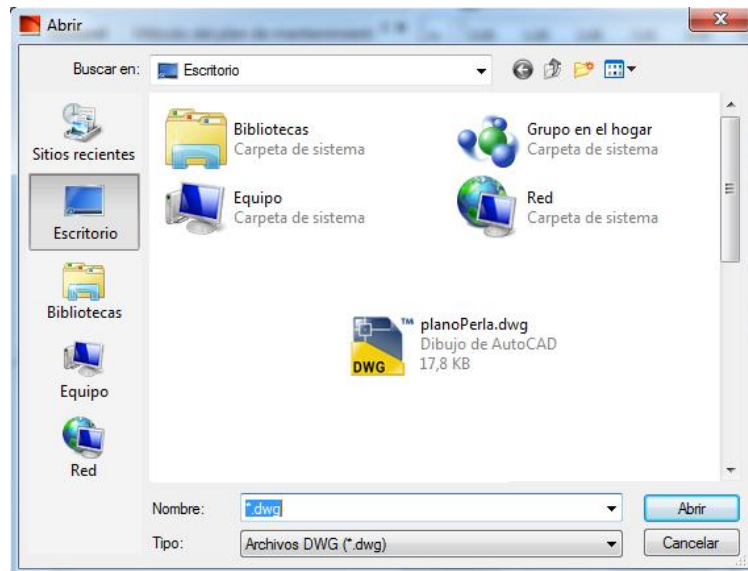


Figura F7. Asistente de importación paso 3

Ya teniendo el archivo cargado se da clic en siguiente en la Figura F8.

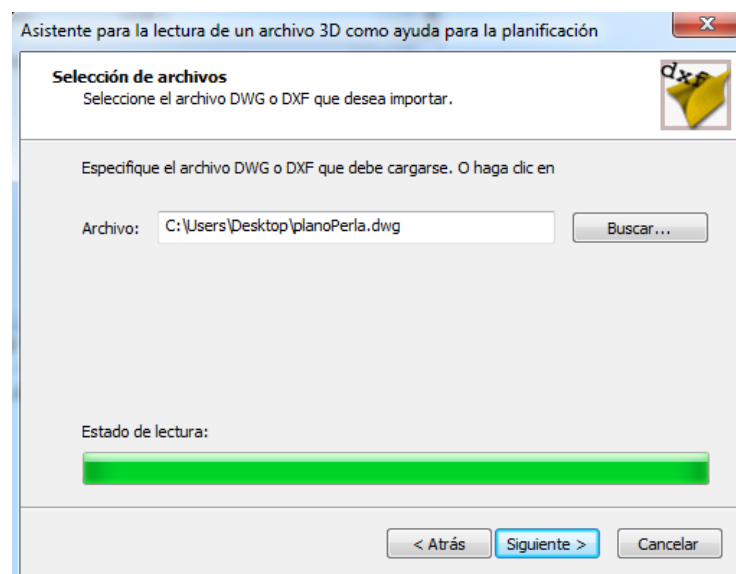


Figura F8. Asistente de importación paso 4

En la Figura F9 se seleccionan las unidades en el archivo y se observa debajo de esto cual será el ancho y altura del dibujo. Luego de comprobar que estén bien los datos, se da clic en siguiente.

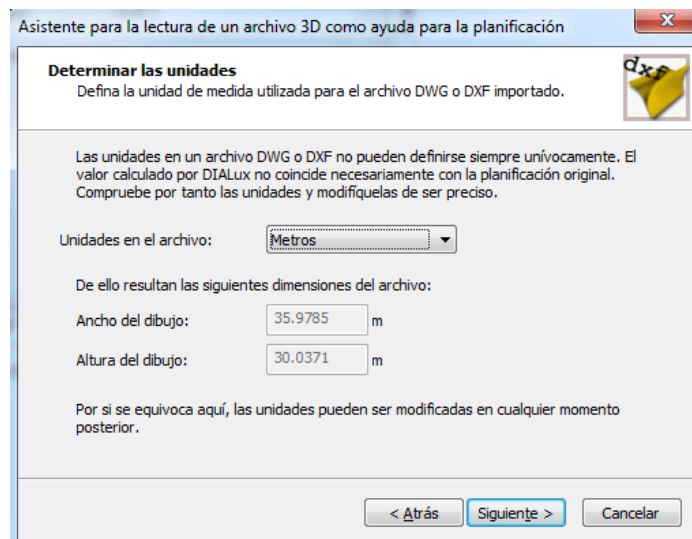


Figura F9. Asistente de importación paso 5

En la Figura F10 se dan las coordenadas para ubicar el plano y se da clic en siguiente.

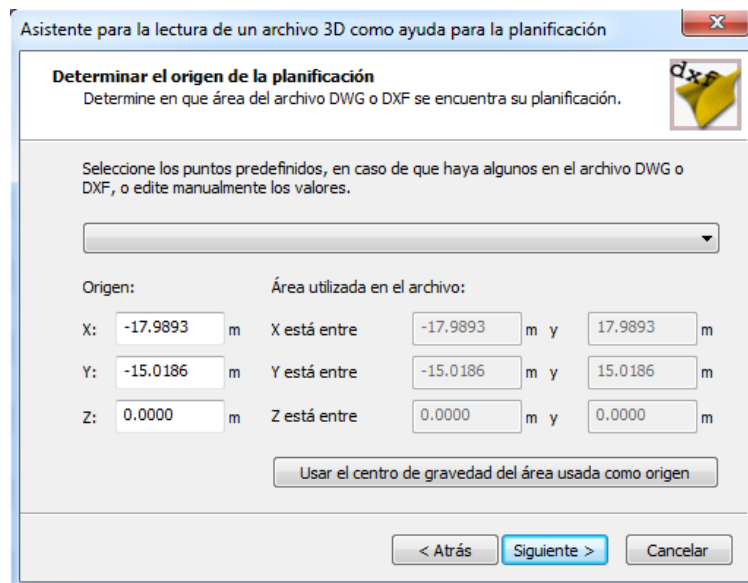


Figura F10. Asistente de importación paso 6

Y por último en la Figura F11 se da clic en finalizar.

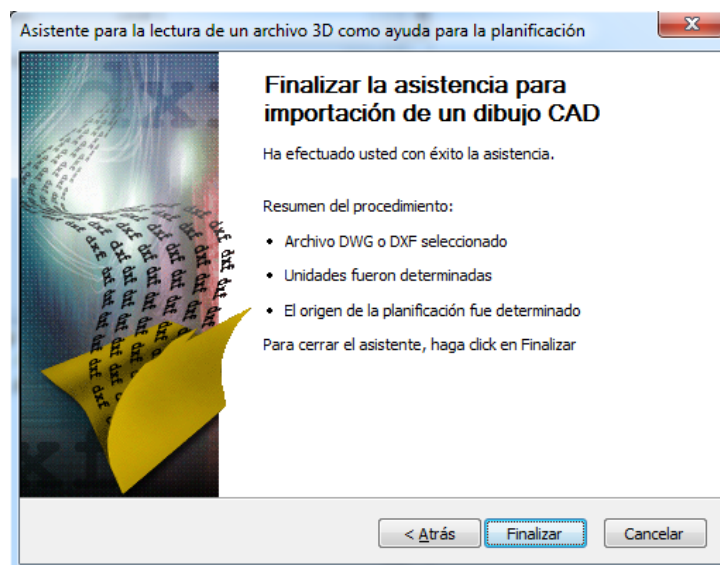


Figura F11. Asistente de importación paso 7

Aparece en pantalla el plano de la edificación Figura F12, en este caso el de la casona la perla.

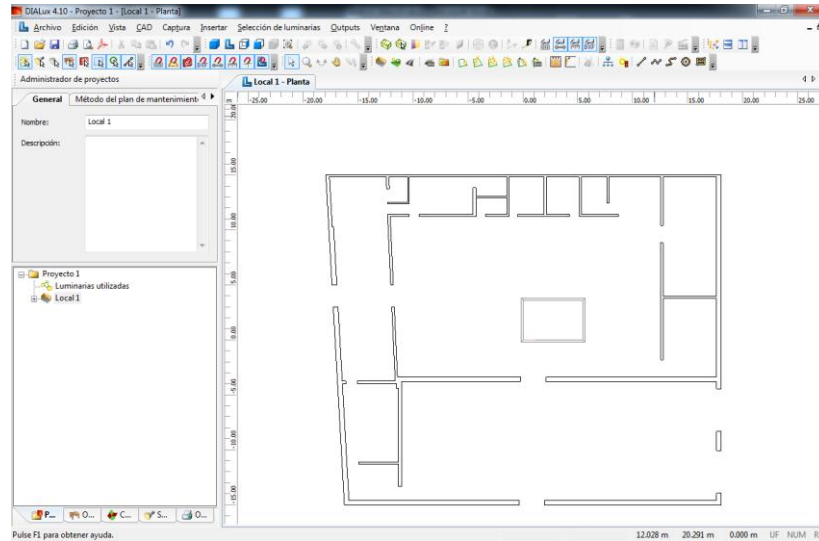


Figura F12. Plano la Casona La Perla

Lo siguiente es darle al programa la orientación del edificio, haciendo clic en local 1, luego se da clic en la flecha de la derecha encerrada en rojo Figura F13, la cual se encuentra en la parte superior izquierda de la pantalla, hasta llegar a la pestaña con el nombre de orientación.

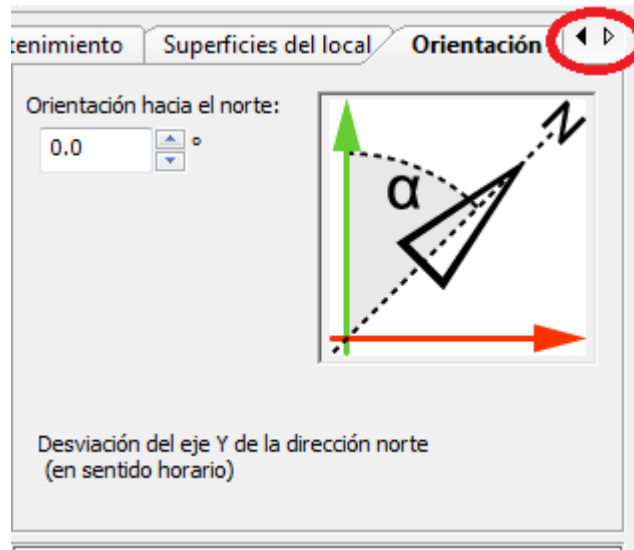


Figura F13. Orientación del plano

En este caso el norte está a 126°, se escribe donde dice 0.0 y queda como se muestra en la Figura F14.

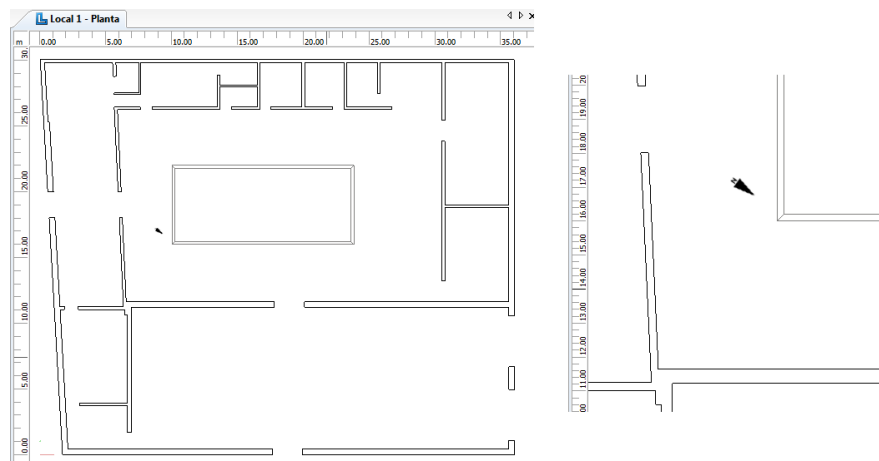


Figura F14. Vista planta orientación del plano

Donde la flecha en negro nos indica el Norte de la edificación.

Ahora se procede a editar la geometría del local, para esto se da clic derecho en cualquier parte del plano y luego se da clic en elaborar geometría del local, como se muestra en la Figura F15.

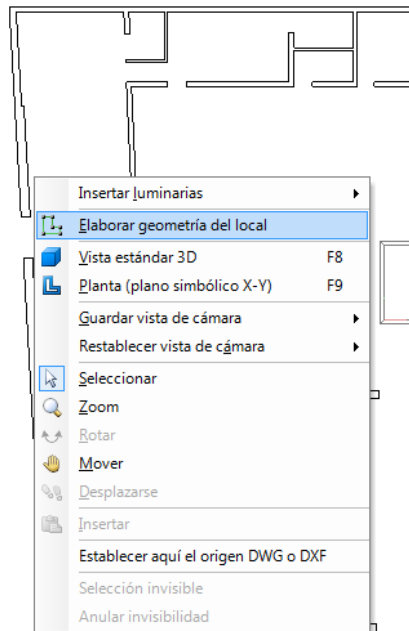


Figura F15. Paso para elaborar geometría del local

Para este anexo se muestra el desarrollo de la zona auditorio, para el desarrollo de la zona de eventos solo sería aplicar el procedimiento similar al que se muestra a continuación.

El método más sencillo ya teniendo el plano del lugar es editar cada local arrastrando las esquinas del local a las respectivas esquinas en el plano, como se muestra en la Figura F16.

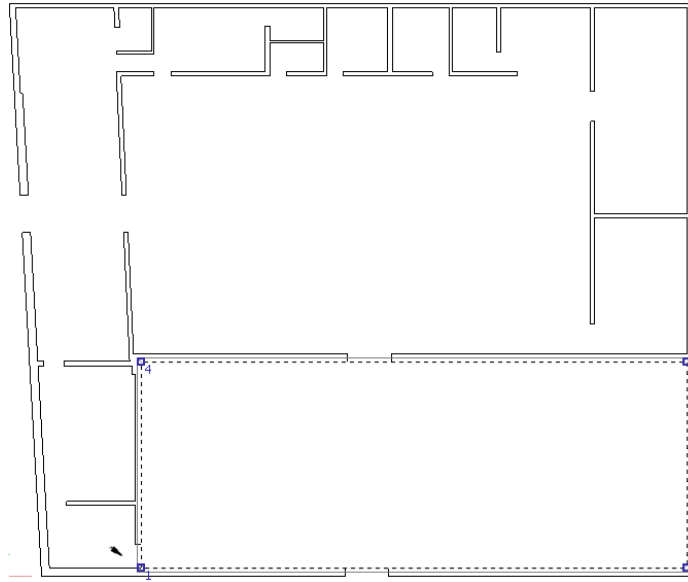


Figura F16. Edición zona auditorio

En la parte izquierda de la pantalla, como se observa en la Figura F17, se muestra la ubicación del local por coordenadas y la altura. Se cambia la altura a la respectiva de la zona auditorio y se da clic en aceptar.

Editor de locales

Dimensiones del paralelepípedo externo

Longitud: 26.025 m Anchura: 9.825 m

Altura: 5.000 m Coord. de superficie Coord. mundiales

	x	y	l
1	6.300	0.375	26.025
2	32.325	0.375	9.825
3	32.325	10.200	26.025
4	6.300	10.200	9.825
---->			

Figura F17. Editor de locales zona auditorio

Luego de dar aceptar se pulsa F8 en el teclado para ver la vista en 3D, Figura F18, y aquí se procede a agregar ciertos objetos como puertas, ventanas, escalones, inclinaciones del techo, entre otros.

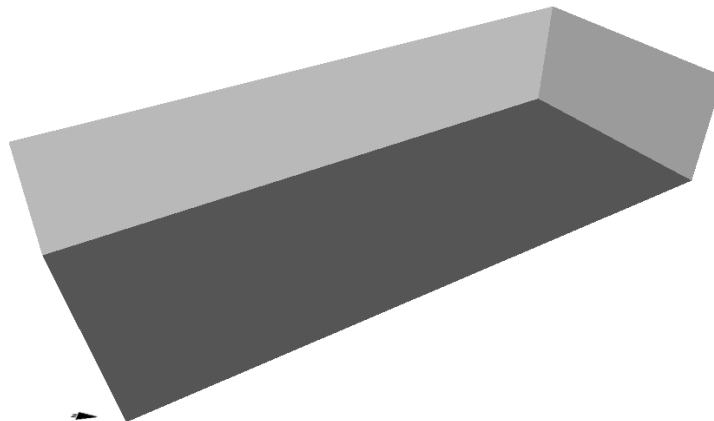


Figura F18. Vista 3D zona auditorio

Para agregar estos elementos se dirige a la segunda pestaña en la parte inferior izquierda de la ventana llamada objetos como se muestra en la Figura F19.

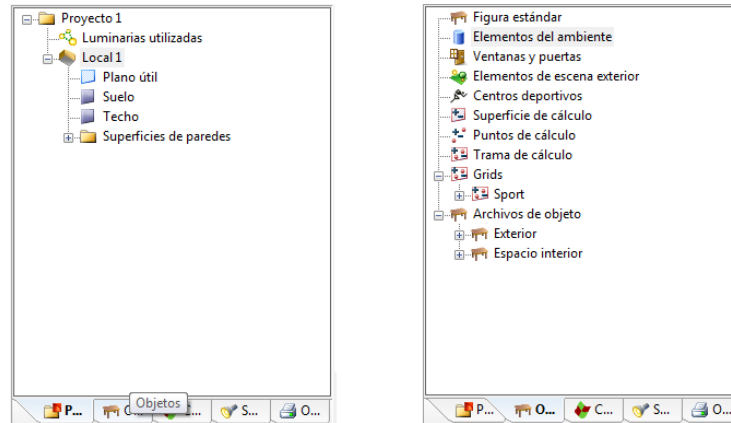


Figura F19. Objetos DIALux

Ya ubicado en objetos, se observan los diferentes tipos de elementos posibles a agregar los cuales permiten dar un modelo bastante aproximado de la realidad.

Aparte de estos elementos se agregan las superficies o puntos de cálculo donde se desea obtener los resultados de la simulación, Figura F20.

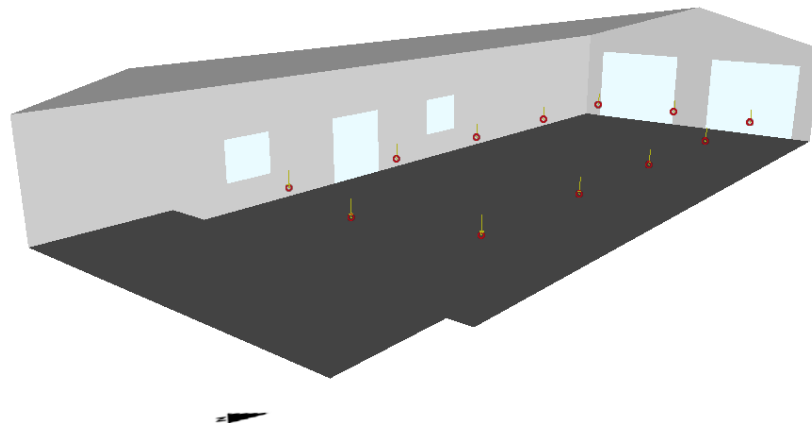


Figura F20. Puntos de cálculo zona auditorio

Ya teniendo la arquitectura del lugar lista, se procede a insertar la escena de luz, Figura F21, la cual permite determinar la cantidad de luxes en cada sitio a una altura determinada.

Para esto se dirige al menú insertar, escena de luz.

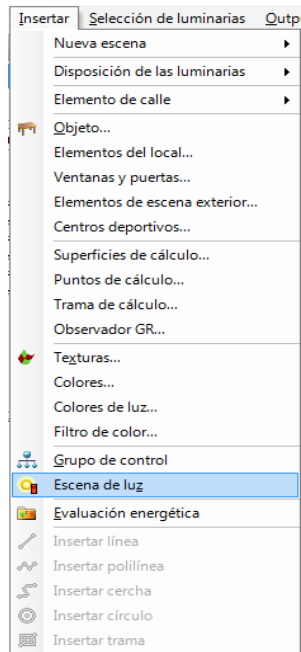


Figura F21. Insertar Escena de luz zona auditorio

Luego de dar clic en escena de luz, en la parte izquierda de la pantalla, como se muestra en la Figura F22, se da clic en factores de luz diurna.

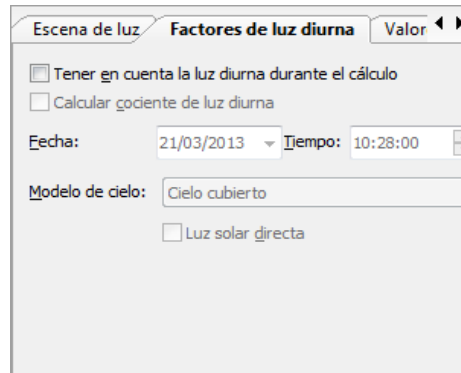


Figura F22. Factores de luz diurna

Como el cálculo de interés es el de luz diurna, damos clic en el cuadro tener en cuenta la luz diurna durante el cálculo.

Luego se selecciona la fecha, el tiempo, y el modelo de cielo, que para efecto de la simulación serán los días 29 y 30 de enero del 2013 en las horas de 9:30, 10:30, 11:30, 2:30, 3:30, 4:30; y el Modelo de cielo para todas las simulaciones se toma cielo despejado y se da clic en luz solar directa.

Otra utilidad del programa, es el plano útil como se muestra en la Figura F23, el cual da resultados a una altura determinada la cual viene por defecto a 0.85m.

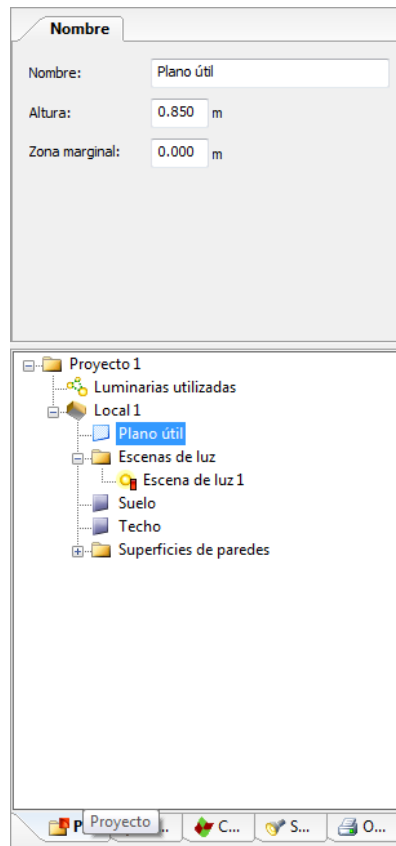


Figura F23. Plano útil zona auditorio

Por ultimo seleccionamos la ubicación geográfica del sitio, para esto se hace clic en la carpeta que dice proyecto 1 y en la parte de arriba se busca ubicación como se muestra en la Figura F24.

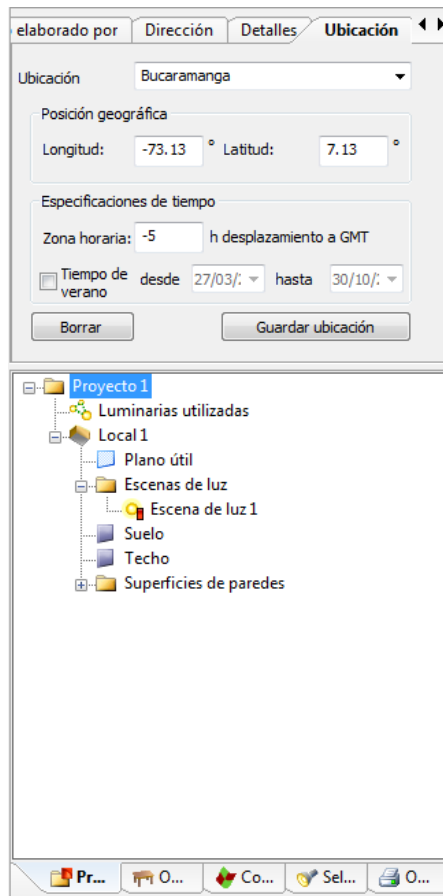


Figura F24. Ubicación geográfica zona auditorio

Ya estando ahí se cambia la longitud y latitud, se le da un nombre y se da clic en guardar ubicación.

Ya finalizado el proceso de introducción de parámetros queda solo simular, para esto se va a outputs, iniciar cálculo, como se muestra en la Figura F25.

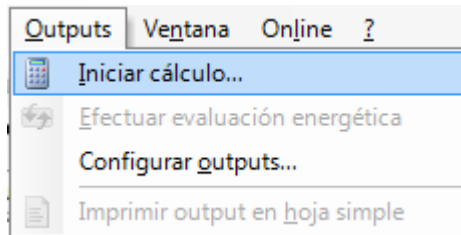


Figura F25. Iniciar cálculo DIALux

Se seleccionan las casillas tal como está en la Figura F26 y se da aceptar.

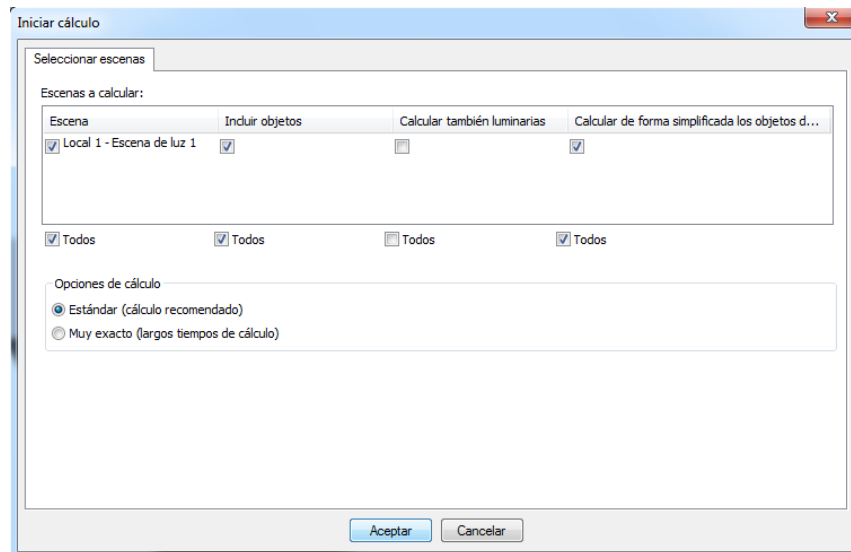


Figura F26. Cálculo DIALux

Luego sale en pantalla la Figura F27, donde el programa se encuentra simulando, lo cual toma unos minutos.

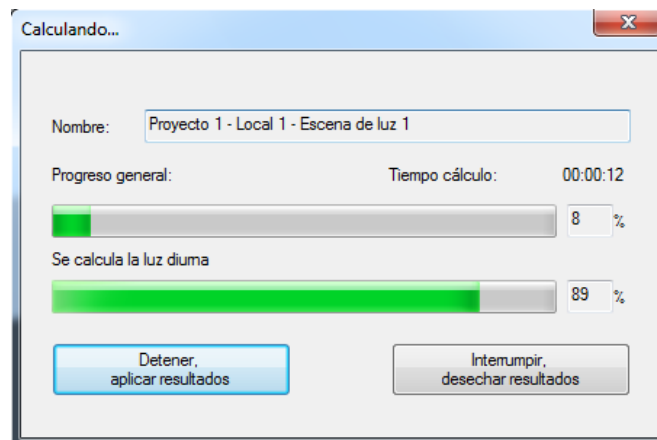
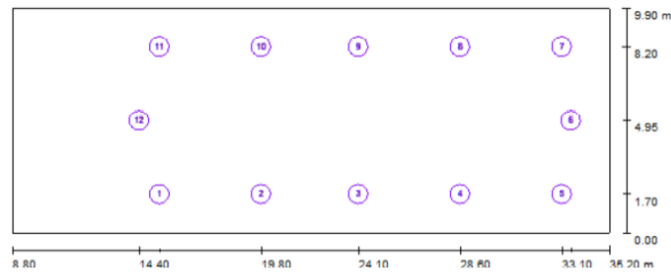


Figura F27. Calculando los resultados de simulación

Terminada la simulación se dirige a la quinta pestaña en la parte inferior izquierda de la pantalla llamada output, ahí se da doble clic en la carpeta proyecto 1, luego en local 1, más abajo doble clic en escenas de luz, luego en escena de luz 1 y por último se hace doble clic en puntos de cálculo (sumario de resultados), y se obtienen los resultados en los puntos deseados como se muestra en la Figura F28.

Local 1 / Escena de luz 1 / Puntos de cálculo (sumario de resultados)



Escala 1 : 189

Listado de puntos de cálculo

N°	Designación	Tipo	Posición [m]			Rotación [°]			Valor [lx]
			X	Y	Z	X	Y	Z	
1	Punto de cálculo libre 1	libre, plan	15.300	1.700	0.850	0.0	0.0	0.0	276
2	Punto de cálculo libre 2	libre, plan	19.800	1.700	0.850	0.0	0.0	0.0	357
3	Punto de cálculo libre 3	libre, plan	24.100	1.700	0.850	0.0	0.0	0.0	320
4	Punto de cálculo libre 4	libre, plan	28.600	1.700	0.850	0.0	0.0	0.0	281
5	Punto de cálculo libre 5	libre, plan	33.100	1.700	0.850	0.0	0.0	0.0	240
6	Punto de cálculo libre 6	libre, plan	33.500	4.950	0.850	0.0	0.0	0.0	227
7	Punto de cálculo libre 7	libre, plan	33.100	8.200	0.850	0.0	0.0	0.0	236
8	Punto de cálculo libre 8	libre, plan	28.600	8.200	0.850	0.0	0.0	0.0	153
9	Punto de cálculo libre 9	libre, plan	24.100	8.200	0.850	0.0	0.0	0.0	254
10	Punto de cálculo libre 10	libre, plan	19.800	8.200	0.850	0.0	0.0	0.0	275
11	Punto de cálculo libre 11	libre, plan	15.300	8.200	0.850	0.0	0.0	0.0	196
12	Punto de cálculo libre 12	libre, plan	14.400	4.950	0.850	0.0	0.0	0.0	141

Figura F28. Resultados DIALux

A continuación se muestran los resultados del día 30 de enero del 2013 en las dos zonas de simulación.

- Zona de eventos

La Tabla F1 muestra los resultados de la simulación en los 13 puntos seleccionados en las horas determinadas, para el día 30 de enero del 2013 en la zona de eventos.

Tabla F1. Datos de simulación 30 de enero del 2013 en la zona de eventos, unidades lx

Punto \ Hora	9:30	10:30	11:30	14:30	15:30	16:30
1	572	706	781	387	168	119
2	903	1140	1390	1103	1306	450
3	1030	1313	1634	1460	1547	913
4	1026	1344	1704	1552	1039	923
5	822	1085	1405	1455	1019	666

6	2914	2683	2377	1379	1205	944
7	3553	3145	2707	1492	1296	1016
8	3774	3286	2790	1496	1304	1026
9	3521	2966	2436	1197	1043	830
10	1546	1238	987	362	290	230
11	5005	4116	3165	1089	871	648
12	5251	4588	3759	1240	952	688
13	3690	3640	3225	1170	786	540

Se observa el comportamiento de los resultados en la Figura F29.

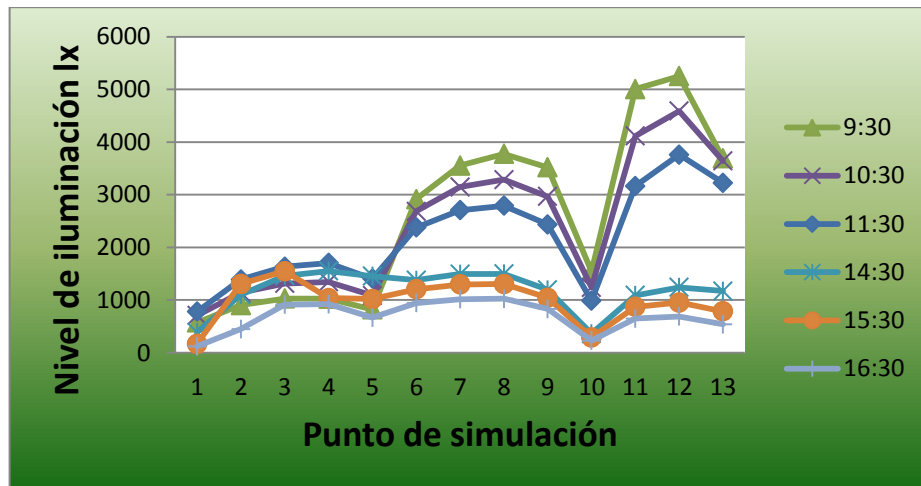


Figura F29. Datos de simulación 30 de enero del 2013 en la zona de eventos

- Zona auditorio

La Tabla F2 muestra los resultados de la simulación en los 12 puntos seleccionados en las horas determinadas, para el día 30 de enero del 2013 en la zona auditorio.

Tabla F2. Datos de simulación 30 de enero del 2013 en la zona auditorio, unidades lx

Punto \ Hora	9:30	10:30	11:30	14:30	15:30	16:30
1	438	396	356	235	203	153
2	635	583	526	352	300	220

3	408	385	353	241	203	142
4	391	361	327	224	191	132
5	230	223	201	154	141	108
6	130	125	120	103	106	71
7	146	154	152	113	107	61
8	150	151	148	104	87	51
9	179	185	178	145	137	116
10	188	194	191	164	156	132
11	128	132	135	109	93	73
12	123	122	122	97	83	65

En la Figura F30 se observa el comportamiento de los resultados.

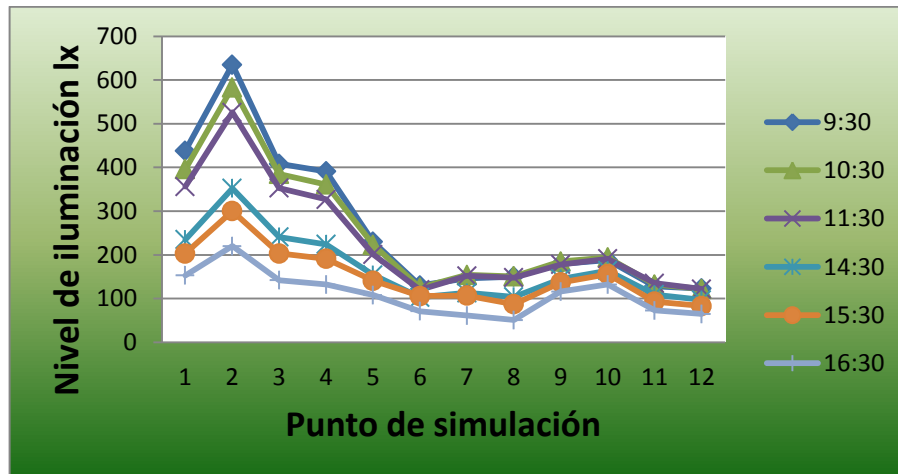


Figura F30. Datos de simulación 30 de enero del 2013 en la zona auditorio

ANEXO G RESULTADOS COMPLEMENTARIOS

Teniendo en cuenta las posibles fuentes de error presentadas en este proyecto, como la limitación del archivo climático el cual no representa las condiciones ambientales de las fechas en las cuales se tomaron los datos de campo, y buscando una mayor aproximación de los resultados, se realizó el proceso de análisis a partir de la creación de un archivo climático de los días 9 y 10 de Mayo del año 2013.

A partir de este proceso y junto al trabajo de recolección de datos térmicos y lumínicos en la zona de eventos en estas mismas fechas, se obtuvieron los siguientes resultados.

a. Análisis temperatura y humedad

A continuación se presentan los resultados de temperatura y humedad en la zona de eventos, obtenidos a partir del proceso de medición y simulación a través de *Energy-Plus*.

➤ 9 de mayo del 2013

En la Figura G1 se observan las curvas de la temperatura operativa de la zona de eventos del día 9 de mayo de 2013, es importante resaltar la similitud de las curvas obtenidas a partir de los dos procesos ya que no presentan una diferencia mayor de 1°C, es decir la simulación presenta un error menor al 5% en la representación térmica de la zona en la jornada correspondiente entre las 8:00 a.m. y las 6:00 p.m.

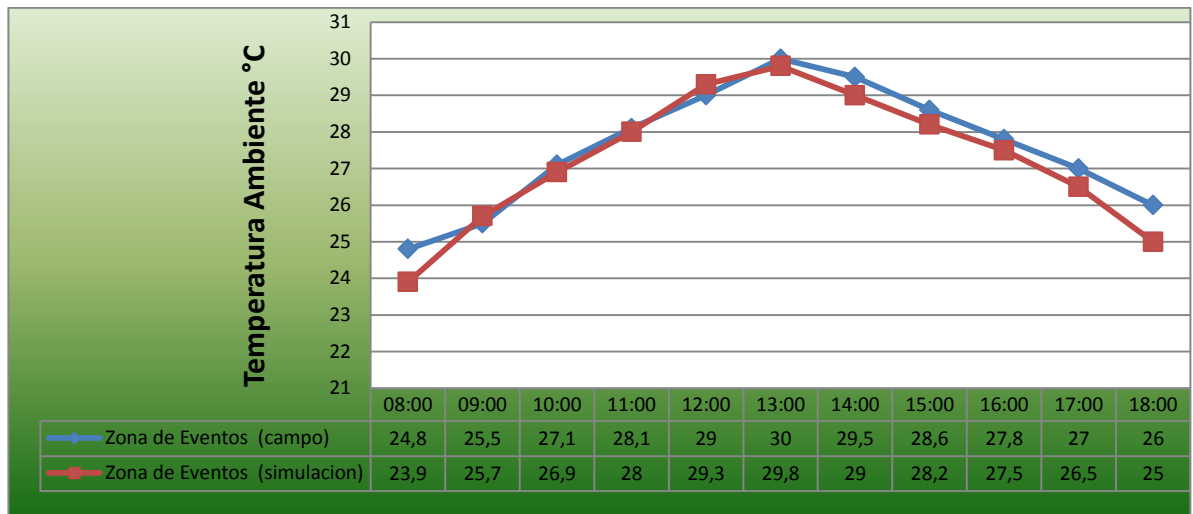


Figura G1. Temperatura operativa zona de eventos 9 de mayo del 2013

La Figura G2 muestra el porcentaje de humedad relativa presentado en la zona de eventos a partir de las mediciones realizadas en la zona el día 9 de Mayo y la simulación realizada en *Energy-Plus* utilizando el archivo climático correspondiente a esta misma jornada.

Se observa una tendencia similar en el comportamiento de las curvas de la humedad relativa en la zona de eventos, no obstante los resultados obtenidos a través de *Energy-Plus* presentan mayor variación durante el transcurso de la jornada, teniendo una humedad máxima de 82% y una mínima de 54%, contrario a lo obtenido de manera experimental el cual presenta un máximo de 81% y un mínimo de 64%, es decir los resultados obtenidos en la simulación poseen un error no superior al 16%.

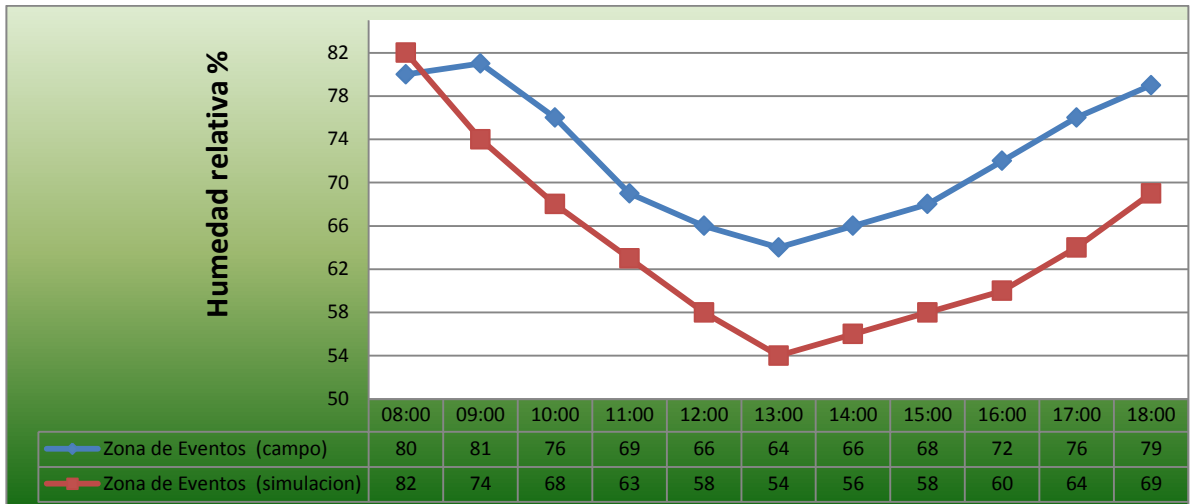


Figura G2. Humedad relativa zona de eventos 9 de mayo del 2013

➤ **10 de mayo del 2013**

En la Figura G3 se observan las curvas de la temperatura operativa de la zona de eventos del día 10 de mayo de 2013, se resalta la similitud de las curvas obtenidas a partir de los dos procesos ya que no presentan un diferencia mayor de 0,5°C, es decir la simulación presenta un error menor al 2,5% en la representación térmica de la zona en la jornada correspondiente entre las 8:00 a.m. y las 6:00 p.m.

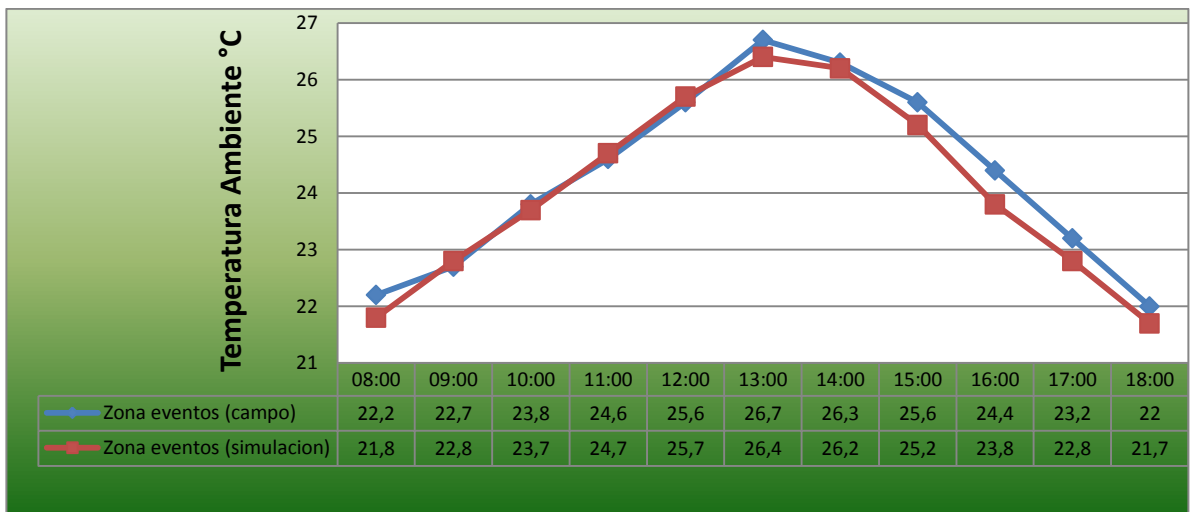


Figura G3. Temperatura operativa zona de eventos 10 de mayo del 2013

La Figura G4 muestra el porcentaje de humedad relativa presentado en la zona de eventos a partir de las mediciones y el proceso de simulación del día 10 de Mayo.

Se observa una tendencia similar en el comportamiento de las curvas de la humedad relativa en la zona de eventos, no obstante los resultado obtenidos a través de *Energy-Plus* presentan mayor variación durante el transcurso de la jornada, teniendo una humedad máxima de 90% y una mínima de 65%, contrario a lo obtenido de manera experimental el cual presenta un máximo de 90% y un mínimo de 75%, es decir los resultados obtenidos en la simulación poseen un error no superior al 18%.

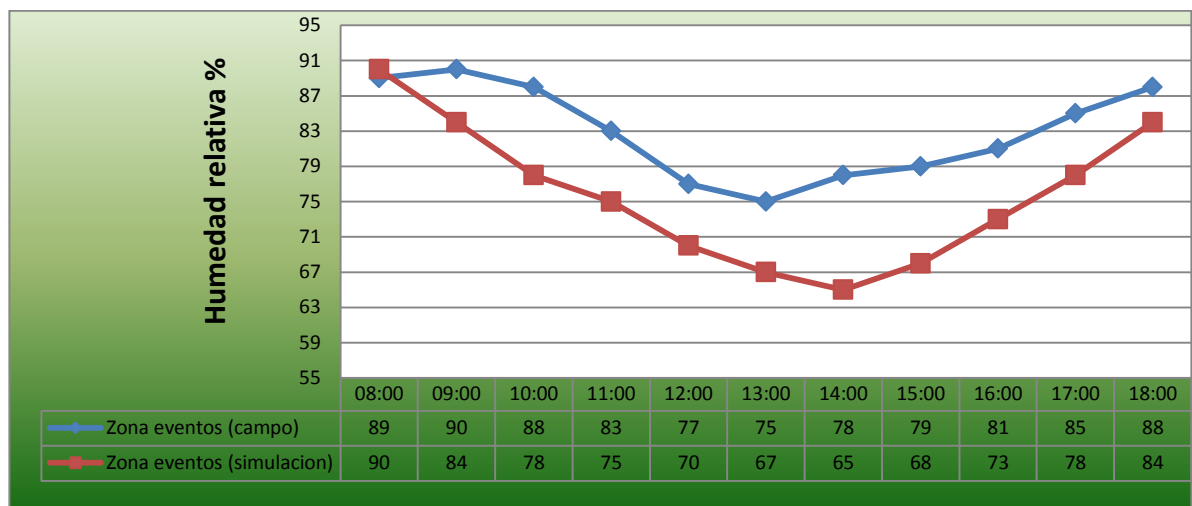


Figura G4. Humedad relativa zona de eventos 10 de mayo del 2013

b. Análisis Iluminación

A continuación se presentan los resultados de iluminación en la zona de eventos obtenidos a partir del proceso de medición y simulación a través de *Energy-Plus*.

➤ **9 de mayo del 2013**

En la Tabla G1 se presentan las mediciones en unidades lx, del día 9 de mayo del 2013, en los puntos seleccionados anteriormente en la zona de eventos.

Tabla G1. Medición niveles de iluminación zona de eventos, 9 de mayo del 2013. Unidades Lx

Punto \ Hora	08:00 a.m.	09:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.	12:00 p.m.	02:00 p.m.	03:00 p.m.	04:00 p.m.	05:00 p.m.
1	169	228	154	167	160	145	133	123	55
2	432	328	259	330	305	370	432	332	90
3	494	560	640	703	500	715	1139	604	127
4	578	532	548	560	525	604	780	612	138
5	387	434	387	425	450	513	858	552	120
6	35100	2230	1780	1257	1800	1322	1163	609	603
7	36300	3530	2400	2480	2240	1607	1428	995	654
8	36500	3490	3210	3140	2310	1584	1420	1092	610
9	36000	2760	2040	2260	1720	1168	967	562	523
10	773	560	266	282	350	190	151	116	103
11	1956	1705	1175	1218	1050	878	833	512	450
12	2320	2200	2720	2760	1340	1504	1906	1007	632
13	583	497	988	1575	1020	843	839	680	403

En la Tabla G2 se presentan las simulaciones en unidades lx, del día 9 de mayo del 2013, en los puntos seleccionados anteriormente en la zona de eventos.

Tabla G2. Simulación zona de eventos 9 de mayo del 2013. Unidades Lx

Punto \ Hora	08:00 a.m.	09:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.	12:00 p.m.	02:00 p.m.	03:00 p.m.	04:00 p.m.	05:00 p.m.
1	349	164	165	172	155	149	139	114	44
2	730	374	342	368	315	320	306	252	95
3	852	467	451	519	460	567	648	699	134
4	879	501	500	581	519	627	702	742	149
5	800	472	457	539	467	562	612	614	139
6	37868	4239	3243	2459	1993	1546	1402	1172	633
7	38422	4507	3437	2592	2101	1632	1489	1252	667
8	38576	4577	3476	2610	2104	1625	1486	1254	672
9	38021	4077	2974	2143	1652	1226	1128	970	552
10	1351	664	513	384	339	302	300	273	99

11	2856	1968	1658	1678	1133	935	892	790	432
12	2514	1905	1674	1826	1208	1007	949	829	470
13	1353	1131	1114	1437	917	780	722	612	370

En la Tabla G3 se presentan los porcentajes de error existentes entre las mediciones y simulaciones, del día 9 de mayo del 2013, en los puntos seleccionados anteriormente en la zona de eventos.

Tabla G3. Porcentaje de error iluminación zona de eventos, 9 de mayo del 2013.

Punto \ Hora	08:00 a.m.	09:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.	12:00 p.m.	02:00 p.m.	03:00 p.m.	04:00 p.m.	05:00 p.m.
1	106,5%	28,1%	7,1%	3,0%	3,1%	2,8%	4,5%	7,3%	20,0%
2	69,0%	14,0%	32,0%	11,5%	3,3%	13,5%	29,2%	24,1%	5,6%
3	72,5%	16,6%	29,5%	26,2%	8,0%	20,7%	43,1%	15,7%	5,5%
4	52,1%	5,8%	8,8%	3,8%	1,1%	3,8%	10,0%	21,2%	8,0%
5	106,7%	8,8%	18,1%	26,8%	3,8%	9,6%	28,7%	11,2%	15,8%
6	7,9%	90,1%	82,2%	95,6%	10,7%	16,9%	20,6%	92,4%	5,0%
7	5,8%	27,7%	43,2%	4,5%	6,2%	1,6%	4,3%	25,8%	2,0%
8	5,7%	31,1%	8,3%	16,9%	8,9%	2,6%	4,6%	14,8%	10,2%
9	5,6%	47,7%	45,8%	5,2%	4,0%	5,0%	16,6%	72,6%	5,5%
10	74,8%	18,6%	92,9%	36,2%	3,1%	58,9%	98,7%	135,3%	3,9%
11	46,0%	15,4%	41,1%	37,8%	7,9%	6,5%	7,1%	54,3%	4,0%
12	8,4%	13,4%	38,5%	33,8%	9,9%	33,0%	50,2%	17,7%	25,6%
13	132,1%	127,6%	12,8%	8,8%	10,1%	7,5%	13,9%	10,0%	8,2%

La Figura G5 muestra las mediciones y simulaciones a las 8 a.m. del día 9 de mayo del 2013, las cuales en promedio de porcentaje de error fueron las más desfavorables.

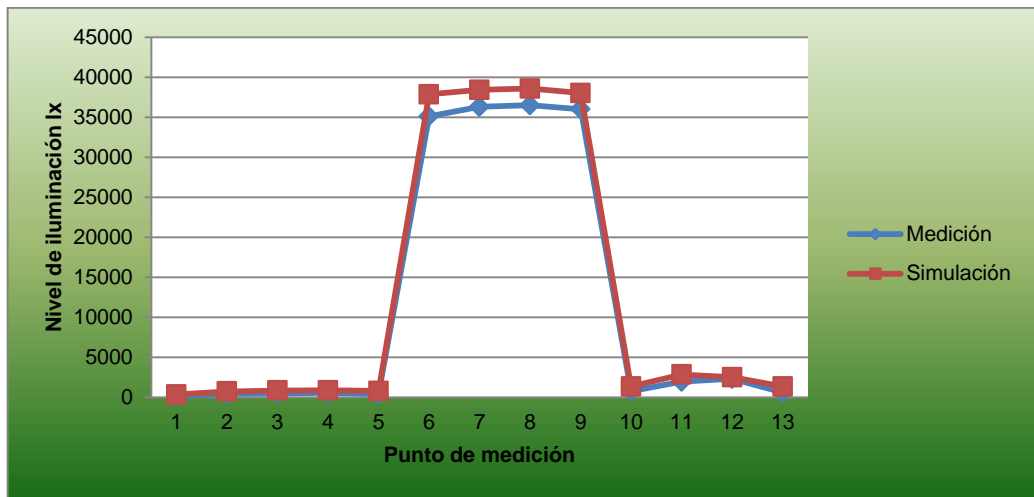


Figura G5. Caso más desfavorable en resultados de iluminación 9 de mayo del 2013 en la zona de eventos

La Figura G6 muestra los porcentajes de error a las 8 a.m. del día 9 de mayo del 2013.

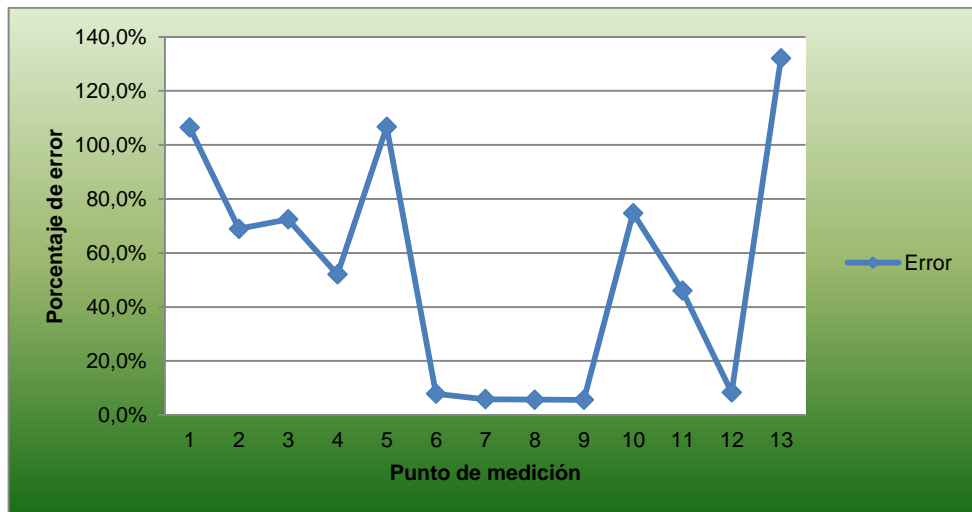


Figura G6. Error caso más desfavorable en resultados de iluminación 9 de mayo del 2013 en la zona de eventos

La Figura G7 muestra las mediciones y simulaciones a las 12 p.m. del día 9 de mayo del 2013, las cuales en promedio de porcentaje de error fueron las más favorables.

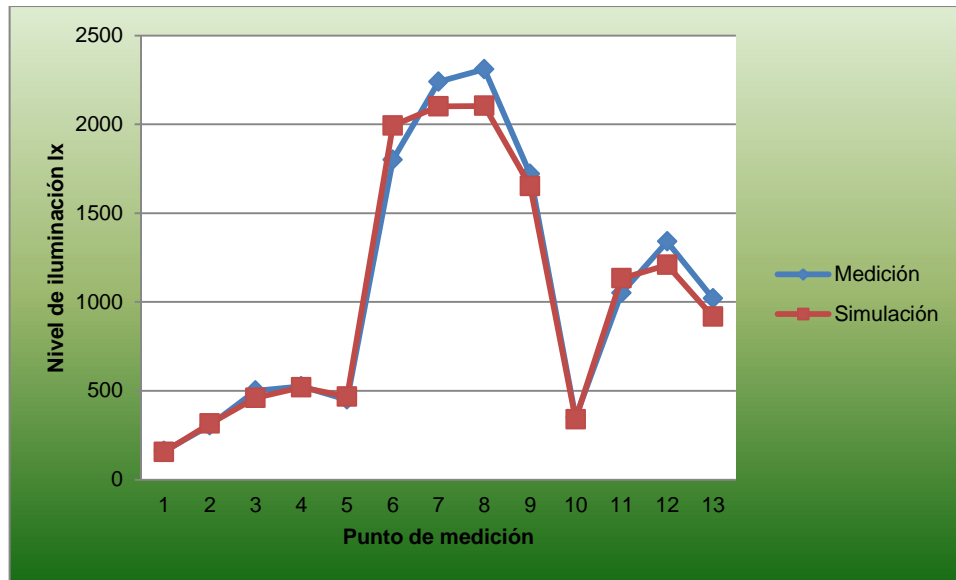


Figura G7. Caso más favorable en resultados de iluminación 9 de mayo del 2013 en la zona de eventos

La Figura G8 muestra los porcentajes de error a las 12 p.m. del día 9 de mayo del 2013.



Figura G8. Error caso más favorable en resultados de iluminación 9 de mayo del 2013 en la zona de eventos

➤ **10 de mayo del 2013**

En la Tabla G4 se presentan las mediciones en unidades lx, del día 10 de mayo del 2013, en los puntos seleccionados anteriormente en la zona de eventos.

Tabla G4. Medición niveles de iluminación zona de eventos, 10 de mayo del 2013. Unidades Lx

Punto \ Hora	08:00 a.m.	09:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.	12:00 p.m.	02:00 p.m.	03:00 p.m.	04:00 p.m.	05:00 p.m.
1	155	203	166	160	307	175	153	123	55
2	293	380	535	400	664	392	275	243	99
3	453	578	860	821	1375	633	585	354	160
4	436	552	645	632	1056	493	474	397	296
5	345	448	652	550	834	412	379	295	145
6	1356	1695	2040	2240	1772	2043	1634	1142	603
7	1536	2140	2530	2690	2930	2143	1685	1184	624
8	1734	2250	2810	2620	2770	2213	1674	1174	613
9	1023	1454	1799	1995	1734	1733	1456	1002	534
10	213	377	295	320	234	264	244	145	87
11	876	1086	794	1106	834	1578	1234	1023	453

12	1205	1578	1353	1439	1843	1943	1764	1063	523
13	794	1070	1073	723	1375	1375	1253	774	386

En la Tabla G5 se presentan las simulaciones en unidades lx, del día 10 de mayo del 2013, en los puntos seleccionados anteriormente en la zona de eventos.

Tabla G5. Simulación zona de eventos 10 de mayo del 2013. Unidades Lx

Punto \ Hora	08:00 a.m.	09:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.	12:00 p.m.	02:00 p.m.	03:00 p.m.	04:00 p.m.	05:00 p.m.
1	99	133	158	172	303	150	121	85	45
2	212	283	336	368	640	319	259	182	96
3	299	400	475	519	1090	450	365	257	134
4	335	447	531	581	1102	504	409	288	250
5	311	415	493	539	822	468	379	267	140
6	1418	1893	2248	2459	1922	2134	1731	1219	633
7	1495	1996	2370	2592	2780	2249	1825	1285	668
8	1505	2009	2386	2610	2720	2265	1837	1294	673
9	1236	1650	1959	2143	1907	1860	1509	1063	553
10	221	296	351	384	285	333	270	190	99
11	968	1292	1535	1678	1148	1457	1182	832	433
12	1053	1406	1670	1826	2150	1585	1286	906	471
13	829	1107	1314	1437	1345	1247	1012	713	369

En la Tabla G6 se presentan los porcentajes de error existentes entre las mediciones y simulaciones, del día 10 de mayo del 2013, en los puntos seleccionados anteriormente en la zona de eventos.

Tabla G6. Porcentaje de error iluminación zona de eventos, 10 de mayo del 2013.

Punto \ Hora	08:00 a.m.	09:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.	12:00 p.m.	02:00 p.m.	03:00 p.m.	04:00 p.m.	05:00 p.m.
1	36,1%	34,5%	4,8%	7,5%	1,3%	14,3%	20,9%	30,9%	18,2%
2	27,6%	25,5%	37,2%	8,0%	3,6%	18,6%	5,8%	25,1%	3,0%
3	34,0%	30,8%	44,8%	36,8%	20,7%	28,9%	37,6%	27,4%	16,3%
4	23,2%	19,0%	17,7%	8,1%	4,4%	2,2%	13,7%	27,5%	15,5%

5	9,9%	7,4%	24,4%	2,0%	1,4%	13,6%	0,0%	9,5%	3,4%
6	4,6%	11,7%	10,2%	9,8%	8,5%	4,5%	5,9%	6,7%	5,0%
7	2,7%	6,7%	6,3%	3,6%	5,1%	4,9%	8,3%	8,5%	7,1%
8	13,2%	10,7%	15,1%	0,4%	1,8%	2,3%	9,7%	10,2%	9,8%
9	20,8%	13,5%	8,9%	7,4%	10,0%	7,3%	3,6%	6,1%	3,6%
10	3,8%	21,5%	19,0%	20,0%	21,8%	26,1%	10,7%	31,0%	13,8%
11	10,5%	19,0%	93,3%	51,7%	37,6%	7,7%	4,2%	18,7%	4,4%
12	12,6%	10,9%	23,4%	26,9%	16,7%	18,4%	27,1%	14,8%	9,9%
13	4,4%	3,5%	22,5%	98,8%	2,2%	9,3%	19,2%	7,9%	4,4%

La Figura G9 muestra las mediciones y simulaciones a las 10 a.m. del día 10 de mayo del 2013, las cuales en promedio de porcentaje de error fueron las más desfavorables.

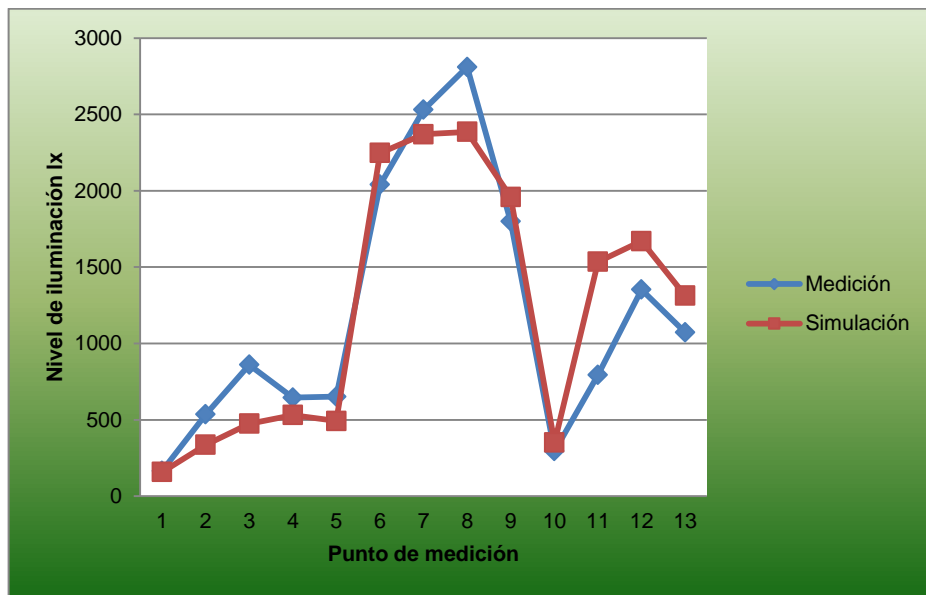


Figura G9. Caso más desfavorable en resultados de iluminación 10 de mayo del 2013 en la zona de eventos

La Figura G10 muestra los porcentajes de error a las 10 a.m. del día 10 de mayo del 2013.

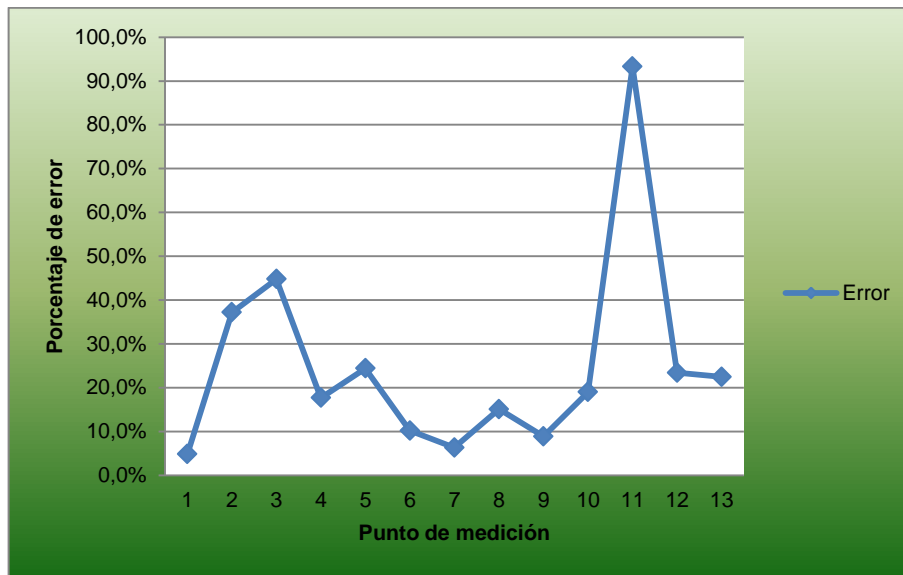


Figura G10. Error caso más desfavorable en resultados de iluminación 10 de mayo del 2013 en la zona de eventos

La Figura G11 muestra las mediciones y simulaciones a las 5 p.m. del día 10 de mayo del 2013, las cuales en promedio de porcentaje de error fueron las más favorables.

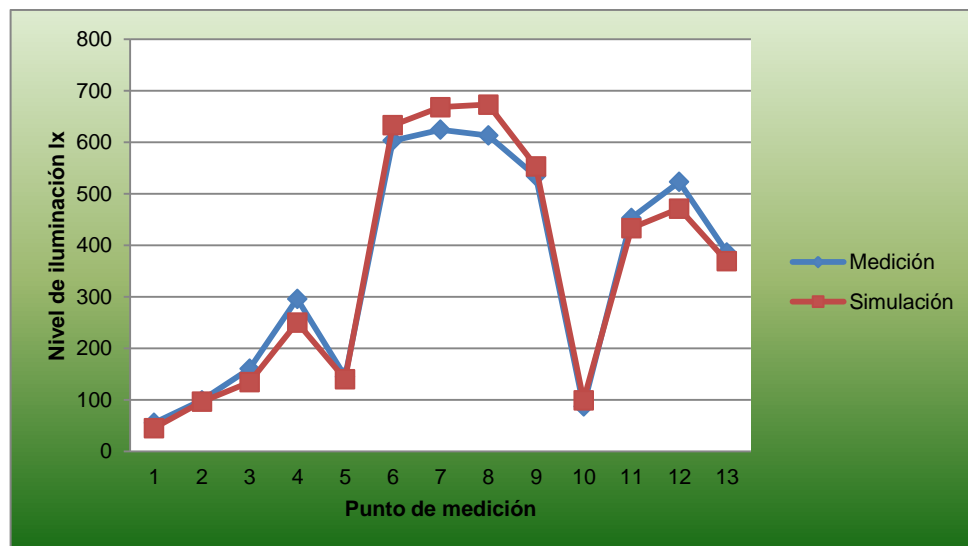


Figura G11. Caso más favorable en resultados de iluminación 10 de mayo del 2013 en la zona de eventos

La Figura G12 muestra los porcentajes de error a las 5 p.m. del día 10 de mayo del 2013.

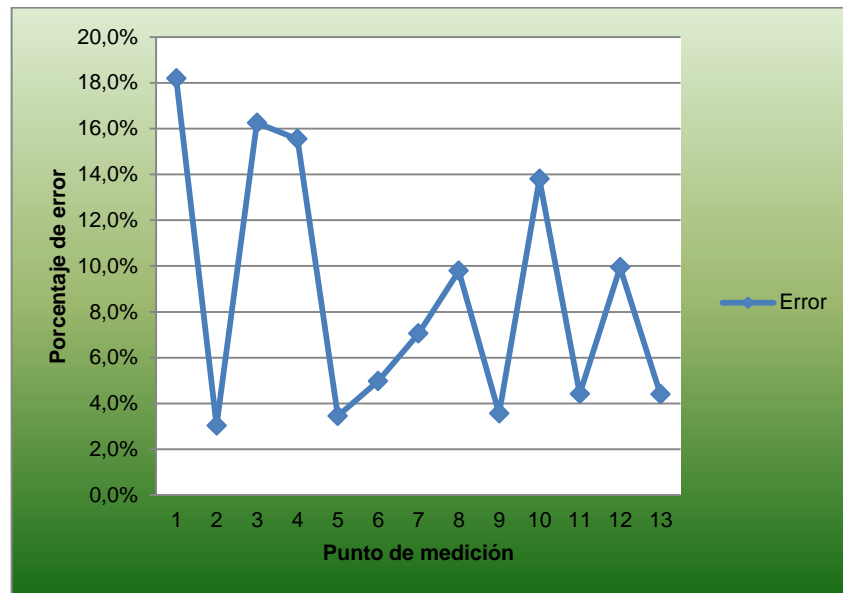


Figura G12. Error caso más favorable en resultados de iluminación 10 de mayo del 2013 en la zona de eventos

Se puede observar en este nuevo estudio, donde se tuvo en cuenta el tipo de cielo en el momento de la simulación, que las tendencias de las gráficas mejoran notablemente, a comparación de cuando se simulo con luz solar directa. A pesar de una mejora en la tendencia se presentan algunos porcentajes de error bastante elevados, pero esto se debe a que la luz natural en todo instante es afectada por diferentes factores naturales, como lo es principalmente el movimiento de las nubes, también por el movimiento de los arboles por corrientes de aires a determinadas horas, los cuales participan en la obstrucción directa de la luz solar.