

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del catálogo en línea, página web y Repositorio Institucional del CRAI-USTA, así como en las redes sociales y demás sitios web de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor, nunca para usos comerciales.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-USTA
Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

**Análisis Comparativo del Comportamiento Térmico de dos Edificios en Clima Cálido
Húmedo. Caso de Estudio: Hotel Mi California - Barrancabermeja, Santander**

Hanna Michelle Londoño Parra

Trabajo de grado para optar por el título de Arquitecto

Director

Juan Felipe Quijano García

M.Arch. Diseño Ambiental y Bioclimático

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Arquitectura

2019

Dedicatoria

A mi familia, por su apoyo incondicional durante estos cinco años.

“Los edificios duran siglos y consumen energía a lo largo de toda su vida,
porque construir o no construir es una cuestión de peso.”

Huw Heywood

Arquitecto británico

Portsmouth School of Architecture, UK.

Agradecimientos

A mi mamá, por creer en mí y enseñarme de constancia y tenacidad.

A Juan, por introducirme en la bioclimática y guiarme durante este proceso.

A Arturo, por la disposición y paciencia ante las mil dudas que tuve.

A Picasso, por enseñarnos que la inspiración existe, pero tiene que encontrarte trabajando.

Tabla de contenido

Glosario.....	23
Resumen.....	27
1. Planteamiento del problema.....	29
2. Justificación	31
3. Objetivos	33
3.1. Objetivo General.....	33
3.2. Objetivos específicos	33
4. Marco Referencial.....	34
4.1. Marco conceptual.....	34
4.1.1. Arquitectura bioclimática.....	34
4.1.2. Arquitectura para clima cálido húmedo.....	35
4.1.3. Estrategias bioclimáticas para clima cálido húmedo	37
4.2. Marco teórico	38
4.2.1. Modelado energético.....	38
4.2.2. Modelación para simulación térmica	39
4.2.3. Confort térmico.....	40
4.2.4. Estándares de Confort Térmico	44
4.2.5. Métodos de Cálculo del Confort Térmico	45
4.2.6. Softwares para Evaluación y Análisis Bioclimático de Edificios.....	48
4.3. Marco normativo.....	50

4.3.1. Norma Técnica Sectorial Colombiana, NTS-TS 002. Establecimientos de alojamiento y hospedaje (EAH). Requisitos de sostenibilidad.....	50
4.3.2. Norma Técnica Sectorial Colombiana, NTS 006. Clasificación de establecimientos de alojamiento y hospedaje. Categorización por estrellas de hoteles. Requisitos.	51
4.3.3. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10.....	53
4.3.4. Normas Técnicas Colombianas para la Accesibilidad de las Personas al Medio Físico – Pasillos, Escaleras y Ascensores.	73
4.4. Marco metodológico	76
4.4.1. Normas CEN para la evaluación integral del comportamiento energético de los edificios y para la obtención de la certificación energética.....	76
4.4.2. Análisis Energético de Edificios (AEE)	83
4.4.3. Plan de Impulso al Medio Ambiente (PIMA SOL)	87
4.4.4. Análisis comparativo de las metodologías.....	92
4.5. Análisis de referentes arquitectónicos	95
5. Metodología	96
6. Desarrollo del Proyecto.....	98
6.1. Componente climático	98
6.2. Identificación de estrategias bioclimáticas	123
6.2.1. Climograma de Givoni.....	124
6.2.2. Diagrama de confort ASHRAE-KSU	126
6.2.3. Diagrama psicométrico de Climate Consultant	131
6.2.4. Estrategias bioclimáticas Palette 2030.....	134
6.3. Análisis del sitio.....	142

6.3.1. Análisis general.....	143
6.3.2. Análisis particular	145
6.4. Análisis del edificio	153
6.4.1. Características generales del edificio.....	153
6.4.2. Características constructivas del edificio.....	155
6.5. Línea base: Modelado 3D, simulación y análisis de resultados.....	162
6.5.1. Modelado 3D del edificio actual.....	162
6.5.2. Simulaciones Térmicas	165
6.5.3. Análisis de Resultados	170
6.6. Diseño de la propuesta	172
6.6.1. Esquema Básico	172
6.6.2. Características constructivas de la Nueva Propuesta	176
6.7. Análisis Comparativo: Modelado 3D, Simulación y Comparación.....	181
6.7.1. Modelado 3D de la Nueva Propuesta.....	181
6.7.2. Simulaciones Térmicas	183
6.7.3. Comparación de Resultados.....	186
7. Conclusiones	189
8. Referencias Bibliográficas	191

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Velocidad del metabolismo según la actividad.</i>	43
Tabla 2. <i>Valores de aislamiento en la ropa.</i>	43
Tabla 3. <i>Escala de sensación térmica de 7 niveles.</i>	47
Tabla 4. <i>Herramientas digitales de diseño bioclimático.</i>	48
Tabla 5. <i>Infomación requerida e información obtenida por los métodos de cálculo de la ISO 13790.</i>	78
Tabla 6. <i>Cuadro comparativo de los datos requeridos para la ejecución de cada metodología analizada.</i>	92
Tabla 7. <i>Cuadro comparativo de los pasos que componen cada metodología analizada.</i>	93
Tabla 8. <i>Cuadro comparativo de los datos obtenidos en la simulación de cada metodología.</i> ...	94
Tabla 9. <i>Valores totales mensuales de brillo solar (Horas).</i>	100
Tabla 10. <i>Valores totales mensuales de evaporación (mms).</i>	102
Tabla 11. <i>Valores totales mensuales de humedad relativa (%).</i>	104
Tabla 12. <i>Valores medios mensuales de velocidad del viento (m/s).</i>	106
Tabla 13. <i>Valores totales mensuales de punto de rocío (°C).</i>	108
Tabla 14. <i>Valores totales mensuales de nubosidad (Octas).</i>	110
Tabla 15. <i>Valores medios mensuales de tensión de vapor (Mb).</i>	112
Tabla 16. <i>Valores totales mensuales de precipitación (mms).</i>	114
Tabla 17. <i>Valores medios mensuales de temperatura (°C).</i>	116
Tabla 18. <i>Valores medios mensuales de termómetro húmedo (°C).</i>	118
Tabla 19. <i>Valores medios mínimos mensuales de temperatura (°C).</i>	120

Tabla 20. <i>Valores medios máximos mensuales de temperatura (°C).</i>	122
Tabla 21. <i>Datos medios de temperatura mínima y máxima, y humedad relativa mínima y máxima.</i>	124
Tabla 22. <i>Cálculo de la nueva temperatura efectiva de bienestar para Barrancabermeja, Santander.</i>	129
Tabla 23. <i>Lista de Pautas de Diseño para Edificios No Residenciales en Barrancabermeja, Stder.</i>	134
Tabla 24. <i>Tabla de normatividad física del área urbana.</i>	145
Tabla 25. <i>Zonas del Hotel Mi California.</i>	154
Tabla 26. <i>Muro Exterior Tipo I: Ladrillo macizo para fachada con revestimiento interior.</i>	155
Tabla 27. <i>Muro Exterior Tipo II: Ladrillo macizo con mortero a la vista y revestimiento interior.</i>	156
Tabla 28. <i>Muro Exterior Tipo III: Ladrillo hueco con mortero a la vista y revestimiento interior.</i>	156
Tabla 29. <i>Muro Exterior Tipo IV: Ladrillo macizo para fachada sin revestimiento interior.</i> ...	157
Tabla 30. <i>Partición interior Tipo I: Ladrillo macizo con revestimiento interior y exterior.</i>	157
Tabla 31. <i>Partición interior Tipo II: Ladrillo hueco con revestimiento interior y exterior.</i>	158
Tabla 32. <i>Placa Tipo I: Sobre el terreno sin cimientos.</i>	158
Tabla 33. <i>Placa Tipo II: De entrepiso.</i>	159
Tabla 34. <i>Cubierta Tipo I: Expuesta inclinada - Tejas de asbesto cemento.</i>	159
Tabla 35. <i>Cubierta Tipo II: Semiexpuesta – Cieloraso bajo cubierta Tipo I.</i>	160
Tabla 36. <i>Ventana Tipo I: Vidrio genérico de 3 mm.</i>	160
Tabla 37. <i>Zonas de la Nueva Propuesta.</i>	176

Tabla 38. <i>Muro Exterior Tipo V: Ladrillo hueco y fachada con cámara de aire ventilada.</i>	177
Tabla 39. <i>Placa Tipo III: Sobre el terreno sin cimientos – cerámica clara.</i>	178
Tabla 40. <i>Placa Tipo IV: De entrepiso con cerámica clara.</i>	178
Tabla 41. <i>Cubierta Tipo III. Plana transitable con cámara de aire ventilada.</i>	179
Tabla 42. <i>Cubierta Tipo IV. Cubierta retraíble de textil impermeable.</i>	179
Tabla 43. <i>Ventana Tipo II: Doble vidrio con cámara de aire.</i>	180
Tabla 44. <i>Ventana Tipo III: Protecciones solares tipo rejilla.</i>	180

Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Gráficas sobre el consumo global de energía y las emisiones globales de CO ₂ . Gráficas traducidas por la autora.	29
<i>Figura 2.</i> Pétalos o áreas de desempeño del Living Building Challenge.	31
<i>Figura 3.</i> Comparación de los esquemas de utilización de los recursos de los edificios convencionales y los edificios sostenibles.	35
<i>Figura 4.</i> Diagrama 1 – Reglas para climas cálido y húmedo.	36
<i>Figura 5.</i> Diagrama 2 – Reglas para climas cálido y húmedo.	37
<i>Figura 6.</i> Sistemas de intercambio energético cuerpo-ambiente.	41
<i>Figura 7.</i> Gráfica bioclimática de Victor Olgyay.	45
<i>Figura 8.</i> Zonas de corrección arquitectónica sobre el ábaco psicrométrico.	46
<i>Figura 9.</i> Gráfica de confort de P. O. Fanger.	47
<i>Figura 10.</i> Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de A _a y A _v	54
<i>Figura 11.</i> Mapa de valores de A _a	55
<i>Figura 12.</i> Mapa de valores de A _v	56
<i>Figura 13.</i> Grupos y subgrupos de ocupación.	58
<i>Figura 14.</i> Área construida y caudal mínimo requerido por cada hidrante que debe instalarse...	60
<i>Figura 15.</i> Clasificación del material según su característica de propagación de la llama.	61
<i>Figura 16.</i> Clasificación de algunos materiales utilizados para acabados interiores según índice de propagación de la llama.	62

<i>Figura 17.</i> Clasificación requerida del índice de propagación de llama para acabados interiores de acuerdo con el grupo de ocupación de cada edificación.	63
<i>Figura 18.</i> Categorización de las edificaciones para efectos de resistencia contra el fuego de acuerdo con su uso, área construida, y número de pisos.	64
<i>Figura 19.</i> Instalación de detectores de acuerdo con el grupo de ocupación.	65
<i>Figura 20.</i> Índices de Ocupación NSR-10.....	68
<i>Figura 21.</i> Índices de ancho de salida por persona.....	69
<i>Figura 22.</i> Número mínimo de salidas por carga de ocupación.	69
<i>Figura 23.</i> Distancia en metros de recorrido hasta la salida.....	70
<i>Figura 24.</i> Dimensiones en edificios públicos.	73
<i>Figura 25.</i> Métodos para la evaluación del comportamiento energético de los edificios según la ISO 13790.	79
<i>Figura 26.</i> Métodos para la evaluación del comportamiento energético de los edificios según la EN 15603.	81
<i>Figura 27.</i> Factores a tener en cuenta en el proceso de certificación.	83
<i>Figura 28.</i> Etapas análogas que constituyen la metodología AEE.	84
<i>Figura 29.</i> Tabla de consumos energéticos en el Reino Unido.	86
<i>Figura 30.</i> Emisiones de CO ₂ por m ² de superficie útil para cuatro tipos de oficina.....	87
<i>Figura 31.</i> Posibles medidas del Plan PIMA SOL para reducir las emisiones de CO ₂	88
<i>Figura 32.</i> Procedimiento de certificación energética Plan PIMA SOL.	89
<i>Figura 33.</i> Desarrollo de los pasos para la calificación energética de edificios existentes Plan PIMA SOL.	90

<i>Figura 34.</i> Síntesis de las fases para el Análisis Comparativo del Comportamiento Térmico de dos Edificios en Clima Cálido Húmedo.	96
<i>Figura 35.</i> Fases desagregadas para el Análisis Comparativo del Comportamiento Térmico de dos Edificios en Clima Cálido Húmedo.	97
<i>Figura 36.</i> Gráfica de valores totales mensuales de brillo solar (horas).	99
<i>Figura 37.</i> Gráfica de valores totales mensuales de evaporación (mms).	101
<i>Figura 38.</i> Gráfica de valores totales mensuales de humedad relativa (%).	103
<i>Figura 39.</i> Gráfica de valores totales mensuales de velocidad del viento (m/s).	105
<i>Figura 40.</i> Gráfica de valores totales mensuales de punto de rocío (°C).	107
<i>Figura 41.</i> Gráfica de valores totales mensuales de nubosidad (Octas).	109
<i>Figura 42.</i> Gráfica de valores totales mensuales de tensión de vapor (mb).	111
<i>Figura 43.</i> Gráfica de valores totales mensuales de precipitación (mms).	113
<i>Figura 44.</i> Gráfica de valores medios mensuales de temperatura (°C).	115
<i>Figura 45.</i> Gráfica de valores medios mensuales de termómetro húmedo (°C).	117
<i>Figura 46.</i> Gráfica de valores medias mínimas mensuales de temperatura (°C).	119
<i>Figura 47.</i> Gráfica de valores medias máximas mensuales de temperatura (°C).	121
<i>Figura 48.</i> Climograma de Givoni con las estrategias bioclimáticas correspondientes para el clima de Barrancabermeja, Santander.	125
<i>Figura 49.</i> Ejemplo de corrección de la nueva temperatura efectiva de confort del diagrama ASHRAE-KSU.	127
<i>Figura 50.</i> Velocidad del metabolismo según la ocupación (Sumando adicional dependiente de la parte del cuerpo empleada).	127

<i>Figura 51.</i> Velocidad del metabolismo según la ocupación (Sumando adicional dependiente de la posición estática del cuerpo).	128
<i>Figura 52.</i> Velocidad del metabolismo según la ocupación (Sumando adicional dependiente del tiempo y velocidad del movimiento).	128
<i>Figura 53.</i> Climograma de Givoni con la temperatura efectiva de bienestar modificada y las estrategias bioclimáticas correspondientes para el clima de Barrancabermeja, Santander.	130
<i>Figura 54.</i> Diagrama Psicométrico de Confort Adaptativo con todas las Estrategias de Diseño promediadas para el clima de Barrancabermeja, Santander.	132
<i>Figura 55.</i> Diagrama Psicométrico de Confort Adaptativo con las principales Estrategias de Diseño seleccionadas, promediadas para el clima de Barrancabermeja, Santander.	133
<i>Figura 56.</i> Izq. Chen House, Casagrande Laboratory. Shanjhih, Taiwan. Der. Simpson-Lee House. Australia.	136
<i>Figura 57.</i> Izq. Secondary School, Kéré Architecture. Dano, Burkina Faso. Der. Malawi School, John MacAslan + Partners. Malawi.	137
<i>Figura 58.</i> Izq. EDGE Certified - Bruck Passive House Hotel, Peter Ruge Architekten. Changxing County, Zhejiang Province, China. Der. Clackamas High School, Boora Architects. Clackamas, Oregon, United States.	138
<i>Figura 59.</i> Izq. Hansar Bangkok, WOHA. Lumpini, Bangkok, Thailand. Der. Remodelación de oficinas en la calle de Los Conquistadores, Enrique Browne Y Asociados Arquitectos. Providencia, Santiago, Chile.	139
<i>Figura 60.</i> Izq. Casa de la Ciencia en el Museo de Ciencia de Minnesota, Barbour LaDouceur Design Group. St. Paul, Minnesota, United States. Der. Thomas Eco-House, Designs Northwest Architects. Stanwood, Washington, United States.	140

<i>Figura 61.</i> Izq. Global Change Institute Building, Hassell. Australia. Der. The Australian School of Business, Francis-Jones Morehen Thorp. Australia.	141
<i>Figura 62.</i> Sección del Mapa U9: Áreas de actividad.	143
<i>Figura 63.</i> Sección del Mapa U5: Equipamiento y espacio público.	144
<i>Figura 64.</i> Análisis de sombreamiento: Solsticio de verano – Junio.	146
<i>Figura 65.</i> Análisis de sombreamiento: Equinoccio de primavera – Marzo.	146
<i>Figura 66.</i> Análisis de sombreamiento: Solsticio de invierno – Diciembre.	147
<i>Figura 67.</i> Análisis de sombreamiento: Equinoccio de otoño – Septiembre.	147
<i>Figura 68.</i> Análisis de exposición solar: Solsticio de verano – Junio.	149
<i>Figura 69.</i> Análisis de exposición solar: Equinoccio de primavera – Marzo.	149
<i>Figura 70.</i> Análisis de exposición solar: Solsticio de invierno – Diciembre.	150
<i>Figura 71.</i> Análisis de exposición solar: Equinoccio de otoño – Septiembre.	150
<i>Figura 72.</i> Análisis de ventilación: Prueba de túnel de viento.	152
<i>Figura 73.</i> Ubicación de los elementos constructivos el el Hotel existente.	161
<i>Figura 74.</i> Configuración de los Datos del Sitio en Design Builder.	162
<i>Figura 75.</i> Configuración de la Plantilla de Actividad para el Hotel Actual.	163
<i>Figura 76.</i> Configuración de la Plantilla de Cerramientos para el Hotel Actual.	163
<i>Figura 77.</i> Zonificación del Hotel Mi California en Design Builder.	164
<i>Figura 78.</i> Configuración de las Ganancias Internas para el Hotel Actual en la Plantilla de Actividad.	165
<i>Figura 79.</i> Configuración de las Ganancias Internas para el Hotel Actual en la pestaña de Iluminación.	165
<i>Figura 80.</i> Configuración de la Ventilación Natural para el Hotel Actual en la pestaña de HVAC.	166

<i>Figura 81.</i> Configuración de las opciones de resultados para las simulaciones térmicas.	167
<i>Figura 82.</i> Gráficas horarias medias de Temperatura y Confort para el Hotel actual en la semana de verano.	168
<i>Figura 83.</i> Ganancias térmicas diarias medias para el Hotel actual en la semana de verano.	168
<i>Figura 84.</i> Gráficas horarias medias de Temperatura y Confort para el Hotel actual en la semana de invierno.	169
<i>Figura 85.</i> Ganancias térmicas diarias medias para el hotel actual en la semana de invierno. ..	169
<i>Figura 86.</i> Composición formal de la Nueva Propuesta.	172
<i>Figura 87.</i> Zonificación de la nueva propuesta.	173
<i>Figura 88.</i> Referentes constructivos para la Nueva Propuesta.	175
<i>Figura 89.</i> Configuración de los parámetros de la cámara ventilada en la plantilla de cerramientos de la nueva propuesta.	177
<i>Figura 90.</i> Configuración de la Plantilla de Cerramientos para la Nueva Propuesta.	181
<i>Figura 91.</i> Zonificación de la Nueva Propuesta en Design Builder.	182
<i>Figura 92.</i> Gráficas horarias medias de Temperatura y Confort para la nueva propuesta en la semana de verano.	184
<i>Figura 93.</i> Ganancias térmicas diarias medias para la nueva propuesta en la semana de verano.	184
<i>Figura 94.</i> Gráficas horarias de Temperatura y Confort para la nueva propuesta en la semana de invierno.	185
<i>Figura 95.</i> Ganancias térmicas diarias medias para la nueva propuesta en la semana de invierno.	185

Lista de apéndices

(Ver Apéndices al final del documento y/o en el CD adjunto)

Apéndice 1. Análisis Individual de Referentes Arquitectónicos: Yu! Hotel, Ecuador.

Apéndice 2. Análisis Individual de Referentes Arquitectónicos: Hotel San Sebastián, Colombia.

Apéndice 3. Análisis Individual de Referentes Arquitectónicos: Hotel Golden Holiday, Vietnam.

Apéndice 4. Análisis Individual de Referentes Arquitectónicos: Hostal E57, Indonesia.

Apéndice 5. Análisis comparativo de Programas Arquitectónicos.

Apéndice 6. Análisis comparativo de los Referentes Arquitectónicos.

Apéndice 7. Simulaciones térmicas: Gráficas de Confort y Temperatura en la Semana de Verano
– Primera Planta Hotel Actual.

Apéndice 8. Simulaciones térmicas: Gráficas de Confort y Temperatura en la Semana de Invierno
– Primera Planta Hotel Actual.

Apéndice 9. Simulaciones térmicas: Gráficas de Confort y Temperatura en la Semana de Verano
– Segunda Planta Hotel Actual.

Apéndice 10. Simulaciones térmicas: Gráficas de Confort y Temperatura en la Semana de Invierno
– Segunda Planta Hotel Actual.

Apéndice 11. Simulaciones térmicas: Gráficas de Confort y Temperatura en la Semana de Verano
– Tercera Planta Hotel Actual.

Apéndice 12. Simulaciones térmicas: Gráficas de Confort y Temperatura en la Semana de Invierno
– Tercera Planta Hotel Actual.

Apéndice 13. Simulaciones térmicas: Gráficas de Confort y Temperatura en la Semana de Verano
e Invierno – Cuarta Planta Hotel Actual.

Apéndice 14. Simulaciones térmicas: Gráficas de Distribución de la Temperatura Operativa en la Semana de Verano – Primera Planta Hotel Actual.

Apéndice 15. Simulaciones térmicas: Gráficas de Distribución de la Temperatura Operativa en la Semana de Invierno – Primera Planta Hotel Actual.

Apéndice 16. Simulaciones térmicas: Gráficas de Distribución de la Temperatura Operativa en la Semana de Verano – Segunda Planta Hotel Actual.

Apéndice 17. Simulaciones térmicas: Gráficas de Distribución de la Temperatura Operativa en la Semana de Invierno – Segunda Planta Hotel Actual.

Apéndice 18. Simulaciones térmicas: Gráficas de Distribución de la Temperatura Operativa en la Semana de Verano – Tercera Planta Hotel Actual.

Apéndice 19. Simulaciones térmicas: Gráficas de Distribución de la Temperatura Operativa en la Semana de Invierno – Tercera Planta Hotel Actual.

Apéndice 20. Simulaciones térmicas: Gráficas de Distribución de la Temperatura Operativa en la Semana de Verano e Invierno – Cuarta Planta Hotel Actual.

Apéndice 21. Simulaciones térmicas: Gráficas de Confort y Temperatura en la Semana de Verano – Primera Planta Nueva Propuesta.

Apéndice 22. Simulaciones térmicas: Gráficas de Confort y Temperatura en la Semana de Invierno – Primera Planta Nueva Propuesta.

Apéndice 23. Simulaciones térmicas: Gráficas de Confort y Temperatura en la Semana de Verano – Segunda Planta Nueva Propuesta.

Apéndice 24. Simulaciones térmicas: Gráficas de Confort y Temperatura en la Semana de Invierno – Segunda Planta Nueva Propuesta.

Apéndice 25. Simulaciones térmicas: Gráficas de Confort y Temperatura en la Semana de Verano
– Tercera Planta Nueva Propuesta.

Apéndice 26. Simulaciones térmicas: Gráficas de Confort y Temperatura en la Semana de Invierno
– Tercera Planta Nueva Propuesta.

Apéndice 27. Simulaciones térmicas: Gráficas de Confort y Temperatura en la Semana de Verano
– Cuarta Planta Nueva Propuesta.

Apéndice 28. Simulaciones térmicas: Gráficas de Confort y Temperatura en la Semana de Invierno
– Cuarta Planta Nueva Propuesta.

Apéndice 29. Simulaciones térmicas: Gráficas de Confort y Temperatura en la Semana de Verano
e Invierno– Quinta Planta Nueva Propuesta.

Apéndice 30. Simulaciones térmicas: Gráficas de Distribución de la Temperatura Operativa en la
Semana de Verano – Primera Planta Nueva Propuesta.

Apéndice 31. Simulaciones térmicas: Gráficas de Distribución de la Temperatura Operativa en la
Semana de Invierno – Primera Planta Nueva Propuesta.

Apéndice 32. Simulaciones térmicas: Gráficas de Distribución de la Temperatura Operativa en la
Semana de Verano – Segunda Planta Nueva Propuesta.

Apéndice 33. Simulaciones térmicas: Gráficas de Distribución de la Temperatura Operativa en la
Semana de Invierno – Segunda Planta Nueva Propuesta.

Apéndice 34. Simulaciones térmicas: Gráficas de Distribución de la Temperatura Operativa en la
Semana de Verano – Tercera Planta Nueva Propuesta.

Apéndice 35. Simulaciones térmicas: Gráficas de Distribución de la Temperatura Operativa en la
Semana de Invierno – Tercera Planta Nueva Propuesta.

Apéndice 36. Simulaciones térmicas: Gráficas de Distribución de la Temperatura Operativa en la Semana de Verano – Cuarta Planta Nueva Propuesta.

Apéndice 37. Simulaciones térmicas: Gráficas de Distribución de la Temperatura Operativa en la Semana de Invierno – Cuarta Planta Nueva Propuesta.

Apéndice 38. Simulaciones térmicas: Gráficas de Distribución de la Temperatura Operativa en la Semana de Verano e Invierno – Quinta Planta Nueva Propuesta.

Glosario

Acoplamiento. Se define como acoplamiento al posible intercambio térmico entre las diferentes zonas adyacentes de un edificio.

Arquitectura bioclimática. La arquitectura bioclimática es la fusión de los conocimientos adquiridos por la arquitectura tradicional a lo largo de los siglos, con las técnicas avanzadas en el confort y en el ahorro energético (Garzón, B., 2007).

Auditoría energética. La auditoría de edificios es una herramienta de diagnóstico y gestión que trata de cuantificar los parámetros que permiten optimizar los costes económicos y conseguir un buen funcionamiento de las instalaciones (Rey, F., Velasco, E., 2006).

Calidad aceptable de aire interior. Aire en el cual no hay contaminantes conocidos en concentraciones nocivas como lo determinan las autoridades responsables y con el cual una mayoría substancial (80% o más) de las personas expuestas se sienten satisfechas (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineer, 2007).

Carta solar. Diagrama en el que se representa la posición del sol sobre un lugar determinado para fechas diferentes y a diferentes horas, en función de la altura del sol y azimut del punto (orientación con respecto al Sur). En el eje vertical se sitúa la altura solar en grados sexagesimales y en el eje horizontal el azimut desde el Sur (Serra, R., Coch, H., 1995).

Clima cálido húmedo. Es el clima de las zonas subtropicales marítimas. Se caracteriza por presentar temperaturas altas, con variaciones poco acusadas día-noche y estacionales. La humedad es muy alta, frecuente nebulosidad y fuertes precipitaciones irregulares (Bedoya, C., Neila, J., 1997).

Climograma de Bienestar de B. Givoni. Es una carta que permite determinar las estrategias bioclimáticas a adoptar en función de las condiciones higrotérmicas del edificio en una determinada época del año. En este diagrama psicométrico se distinguen unas zonas asociadas a sus respectivas técnicas bioclimáticas que permiten alcanzar la zona de bienestar.

Conductividad térmica. Propiedad termofísica de los materiales que se determina al conocer la cantidad de calor que fluye a través de un material cuando existe una diferencia de temperaturas. Es un valor constante medido que depende de la temperatura del material, la densidad, la porosidad y el contenido de agua, entre otros (Lienhard, 2006).

Confort térmico. Condición mental en la que se expresa satisfacción con el ambiente térmico a través de los intercambios de energía con el ambiente circundante (ASHRAE, 1966).

Densidad. Característica que afecta de manera significativa el desempeño térmico de los materiales. La densidad, o masa específica de un material, es el coeficiente que resulta de dividir la cantidad de masa (kg) de dicho material por su volumen unitario (m^3). Así, la densidad que caracteriza al material se mide en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) (UNE-EN ISO 13786, 2011).

Desarrollo sostenible. Es aquel que atiende a las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de atender a sus propias necesidades (World Commission on Environment and Development, WCED, 1987).

Hotel. Un hotel es un establecimiento comercial que presta el servicio de alojamiento por medio de habitaciones como zona privada y cuenta además, no de forma obligatoria, con servicios complementarios como zonas públicas de socialización.

Homeostasis. Son los mecanismos de regulación del cuerpo encargados de mantener la temperatura interior constante frente a las variaciones exteriores (Serra, R., Coch, H., 1995).

HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning). Término designado para los sistemas de acondicionamiento ambiental de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

Inercia térmica. Dificultad que ofrece un cuerpo a cambiar su temperatura debido a su masa térmica, ya sea por densidad o por volumen (UNE-EN ISO 13786, 2011).

Masa térmica. Producto del volumen por la densidad y por el calor específico. Dado que el calor específico de los materiales varía poco, los elementos con mayor masa, ya sea por densidad o por volumen, son los que tendrán mayor inercia térmica (UNE-EN ISO 13786, 2011).

Metabolismo. El metabolismo es la fuente de energía del cuerpo, y la cantidad de energía que libera depende de la cantidad de actividad muscular (Chávez, F., 2002).

Particiones interiores. Elementos constructivos, específicamente muros divisorios, que separa el interior del edificio en diferentes zonas.

Porcentaje estimado de insatisfechos (PPD). El PPD es un índice que establece una predicción cuantitativa del porcentaje de personas que se sentirán insatisfechas por notar demasiado frío o demasiado calor. Las personas térmicamente insatisfechas son las que votarán *muy caluroso*, *caluroso*, *fresco o frío*, sobre la escala de 7 niveles de sensación térmica (UNE-EN ISO 7730, 2006).

Sobrecalentamiento. Fenómeno generado como consecuencia de la transformación, en un espacio cerrado, de la energía radiante de origen solar en energía térmica (Serra, R., Coch, H., 1995).

Temperatura operativa. Temperatura uniforme de un recinto negro imaginario en el que un ocupante intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación y convección que en el ambiente real no uniforme (UNE-EN ISO 7730, 2006).

Temperatura radiante. Es la temperatura media de los objetos que rodean a una persona (techos, paredes, suelos, equipos de trabajo, etc.) y que influye en la pérdida o ganancia de calor de dicha persona debido al intercambio de radiaciones térmicas.

Voto medio estimado (PMV). El PMV es un índice que refleja el valor medio de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas respecto de una escala de sensación térmica de 7 niveles (siendo +3 muy caluroso, 0 neutro o confortable, -3 frío), basado en el equilibrio térmico del cuerpo humano (UNE-EN ISO 7730, 2006).

Resumen

Este trabajo de investigación busca desarrollar una análisis comparativo entre dos edificios, para medir y evaluar la efectividad de las estrategias bioclimáticas aplicadas, con el fin de mejorar las condiciones actuales del edificio, teniendo en cuenta su comportamiento térmico y las condiciones climáticas en las que se encuentra. Como caso de estudio se selecciona una edificación de uso comercial - hotelero ubicada en Barrancabermeja – Santander, ciudad identificada bajo el clima cálido húmedo según la clasificación climática de Köppen-Geiger.

Para llevar a cabo el análisis se construye inicialmente una metodología con base en la comparación de diferentes metodologías para la evaluación del comportamiento térmico. Posterior a la recopilación de datos climatológicos y normativos se hace un análisis del sitio y del edificio frente a su entorno; se zonifican y se cualifican sus elementos constructivos con el fin de elaborar el respectivo levantamiento del edificio en el software Design Builder.

La nueva propuesta de hotel se diseña con base en las estrategias bioclimáticas escogidas para clima cálido húmedo según en Climograma de bienestar de B. Givoni y otras herramientas digitales de análisis climático. Finalmente, los datos obtenidos después de simular el edificio actual y la nueva propuesta serán comparados bajo el mismo escenario climático y periodo de tiempo, para así poder identificar si los principales problemas de confort lograron ser solucionados bajo las estrategias bioclimáticas seleccionadas.

Palabras Clave: Hotel, Confort térmico, Arquitectura bioclimática, Comportamiento térmico, Clima cálido húmedo, Análisis comparativo.

Abstract

This research work seeks to develop a comparative analysis between two buildings, to measure and evaluate the effectiveness of the applied bioclimatic strategies, in order to improve the current conditions of the building, taking into account its thermal behavior and the climatic conditions in which is located. As a case study, a building for commercial use is selected - hotel located in Barrancabermeja - Santander, city identified under the hot humid climate according to the climatic classification of Köppen-Geiger.

To carry out the analysis, a methodology is constructed based on the comparison of different methodologies for the evaluation of thermal behavior. After the compilation of climatological and normative data, an analysis is made of the site and the building is made in front of its surroundings; it is zoned and qualified in order to prepare the respective building survey in the Design Builder software.

The new hotel proposal is designed based on the bioclimatic strategies chosen for humid warm climate according to the Climagrama de bienestar de Baruch Givoni and other digital climate analysis tools. Finally, the data obtained after simulating the current building and the new proposal will be compared under the same climatic scenario and time period, in order to identify if the main comfort problems could be solved under the selected bioclimatic strategies.

Keywords: Hotel, Thermal comfort, Bioclimatic architecture, Thermal behavior, Humid warm climate, Comparative analysis.

1. Planteamiento del problema

Si bien la industria de la construcción consume energía desde el proceso de producción y transporte de materiales (un 6% del consumo global) el mayor consumo energético se produce durante la construcción y vida útil de los edificios, lo que representa un 30% del consumo global de energía final (Ver Figura 1). Por lo tanto, comprender cómo se comporta un edificio frente a su entorno puede ayudar a reducir de forma significativa su consumo energético y la proporción correspondiente a las emisiones de CO₂.

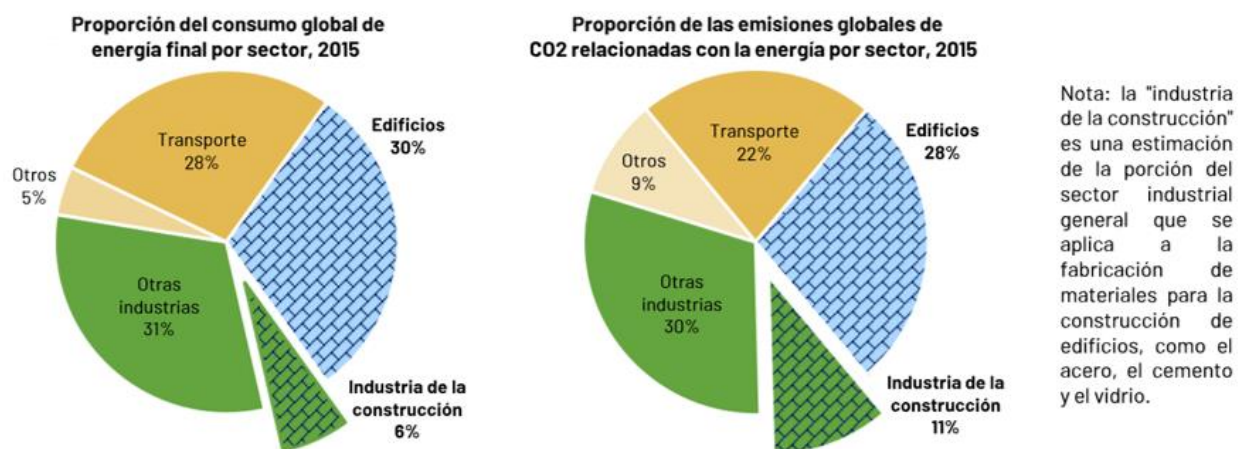


Figura 1. Gráficas sobre el consumo global de energía y las emisiones globales de CO₂. Gráficas traducidas por la autora.

(International Energy Agency, IEA, 2007).

En países como Estados Unidos y España alrededor del 60% de los edificios se construyeron antes de 1980, lo que supone que fueron diseñados sin seguir las directrices modernas sobre eficiencia energética. Por esta razón, elementos como la envolvente, los sistemas de ventilación o las instalaciones térmicas, pueden suponer unas pérdidas energéticas y económicas considerables para los propietarios.

Actualmente, la sociedad requiere de un alto consumo energético para mantener su nivel de vida y confort, ya que consumimos energía para calentar, refrigerar e iluminar nuestros edificios. Sin embargo, gran parte de esta energía proviene de combustible fósiles, principal causante de los gases de efecto invernadero que son motivo de la creciente preocupación por mitigar el cambio climático y conservar el medio ambiente. No obstante, “Antes de buscar cómo sustituir estas energías derivadas de combustibles fósiles por fuentes de energía renovables o alternativas, (...) deberíamos asegurarnos de que nuestros edificios consumen la menor energía posible, con independencia de su origen.” (Heywood, 2012, pp. 4)

Dichas demandas pueden ser detectadas por medio de una auditoría energética llevada a cabo por un profesional acreditado asociado a un sistema de certificación. El más utilizado en Colombia y a nivel mundial es el sistema de certificación de edificios sostenibles LEED (Leadership in Energy & Environmental Design), promovido por el Consejo Colombiano de Construcción sostenible (CCCCS), que ofrece a los propietarios de edificios un estándar para el diseño, construcción y reforma que les permita alcanzar el reconocimiento de edificios verdes o sostenibles. Sin embargo, el proceso de auditoría y certificación requiere una inversión de tiempo y costos adicionales. Este trabajo de investigación busca ofrecer a los futuros proyectistas una herramienta para evaluar, renovar y prolongar la vida útil de edificaciones existentes, en un ejercicio desde la academia que les permita llevar a cabo procesos de reflexión relacionados con la toma de decisiones que puedan consumir menor energía a largo plazo.

2. Justificación

El impacto ambiental de un edificio es proporcional a la cantidad de recursos y emisiones relacionadas con las actividades y procesos que tienen lugar en él durante su ciclo de vida, es por esto que integrar aspectos energéticos y medioambientales durante su diseño y construcción resultan convenientes para un consumo energético razonable durante muchas décadas. Por lo que, en palabras de Rey y Velasco (2006), parece ser que “el reto consiste en buscar el desarrollo sostenible, manteniendo el nivel de actividad, de transformación y progreso pero ajustando las necesidades a los recursos existentes y evitando el derroche energético”.

No obstante, mientras en el mundo se están llevando a cabo un sinnúmero de nuevas edificaciones más eficientes, hay un 60% de las construidas el siglo pasado que no han sido intervenidas para cumplir los nuevos estándares de construcción sostenible y mejorar su consumo de energía actual. Uno de los esfuerzos que se está haciendo a nivel internacional es el “Living Building Challenge” (Ver Figura 2), una propuesta incluso más estricta que el sistema de certificación LEED, cuyo objetivo es lograr la medida de sostenibilidad más avanzada posible en el entorno construido. Sin embargo, la inclinación de esta iniciativa apunta al diseño de nuevas edificaciones, sin ofrecer pautas específicas sobre la intervención a edificaciones existentes.



Figura 2. Pétalos o áreas de desempeño del Living Building Challenge.
Adaptado de: Living Building Challenge (2016).

Los edificios existen para modificar el clima y crear un ambiente interior confortable. Si el ambiente interior no es lo suficientemente agradable para los usuarios, estos buscarán la manera de mejorar los niveles de confort a través de sistemas de calefacción o refrigeración, medidas que aumentan el consumo de energía, aunque se utilicen equipos e instalaciones high-tech.

La importancia de renovar las edificaciones existentes, desde la comprensión de los principios básicos de arquitectura bioclimática, radica en que entre mejor diseñados estén los edificios, menor energía consumirán a largo plazo, prolongando su ciclo de vida útil también. Sin embargo, el periodismo de las energías limpias o renovables, ha venido opacando la importancia de entender el edificio desde el clima y su entorno, haciendo a un lado el diseño y los elementos arquitectónicos para darle mayor importancia a los sistemas mecánicos de refrigeración, calefacción o iluminación a implementar.

De esta manera, tomando como caso de estudio un edificio de uso comercial-hotelero, cuya demanda energética es considerablemente alta, ubicado en condiciones climáticas de bajo confort térmico como son las locaciones de clima cálido húmedo, se consigue un escenario relevante y competente para verificar la efectividad de la metodología comparada.

Este trabajo de investigación fue pensado como una herramienta a implementar desde la academia, para reforzar los conocimientos de arquitectura bioclimática con un enfoque práctico que permita al estudiante interactuar con posibles situaciones que se encuentran en el campo laboral y considerar todas las opciones posibles para intervenir un edificio existente, antes de tomar medidas relacionadas directamente con la eficiencia energética.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Analizar de forma comparativa el comportamiento térmico de dos edificios en clima cálido húmedo, el primero un hotel existente y el segundo uno proyectado en el mismo predio, para valorar la efectividad de las estrategias de diseño bioclimático implementadas para mejorar las condiciones interiores del edificio actual.

3.2. Objetivos específicos

- Análisis comparativo de diversas metodologías para la evaluación del comportamiento térmico con el fin de construir una propuesta metodológica a partir de estas.
- Recopilar datos climatológicos y normativos para analizar la condición actual del sitio y construir el archivo climatológico para simular el edificio en un entorno controlado.
- Construir la línea base del proyecto a partir del análisis constructivo del edificio, para llevar a cabo las simulaciones pertinentes que permitan identificar los problemas de confort.
- Diseñar un prototipo mejorado del edificio siguiendo las estrategias bioclimáticas seleccionadas, para realizar simulaciones que muestren la efectividad de la solución formulada.
- Elaborar un análisis comparativo de resultados entre el edificio existente y el edificio proyectado con el fin de validar la pertinencia de las estrategias bioclimáticas implementadas.

4. Marco Referencial

Para abordar la investigación se hace necesaria la definición de los conceptos fundamentales, la teoría para llevar a cabo diferentes análisis bioclimáticos, la normativa aplicada en diferentes partes del mundo y las actuaciones de renovación en diferentes metodologías; esto con el fin de contextualizar los temas de estudio en el marco del comportamiento térmico, en pro del análisis y valoración del edificio.

4.1. Marco conceptual

4.1.1. Arquitectura bioclimática

Garzón (2007) define la arquitectura bioclimática como aquella arquitectura que tiene en cuenta el clima y las condiciones del entorno para ayudar a conseguir el confort higrotérmico. El propósito de esta es involucrar y jugar exclusivamente con el diseño y los elementos arquitectónicos, sin utilizar sistemas mecánicos, que son considerados sólo como sistemas de apoyo cuando las condiciones climáticas son bastante desfavorables. Si se parte de la premisa que la arquitectura es un trabajo social con impacto global, se debe enfatizar la tendencia bioclimática desde sus principios que van dirigidos hacia:

- El mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios desde el punto de vista del confort higrotérmico.
- La integración del objeto arquitectónico a su entorno y localización.
- La reducción de la demanda de energía convencional y al aprovechamiento de fuentes de energía renovable, como resultado del concepto ecológico de esta tendencia.

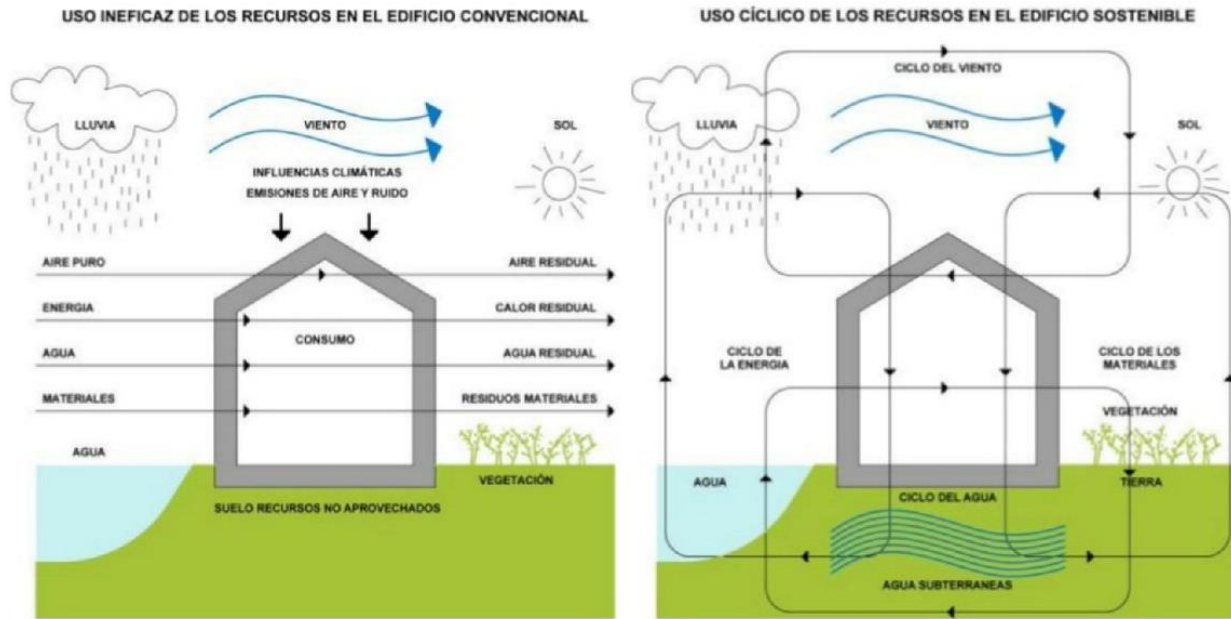


Figura 3. Comparación de los esquemas de utilización de los recursos de los edificios convencionales y los edificios sostenibles.

Adaptado de EADIC (15 de noviembre de 2013).

“El diseño de los edificios debe realizarse teniendo en cuenta el entorno y las orientaciones favorables y aprovechando los recursos naturales disponibles como: el sol, la vegetación, la lluvia y el viento, en procura de la sostenibilidad del medio ambiente”. (Garzón, 2007, pp. 15)

4.1.2. Arquitectura para clima cálido húmedo

Este clima se produce en latitudes situadas entre 10 y 15 grados a ambos lados del Ecuador. Estas zonas climáticas suelen experimentar una temperatura anual bastante estable de unos 27 °C, con picos de 30 °C o superiores en días soleados. Se mantiene durante todo el año una humedad promedio elevada (80-90 %) y las lluvias también son cuantiosas. “La preocupación en este clima consiste en proporcionar una ventilación efectiva y evitar que la envolvente se caliente. Además de confirmar que la humedad elevada hace especialmente difícil en estas regiones proporcionar unas condiciones favorables de confort”. (Heywood, 2012, pp. 229-230)

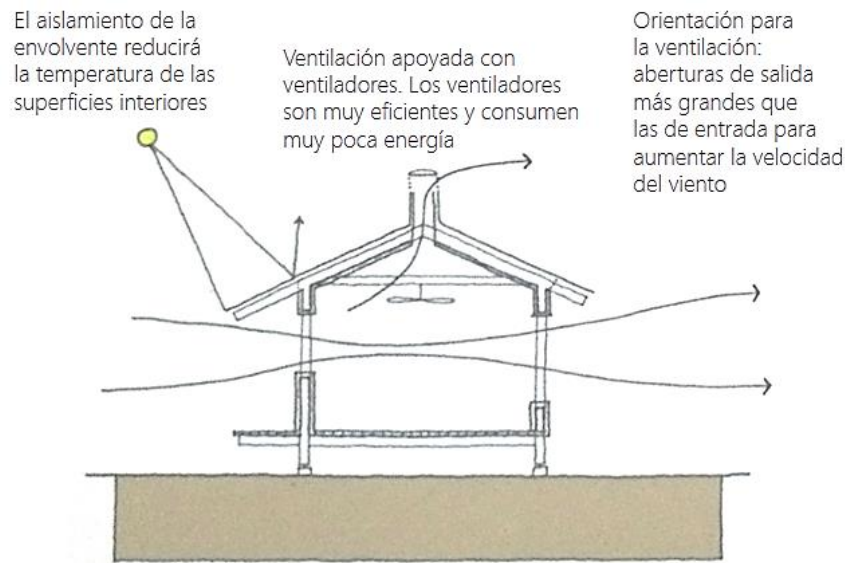


Figura 4. Diagrama 1 – Reglas para climas cálido y húmedo.

Fuente: Heywood, H. (2012).

Así mismo, Neila (2004) en su libro *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible* explica que los climas de latitudes bajas tienen una radiación solar que incide de un modo perpendicular durante la mayor parte del año. Este hecho implica que debe atravesar menos masa atmosférica y que la radiación solar será muy elevada también. Como consecuencia, las temperaturas que se alcanzan en estas zonas pueden llegar a ser muy altas.

Por otra parte, al efecto de sobrecalentamiento interior hay que añadirle promedios elevados de humedad, que incrementan la sensación de calor, fenómeno bastante negativo al momento de habitar una edificación, que solo puede ser evitado mediante una ventilación muy intensa.

4.1.3. Estrategias bioclimáticas para clima cálido húmedo

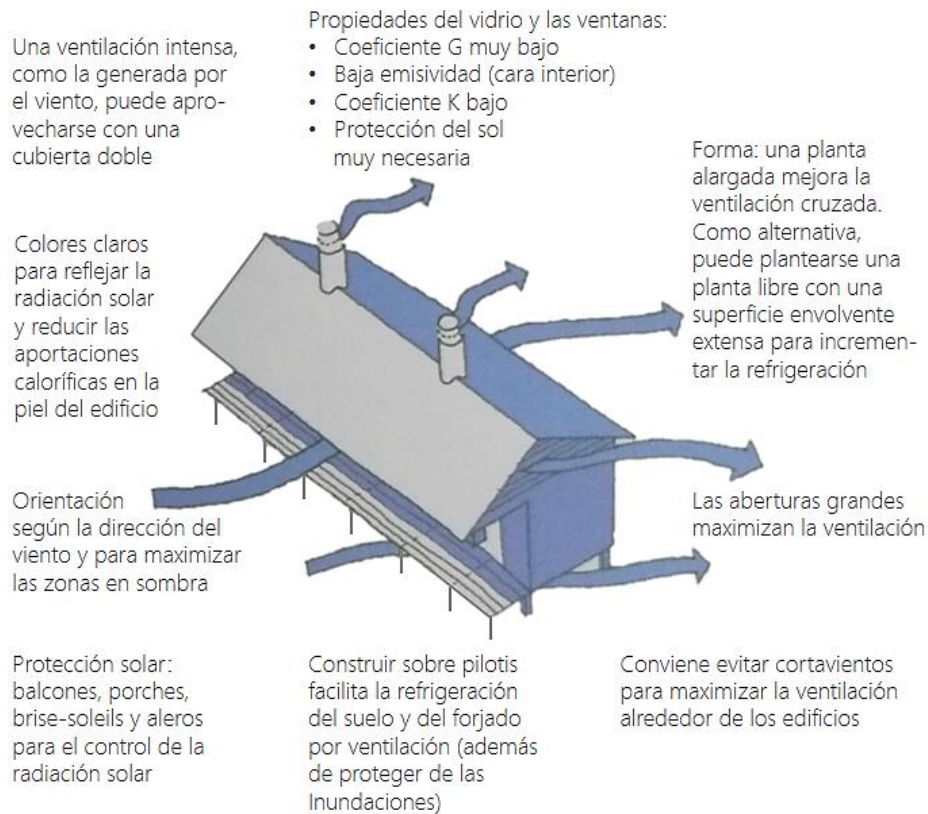


Figura 5. Diagrama 2 – Reglas para climas cálido y húmedo.

Fuente: Heywood, H. (2012).

La arquitectura popular en estas zonas se basan en dos estrategias básicas: la protección de la radiación solar y la ventilación. La protección solar tiene como objeto reducir los efectos de la radiación solar, tanto sobre la construcción para prevenir el sobrecalentamiento como sobre los espacios abiertos, con la intención de crear microclimas favorables en torno al edificio. Con relación a los edificios, las estrategias más comunes para clima cálido húmedo son:

- Espacios exteriores en torno a la vivienda para realizar parte de la vida en ellos.
- Voladizos que sombreen los espacios exteriores.

- Huecos grandes para facilitar la ventilación, protegidos con celosías, contraventanas, cortinajes, etc, para dificultar la entrada de radiación solar.
- Colores de las fachadas claros para reflejar la radiación solar.
- Muros y cubiertas ligeros que faciliten la autoventilación.
- Construcciones sobre pilotes para facilitar la ventilación por debajo del edificio y evitar la conducción de humedad a través de la placa sobre el suelo.

4.2. Marco teórico

4.2.1. Modelado energético

El modelado energético es una categoría de modelado 3D cuyo objetivo principal es estimar la demanda energética (cantidad de energía) que requiere un proyecto en operación. Esta demanda o consumo energético abarca desde la iluminación artificial hasta las cargas para la operación de electrodomésticos y el funcionamiento de máquinas (bombas, equipos de calefacción, ventilación y aire acondicionado o HVAC).

El objetivo principal de la simulación de estos modelos es la optimización del uso energético en las edificaciones. Gracias a la preocupación por mitigar los efectos del cambio climático y al avance tecnológico, diferentes organismos internacionales han comenzado a involucrarse en el tema de la modelación energética, mediante la creación de programas, metodologías y aproximaciones. En cuanto a los modelos de este tipo, existen diferentes propósitos y usos, pero en general, las principales aplicaciones son (Chartered Institution of Building Services Engineers, CIBSE, TM54, 2013, pp. 10):

- Diseño: arquitectura sostenible, Sistemas HVAC y su dimensionamiento.
- Estimación del uso probable de energía del edificio.
- Estimación de emisiones de dióxido de carbono.
- Estimación de costos de operación (facturas de energía).
- Análisis de la distribución del uso de energía en el edificio.

Dependiendo de los objetivos de las medidas de conservación energética, los objetivos del dueño del proyecto y objetivos del diseño, se desprenden diferentes tipos de modelado para cubrir necesidades específicas (CIBSE, AM11, 2015, pp. 41). Dentro de los tipos de modelación energética se encuentran:

- Modelación para simulación energética.
- Modelación para simulación térmica (Modelación que se explicará a continuación debido a su aplicabilidad en este proyecto de investigación).
- Modelación para ventilación.
- Modelación para iluminación.

4.2.2. Modelación para simulación térmica

Este modelo está relacionado con el desempeño termodinámico al interior de la edificación, por lo que se encuentra relacionado con el confort humano. Sus principales objetivos son:

- Orientación para contribuir a un diseño que tenga en cuenta el confort para los usuarios.
- Requerimientos mínimos de termorregulación corporal.
- Contribución a la evaluación de un sistema de certificación en diseño sostenible como BREEAM o LEED.

Los criterios de confort deben ser fijados por un equipo de diseño bajo estándares internacionales y a su vez deben ser aplicados en los modelos para cumplir con las métricas que se buscan en este tipo de modelado, dichas métricas son: temperatura operativa, temperatura radiante y temperatura del aire. Se recomienda que esta modelación inicie en una fase de diseño esquemático. Además, es necesario generar simulaciones para los días más fríos y los más cálidos con el fin de ofrecer estrategias de diseño que garanticen el bienestar a los ocupantes durante esos periodos, en un año promedio (CIBSE AM11, 2015).

Los datos de entrada requeridos para llevar a cabo una simulación térmica son:

- Geometría y zonificación.
- Características de los materiales.
- Sombras solares.
- Datos climatológicos.

4.2.3. Confort térmico

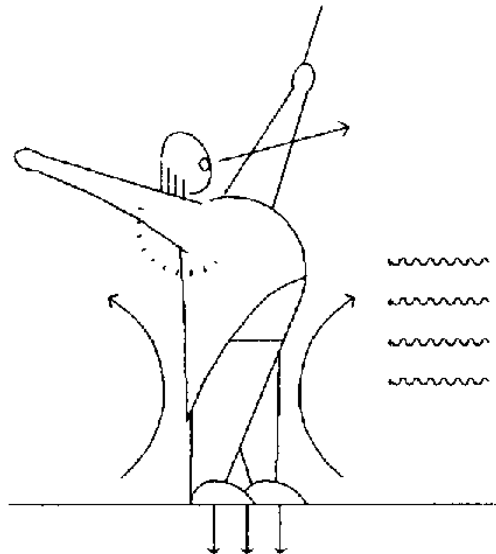
El confort térmico es definido en la Norma ISO 7730 como “la condición mental en la que se expresa satisfacción con el ambiente térmico a través de los intercambios de energía con el ambiente circundante”.

Según el libro de Serra y Coch (1995), el consumo de energía es proporcional al peso de la persona y depende de su grado de actividad. Cuando se realiza un trabajo, un 20% de la energía usada se transforma en trabajo mecánico mientras que el resto se transforma en calor. Esta producción de calor compensa las pérdidas hacia el exterior, y mantiene estable la temperatura, lo que permite la sensación de confort térmico. Si el equilibrio no existe, al aumentar la temperatura externa, se produce una sensación de molestia. (pp. 83-84)

Los sistemas de intercambio de energía del cuerpo se dan a través de los mecanismos de conducción, convección y radiación, que se describen a continuación:

- Conducción: mediante cuerpo o cuerpos en contacto debido a movimiento molecular.
- Convección: el calor es transmitido o perdido por medio de un fluido (líquido o gaseoso).
- Radiación: transmisión de calor desde un cuerpo con una superficie cálida a uno frío.

La disipación de calor se produce en gran parte por la piel para permitir que el cuerpo regule su producción de calor o su pérdida para mantener el equilibrio. Dichos procesos varían según la diferencia entre la temperatura del cuerpo con la temperatura exterior, con el fin de mantener el cuerpo en niveles tolerables de confort. El intercambio de energía también tiene una base psicológica que no es posible de modelar, pero existen modelos de análisis que ayudan a calibrar la sensación térmica por grupos de personas de acuerdo a rangos de edad, sexo, ocupación, etc.



*Figura 6. Sistemas de intercambio energético cuerpo-ambiente.
Adaptado de Serra, R., Coch, H. (1995).*

De acuerdo con los sistemas de eliminación de energía del cuerpo humano, las cuatro condiciones ambientales que pueden alterar el confort térmico en las personas y que influyen en la respuesta termodinámica del edificio, denominados “parámetros térmicos” por Serra y Coch, se explican a continuación:

- Temperatura del Aire que envuelve el cuerpo, que regula la cesión de calor por conducción/convección y por respiración.
- Temperatura Radiante, media ponderada de las superficies que rodean el cuerpo, que emiten e influye sobre los intercambios de calor.
- Humedad Relativa del Aire, que modifica las pérdidas por evaporación de transpiración y la humedad cedida con la respiración.
- Velocidad del Aire respecto al cuerpo, influyente en la disipación por convección y en la velocidad de evaporación de la transpiración.

Los factores de confort térmico son el tipo de actividad (Tasa Metabólica) que influye directamente sobre el metabolismo, y el arropamiento (Valor de Clo) barrera térmica que influye por su aislamiento térmico, pero también por su comportamiento al paso de la humedad. Estos factores son definidos por Chávez (2002) de la siguiente manera:

- Estimación de la Tasa Metabólica. El metabolismo es la fuente de energía del cuerpo, y la cantidad de energía que libera depende de la cantidad de actividad muscular. El metabolismo se mide en Met. ($1 \text{ Met} = 58.15 \text{ W/m}^2$ de superficie del cuerpo), un adulto normal tiene una superficie de 1.7 m^2 y una persona en el confort térmico con un nivel de actividad de 1 Met. tendrá una pérdida de calor de aproximadamente 100 W. (pp. 26)

Tabla 1. *Velocidad del metabolismo según la actividad.*

ACTIVIDAD		VELOCIDAD DEL METABOLISMO		
		W/m ²	W	Met
Nula	Metabolismo basal	41/44	65/79	0,65/0,79
Mínima	Descansando	65	115	1,15
Baja	Actividad manual sentado Ligeros desplazamientos (<1,0 m/s)	100	180	1,80
Media	Trabajos con brazos y piernas Desplazamientos velocidad moderada (1,0-1,5 m/s)	165	295	2,95
Alta	Trabajos intensos Desplazamientos rápidos (1,5-2,0 m/s)	230	415	4,15
Muy alta	Trabajos muy intensos Desplazamientos corriendo (>2,0 m/s)	290	520	5,20

Nota: Adaptado de Neila, F. J. (2004).

- Cálculo del Valor Clo. La vestimenta reduce la pérdida de calor del cuerpo. Por consiguiente, el vestido es clasificado según su valor de aislamiento. La unidad normalmente usada para medir el aislamiento es la unidad de Clo, pero la unidad más técnica m² °C/W también se ve frecuentemente (1 Clo = 0.155 m² °C/W). (pp.27)

Tabla 2. *Valores de aislamiento en la ropa.*

	TIPO DE ROPA	AISLAMIENTO (CLO)	RANGO (CLO)
Nivel 0	Desnudos	0	0...0,3
Nivel 1	Ropa ligera	0,5	0,3...0,7
Nivel 2	Ropa media	1	0,7...1,3
Nivel 3	Ropa pesada	1,5	Más de 1,3

Nota: Adaptado de Neila, F. J. (2004).

4.2.4. Estándares de Confort Térmico

Los estándares de confort térmico colaboran en la satisfacción de requerimientos por parte de los ocupantes en cuanto a salud, bienestar y productividad. Existen muchos estándares que intentan medir el confort humano, sin embargo, los que tienen relevancia en el campo de la ingeniería para el diseño son los siguientes (CIBSE, AM11, 2015, pp. 55-60):

- **Temperatura Fuera de Rango.** Establece límites en el tiempo en el cual la temperatura del aire u otra métrica relacionada puede estar por fuera del umbral establecido, es ampliamente utilizada para criterios de sobre calentamiento. Este estándar no satisface completamente criterios de confort, sino que evita episodios de disconfort.
- **Equilibrio de Calor.** Se basa en la teoría de Fanger acerca de su postulación sobre ganancias versus pérdidas de calor en el cuerpo humano y el balance entre estas, es decir que deben ser iguales para que exista confort térmico. Sin embargo, no es sencillo conseguir dicho equilibrio teórico debido a que el cuerpo humano intercambia calor con el entorno mediante los diferentes mecanismos anteriormente mencionados. Por este motivo, existen dos índices de medición estandarizados propuestos por Fanger y reconocido por organismos internacionales: el Predicted Mean Vote (PMV) y el Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD).
- **Estándar de Confort Térmico Adaptativo.** El confort térmico adaptativo sugiere que las personas se acostumbran a un tipo de clima, y que cuando existen variaciones a la temperatura acostumbrada el ser humano interactúa con su ambiente para intentar mitigar su disconfort térmico mediante adaptaciones en su vestimenta u otros.

4.2.5. Métodos de Cálculo del Confort Térmico

Basados en los principios mencionados anteriormente, se han hecho los siguientes estudios para calcular estadísticamente el confort térmico y establecer criterios de diseño en pro de mejorar las condiciones térmicas de un espacio:

- Gráfica Bioclimática de Victor Olgyay (Ver Figura 7). Es una gráfica que estudia el medio ambiente exterior, teniendo presentes directamente dos parámetros de confort térmico: la temperatura del aire y la humedad relativa. Considera indirectamente como correcciones los otros dos parámetros: radiación y movimiento del aire. Define una "zona de confort" muy amplia, entre los 21,1 y los 27,5 °C y entre 30% y 65% de humedad relativa, sin valorar los factores de confort que podrían hacerla cambiar bastante (Serra y Coch, 1995, pp. 85).

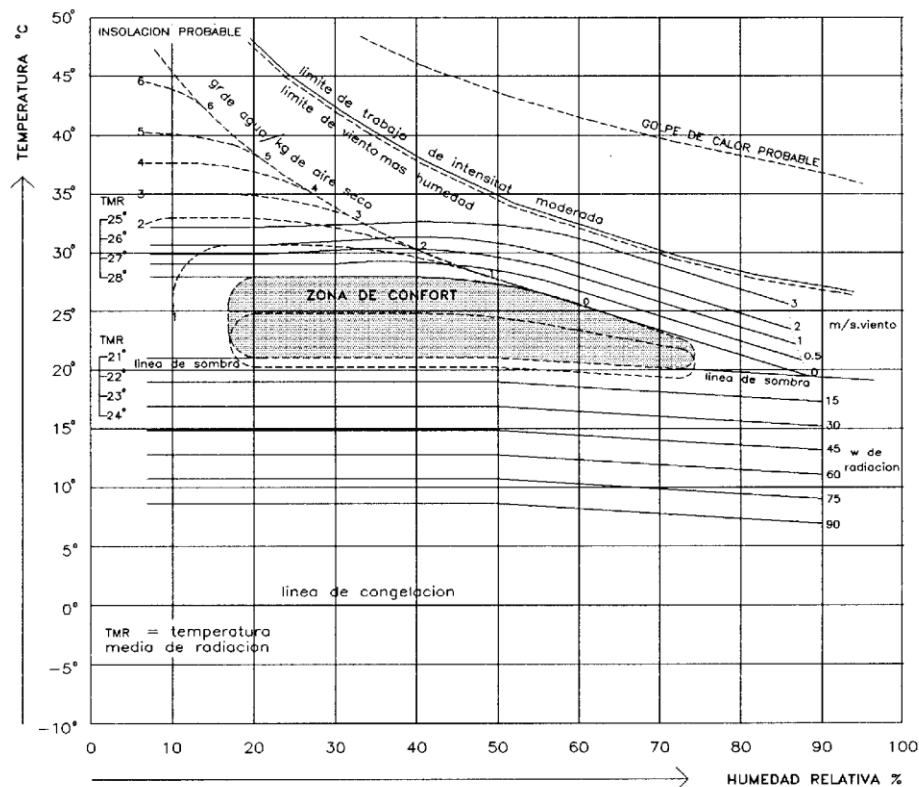


Figura 7. Gráfica bioclimática de Victor Olgyay.
Adaptado de Serra, R., Coch, H. (1995).

- Diagrama Psicrométrico de Givoni (Ver Figura 8). A partir de los aportes de Olgyay, Baruch Givoni también realizó un estudio en el ábaco psicrométrico de la zona de confort y de la relación de ésta con los posibles sistemas de corrección mediante soluciones arquitectónicas, para mejorar las condiciones fuera de la zona de confort (Serra y Coch, 1995, pp. 87).

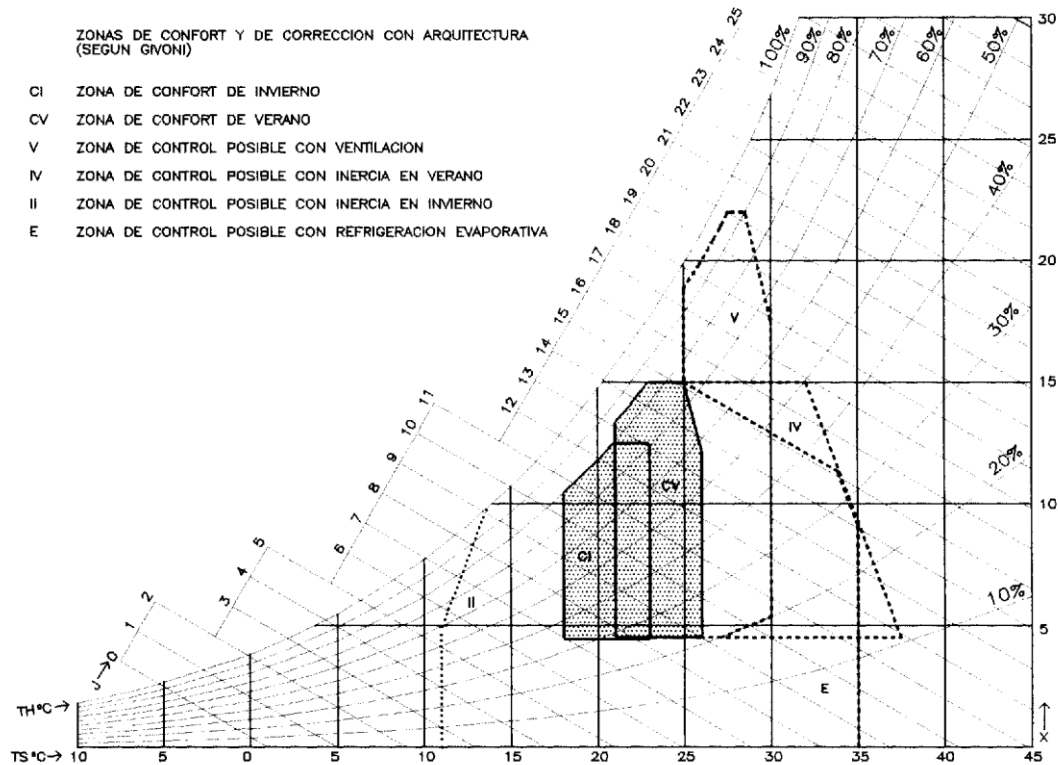


Figura 8. Zonas de corrección arquitectónica sobre el ábaco psicrométrico.
Adaptado de Serra, R., Coch, H. (1995).

- Ecuaciones de Fanger. P. O. Fanger plantea una ecuación con datos estadísticos, variando no solo los cuatro parámetros, sino también algunos factores: trabajo mecánico, aislamiento de la ropa, relación superficie vestida/desnuda, etc. En su estudio se define la resistencia térmica de la ropa con una nueva unidad, el CLO, donde el traje típico de trabajo masculino vale 1 CLO (equivalente a 0,155 m² EC/W), el esquimal 3 CLO, etc.

En la ecuación de equilibrio: $M - W = E \pm R \pm C \pm x Q$, Fanger modifica sistemáticamente cada variable y las relaciona con distintos factores, hasta obtener las condiciones equivalentes de confort. Los resultados se analizan con siete respuestas tipificadas (Ver Tabla 3):

Tabla 3. *Escala de sensación térmica de 7 niveles.*

+3	Muy caluroso
+2	Caluroso
+1	Ligeramente caluroso
0	Neutro
-1	Ligeramente fresco
-2	Fresco
-3	Frío

Nota: Escala de sensación térmica desde muy caluroso hasta frío. Adaptado de Serra, R., Coch, H. (1995).

Estos resultados demuestran que siempre se encuentra, como mínimo, un 5% de insatisfechos. Otros análisis posteriores han intentado, más que definir zonas de confort estrictas, valorar con más elasticidad las relaciones entre los diferentes parámetros y la de éstos con los factores. (Serra y Coch, 1995, pp. 89)

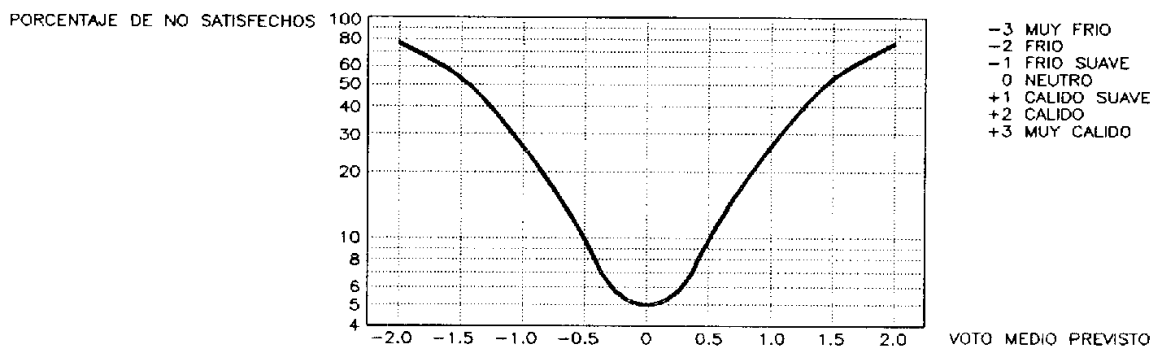


Figura 9. Gráfica de confort de P. O. Fanger.
Adaptado de: Serra, R., Coch, H. (1995).

4.2.6. Softwares para Evaluación y Análisis Bioclimático de Edificios.

Existen actualmente diversas herramientas digitales accesibles a investigadores, arquitectos, o cualquier usuario interesado en llevar a cabo estudios de análisis bioclimático y eficiencia energética. El Departamento de Energía de los Estados Unidos (EERE) ha certificado un total de 417 herramientas para el análisis bioclimático. Para fines de esta investigación se escogieron los siguientes softwares, dentro de las categorías software para la evaluación de sistemas y análisis integrado de edificios del EERE.

Tabla 4. *Herramientas digitales de diseño bioclimático.*

ICONO	SOFTWARE	¿QUÉ ES?	APLICACIÓN
	Elements	Es una herramienta de software para crear y editar archivos meteorológicos personalizados para la construcción de modelos energéticos. (Big Ladder, 2019)	Construcción del archivo meteorológico a partir de la información meteorológica recopilada por el IDEAM los últimos 20 años.
	Climate Consultant	El objetivo de este software es mostrar diferentes representaciones gráficas de datos climáticos para una ubicación específica. (Murray, M., s.f.).	Uso de la carta psicrométrica de confort adaptativo para identificar las mejores estrategias, según ASHRAE, para clima cálido húmedo, y visualizar gráficas climáticas.
	Design Builder	Software especializado en la simulación ambiental y energética de edificios, cuyo motor de cálculo es el programa de simulación energética EnergyPlus™. (Design Builder Lat, 2018)	Modelado 3D a partir del levantamiento del Hotel Mi California para llevar a cabo las simulaciones energéticas del antes y después.
	Ecotect Analysis	Es un software de análisis de diseño sostenible para analizar energía, agua, emisiones de CO ₂ , entre otras; por medio de herramientas para la visualización y simulación del comportamiento del edificio. (Gutiérrez, C., 12 de diciembre del 2010)	Importación del modelado 3D del Hotel y su entorno inmediato para llevar a cabo el análisis de sombreado sobre las fachadas del edificio en las épocas de solsticios y equinoccios.
	ArchiWizard	Es un software de simulación de energía para la optimización del rendimiento energético de un edificio en conexión directa con el modelo digital (BIM). (GRAITEC ArchiWIZARD, 2019).	Importación del modelado 3D del Hotel y su entorno inmediato para llevar a cabo el análisis de exposición solar sobre las fachadas del edificio en las épocas de solsticios y equinoccios.
	Flow Design	Es un software de túnel de viento virtual para simular las pruebas de túnel de viento alrededor de vehículos, estructuras y productos. (Autodesk Educación, 2019).	Importación del modelado 3D del Hotel y su entorno inmediato para llevar a cabo el análisis de ventilación y flujos de aire en el entorno inmediato.

Nota: Elaboración con base en la información técnica de cada programa.

Design Builder, el software que será utilizado en esta investigación para llevar a cabo el modelado energético y las simulaciones térmicas, es uno de los programas más avanzados para simulación energética sugerido por organismos internacionales como el CIBSE. Sus características principales a resaltar son:

- Introducción sencilla de datos para la geometría y las características del edificio.
- El motor de cálculo de EnergyPlus, conocido internacionalmente, permite llevar a cabo simulaciones dinámicas para evaluar diversas opciones constructivas y de diseño.
- Realizar cálculos de diferentes parámetros del edificio, horarios, mensuales o anuales, y representarlos con gráficas o tablas.
- Realizar el cálculo de cargas según ASHRAE para condiciones más desfavorables, además de otros parámetros difíciles de obtener como el PMV, el PPD y la temperatura operativa.
- Simular sistemas complejos de instalaciones y asociar más de un sistema a una zona, tarea que no puede ser realizada por otros programas conocidos como CALENER.

Es importante aclarar que la simulación energética no debe ser tomada como una predicción exacta. Ésta debe ser entendida como una estimación detallada para el entendimiento de los factores que afectan el uso de energía de una edificación. Entre las principales limitaciones de las simulaciones energéticas con la realidad se encuentran (CIBSE AM11, pp. 42, 2015):

- Los ocupantes nunca van a operar el edificio como se asume en el modelo.
- Las condiciones de clima de los archivos que contienen las bases de datos climáticas son un promedio y no representan a un año en específico.
- Los programas tienen paquetes de cálculo que usan diferentes algoritmos para mantener un equilibrio entre velocidad y exactitud lo cual resulta en resultados diferentes.

4.3. Marco normativo

La normativa colombiana que hace referencia a las edificaciones hoteleras se expone a continuación con el fin de identificar los requerimientos técnicos en cuanto a sostenibilidad, espacios y áreas para la nueva propuesta.

4.3.1. Norma Técnica Sectorial Colombiana, NTS-TS 002. Establecimientos de alojamiento y hospedaje (EAH). Requisitos de sostenibilidad.

El establecimiento debe de manera permanente debe cumplir con los siguientes requisitos ambientales (NTS-TS 002, 2014, pp. 11-16):

- La EAH debe informar a sus clientes y huéspedes acerca del comportamiento responsable con el entorno natural ayudando a prevenir el tráfico ilícito de flora y fauna.
- Respetar las fuentes hídricas, contar con áreas naturales para uso recreativo permitido y que su iluminación externa no cause alteraciones en el medio natural para apoyar programas de protección y uso sostenible.
- Ahorro y uso eficiente del agua al informar a los clientes, huéspedes y colaboradores sobre prácticas para el ahorro y cumplir con los requisitos definidos por la autoridad ambiental competente relacionados con el manejo de aguas residuales.
- Ahorro y uso eficiente de la energía al promover el uso de iluminación y ventilación naturales y el aprovechamiento de fuentes renovables de energía con el fin de disminuir el consumo sin comprometer las condiciones de calidad del servicio para los clientes y huéspedes.
- Llevar un registro del consumo de productos químicos, usar productos amigables con el ambiente y evitar el uso y vertimiento de sustancias tóxicas contaminantes.

- Gestión y manejo de residuos sólidos y peligrosos por medio de acciones que incluyan minimización, reutilización, separación, reciclaje y disposición de los mismos.
- Evitar contaminación atmosférica, auditiva y visual identificando las fuentes de su actividad y cumplir con la legislación vigente cuando se establezcan zonas para fumadores.
- Gestión de emisión de gases efecto invernadero (GEI) y de sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) llevando un registro que incluya tipo de equipo, fuente energética, tipo de equipo, consumo energético y cantidad de refrigerante si aplica.

4.3.2. Norma Técnica Sectorial Colombiana, NTSH 006. Clasificación de establecimientos de alojamiento y hospedaje. Categorización por estrellas de hoteles. Requisitos.

Esta norma establece las características de calidad en infraestructura y servicios ofrecidos, que deben cumplir los hoteles para obtener su certificado de calidad turística, así mismo, define la clasificación de los establecimientos de alojamiento y hospedaje, mediante la categorización por estrellas para los hoteles en las modalidades 1, 2, 3, 4 y 5 (NTSH 006, 2009, pp. 1).

Dentro de la clasificación de EAH según la modalidad en la prestación del servicio, el objeto de estudio se encuentra ubicado en la categoría e. Hotel y los requisitos a más relevantes a tener en cuenta serán los correspondientes a la categoría Hoteles de una estrella, explicados a continuación (NTSH 006, 2009, pp. 8-12):

4.3.2.1. Requisitos de planta

- Respecto a la edificación el edificio debe tener iluminación de emergencia, señalización arquitectónica y de seguridad (preventiva, informativa y de emergencia) conforme al plan de emergencia, y tomas eléctricas en todas las áreas.

- Respecto a las zonas verdes el hotel debe como mínimo garantizar el buen estado de las áreas verdes, en caso de tenerlas.
- Respecto a las emergencias el hotel debe tener como mínimo detectores de humo o de calor, mecanismos de extinción contra incendios, alarma general de incendio, salidas de escape o emergencia y un plan de emergencia, todo esto según concepto técnico de la autoridad competente. Respecto a los ascensores el hotel debe como mínimo tener un ascensor si tiene cinco (5) pisos o más.
- Respecto a la recepción el hotel debe como mínimo tener un área habilitada con mostrador para el registro de huéspedes, tener una caja o cajilla de seguridad y garantizar que la zona del exterior inmediato esté libre de obstáculos e iluminada.
- Respecto a los baños públicos el hotel debe como mínimo tener baños independientes para cada género, en los baños un mecanismo de ventilación o extracción mecánica de olores y deben contar con piso antideslizante.
- Respecto a las habitaciones el hotel debe como mínimo garantizar que las habitaciones estándar cuenten con espacios de circulación y con los respectivos elementos de planta, accesibilidad y servicio según corresponda: a. se sugiere que la dimensión de la habitación para una cama sencilla sea mínimo de 12,15 m² (incluido baño y closet); b. se sugiere que la dimensión de la habitación para dos camas sencillas o una cama doble sea mínimo de 18,25 m² (incluido baño y closet).
- Respecto a la reserva de agua para todo el establecimiento el hotel debe como mínimo tener tanques de reserva para un (1) día de consumo, con una ocupación del 100%.

- Zonas generales como depósito de herramientas, cuarto para basuras, entre otras. Y zonas de personal como un comedor dotado para el personal, servicio de baños y vestieres para el personal que labora en el hotel y áreas de oficinas para el personal de administración.

4.3.2.2. Requisitos de accesibilidad

- Respecto a la planta del edificio el hotel debe como mínimo garantizar que el ingreso a todas las áreas del hotel sean accesibles para personas con discapacidad.
- Respecto a los espacios públicos el hotel debe como mínimo disponer de baños accesibles en las áreas públicas para personas con discapacidad.
- Respecto a las habitaciones el hotel debe como mínimo garantizar que el ingreso desde el exterior y hasta las habitaciones sea accesible, y tener el 2% de las habitaciones accesibles para personas con discapacidad.

4.3.3. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10

4.3.3.1. Título A – Requisitos Generales de Diseño y Constucción Sismo Resistente

Según el Capítulo A.2.3. Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño de la NSR-10, al ubicar Barrancabermeja en la Figura 10 se puede identificar que se encuentra en la Zona de Amenaza Sísmica Intermedia, donde tanto la función de la aceleración pico efectiva (A_a) como la velocidad pico efectiva (A_v) son menores o iguales a 0.1 y ninguno de los dos excede 0.20 (NSR-10, 2010, pp. A-15). Para verificar esto se ubica Barrancabermeja en el mapa de valores de A_a (Ver Figura 11) y el mapa de valores de A_v (Ver Figura 12), dando como resultado los valores de 0.15 para A_a y 0.20 para A_v .

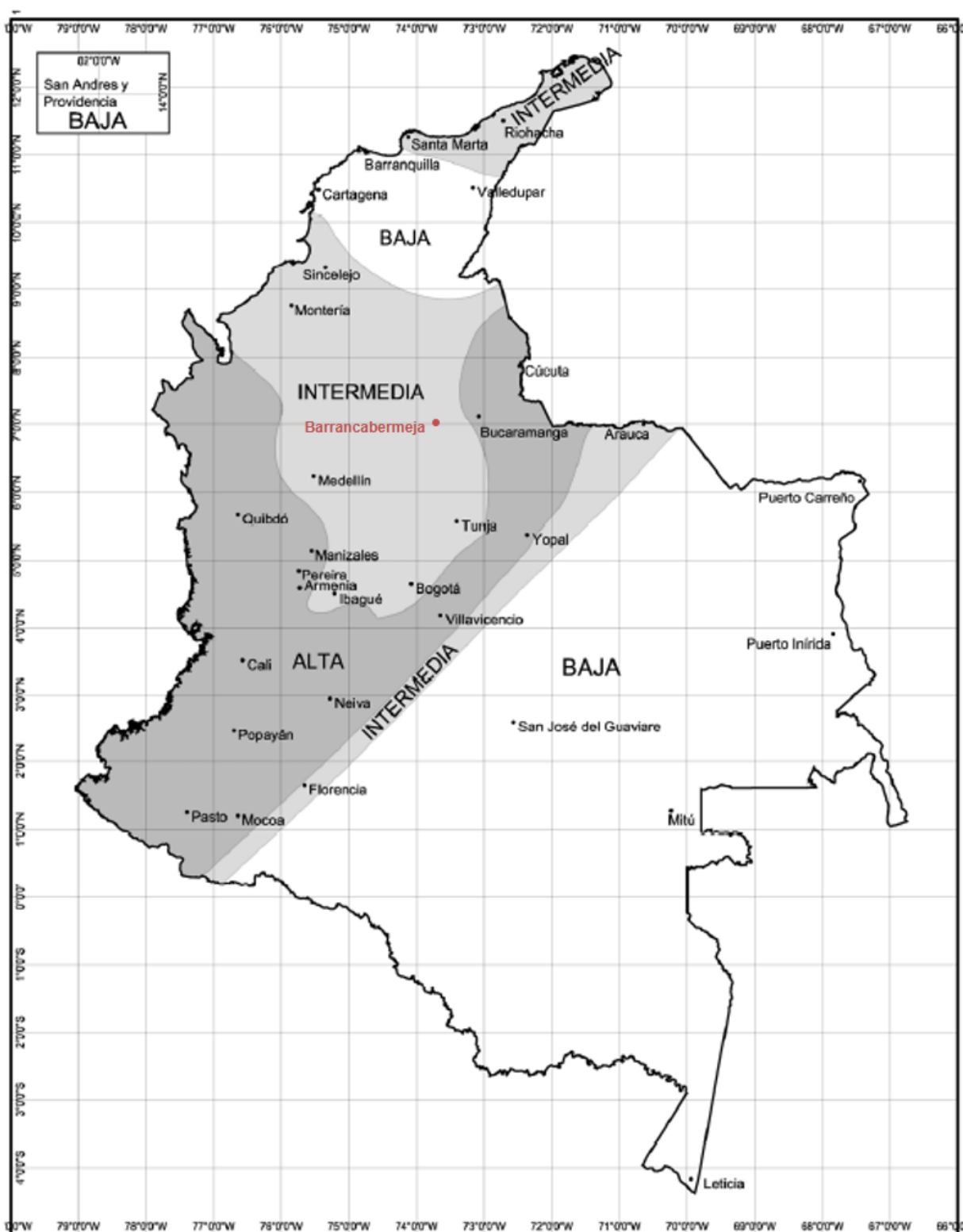


Figura 10. Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av.

Adaptado de NSR-10, 2010, pp. A-17.

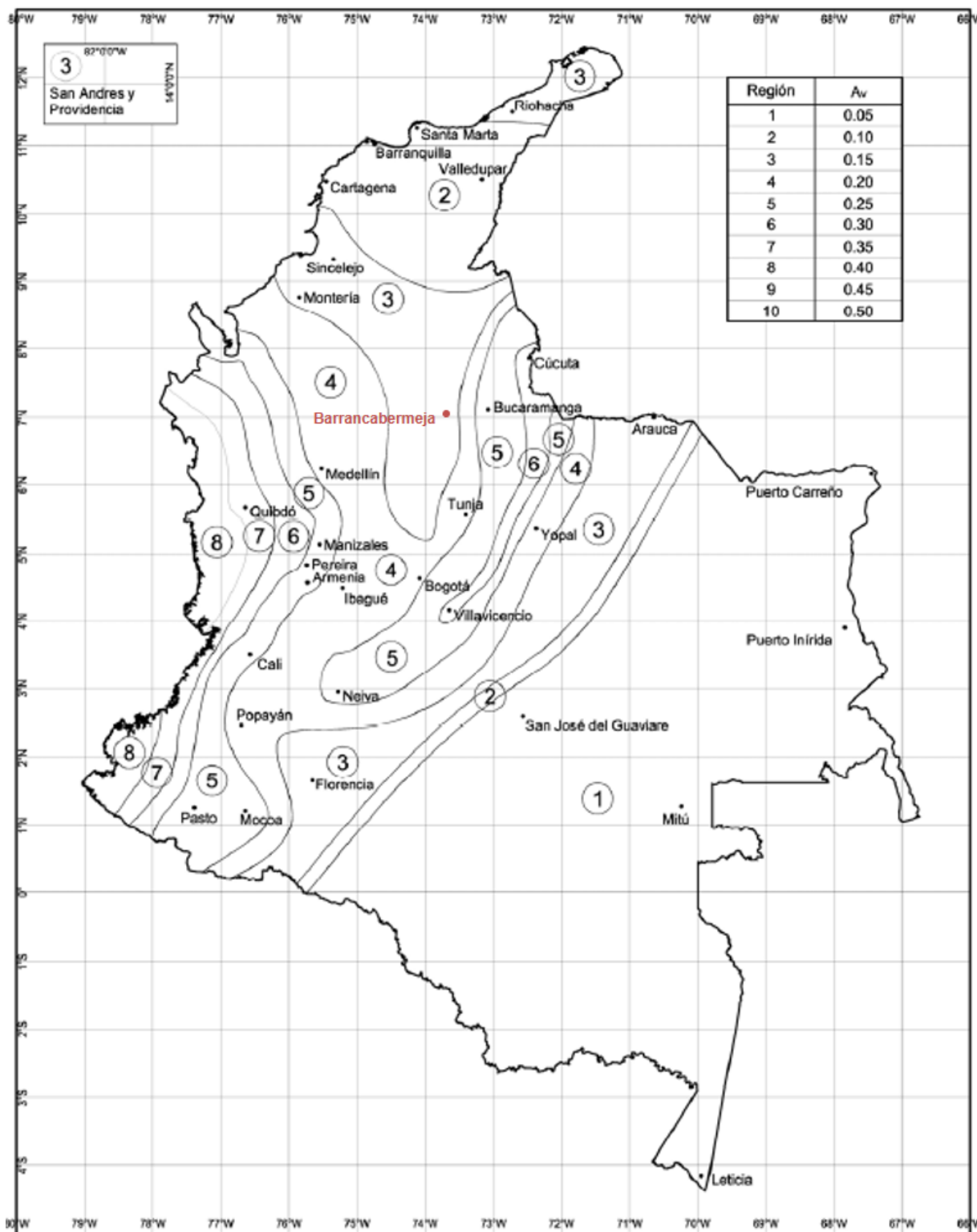


Figura 11. Mapa de valores de A_a .
Adaptado de NSR-10, 2010, pp. A-18.

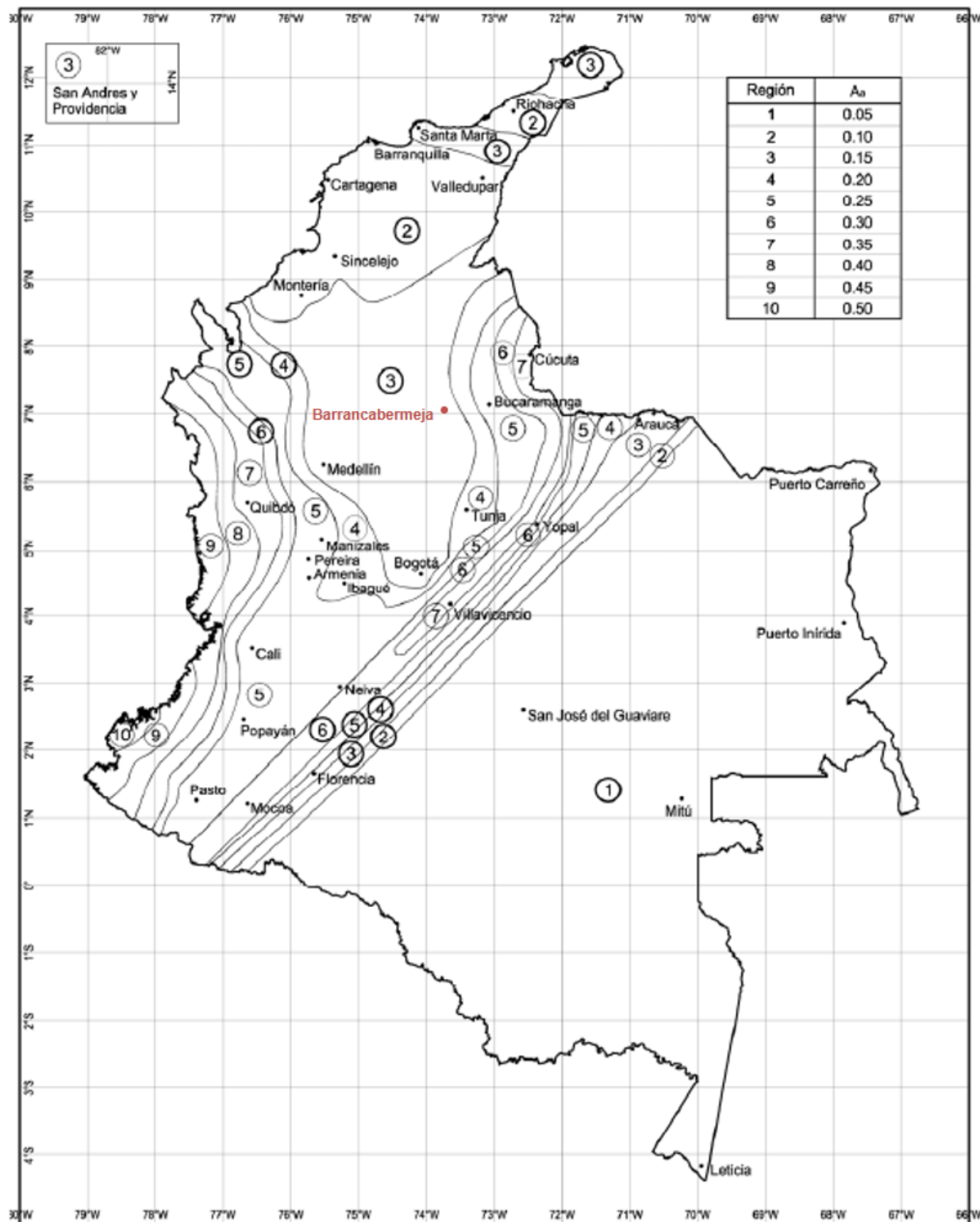


Figura 12. Mapa de valores de A_a .
Adaptado de NSR-10, 2010, pp. A-19.

En el Capítulo A.2.5. Coeficiente de importancia, se define el grupo de tipo de uso para hoteles, el cual sería I. Estructuras de ocupación normal, y el coeficiente de importancia para dicho grupo, cuyo valor sería 1.00 I (NSR-10, 2010, pp. A-26).

Además, en el Capítulo A.3 - Requisitos generales de diseño sismo resistente se pueden encontrar las siguientes herramientas para el diseño de una estructura sismo resistente:

- A.3.1 - Bases generales de diseño sismo resistente.
- A.3.2 - Sistemas estructurales.
- A.3.3 - Configuración estructural de la edificación.

4.3.3.2. Título J – Requisitos de Protección Contra Incendios en Edificaciones

El propósito del Título J es el de establecer los requisitos mínimos de protección contra incendios con base en las siguientes premisas (NSR-10, 2010, pp. J-1):

- Reducir en todo lo posible el riesgo de incendios en edificaciones.
- Evitar la propagación del fuego tanto dentro de las edificaciones como hacia estructuras aledañas.
- Facilitar las tareas de evacuación de los ocupantes de las edificaciones en caso de incendio.
- Facilitar el proceso de extinción de incendios en las edificaciones.
- Minimizar el riesgo de colapso de la estructura durante las labores de evacuación y extinción.

Para efectos de la aplicación de los requisitos que se establecen en este Título se clasifican las edificaciones por Grupos de Ocupación (Ver Tabla 5), identificando el grupo y subgrupo de ocupación para el caso de estudio de esta investigación, el cual sería R-3: Residencial – Hoteles.

Grupos y Subgrupos de ocupación	Clasificación	Sección
A	ALMACENAMIENTO	K.2.2
A-1	Riesgo moderado	
A-2	Riesgo bajo	
C	COMERCIAL	K.2.3
C-1	Servicios	
C-2	Bienes	
E	ESPECIALES	K.2.4
F	FABRIL E INDUSTRIAL	K.2.5
F-1	Riesgo moderado	
F-2	Riesgo bajo	
I	INSTITUCIONAL	K.2.6
I-1	Reclusión	
I-2	Salud o incapacidad	
I-3	Educación	
I-4	Seguridad pública	
I-5	Servicio público	
L	LUGARES DE REUNION	K.2.7
L-1	Deportivos	
L-2	Culturales y teatros	
L-3	Sociales y recreativos	
L-4	Religiosos	
L-5	De transporte	
M	MIXTO Y OTROS	K.2.8
P	ALTA PELIGROSIDAD	K.2.9
R	RESIDENCIAL	K.2.10
R-1	Unifamiliar y bifamiliar	
R-2	Multifamiliar	
R-3	Hoteles	
T	TEMPORAL	K.2.11

Figura 13. Grupos y subgrupos de ocupación.

Nota: La tabla presenta una lista de grupos y subgrupos de ocupación destinada a la clasificación de edificaciones y espacios de acuerdo con las especificaciones de los numerales K.2.2 a K.2.11. Adaptado de la NSR-10, 2010, pp. K-3.

En el Capítulo J.2 se presentan los requisitos generales de configuración arquitectónica, estructural, eléctrica e hidráulica necesarios para la protección contra incendios y las especificaciones mínimas que deben cumplir los materiales utilizados, a continuación se exponen los requerimientos más pertinentes para el objeto de estudio (NSR-10, 2010, pp. J-3):

4.3.3.2.1. Requisitos de Acceso a la Edificación (J.2.3).

- Respecto a los requisitos de Acceso a la Edificación (J.2.3), tanto el planteamiento urbanístico como las condiciones de diseño y construcción, en particular su entorno inmediato, sus vanos en fachada y la configuración de las redes de suministro de agua deben posibilitar y facilitar la intervención de los servicios de extinción de incendios, cumpliendo los requisitos para acceso frontal, sobre el nivel del terreno y bajo el nivel del mismo. Algunos aspectos a destacar son:

- Toda edificación debe tener al menos el 8% de su perímetro total medido al nivel del piso, con frente directamente a una vía o espacio frontal de acceso, en donde los vanos dispuestos permitan el acceso desde el exterior al personal del cuerpo de bomberos.

- El acceso debe proporcionarse directamente desde el exterior a cada planta localizada por debajo de una altura de 30 m. Los niveles localizados por encima de 30 m de altura deben tener accesos internos a los medios de evacuación hasta llegar a los niveles en los que exista acceso directo desde el exterior (Ver K.3.1.4 para la definición de los Medios de Evacuación).

- El acceso debe proporcionarse directamente desde el exterior a la primera planta o semisótano localizado bajo el nivel del terreno. Tal acceso debe consistir en escaleras, puertas, ventanas, paneles o cualquier otro medio que proporcione una abertura de por lo menos 120 cm de altura por 80 cm de ancho y cuyo antepecho no sobrepase una altura de 90 cm.

4.3.3.2.2. Prevención de la Propagación del Fuego hacia el Exterior (J.2.4).

- Toda construcción sobre el techo de una edificación debe hacerse con materiales incombustibles, a excepción de las astas para bandera, soportes para antenas y estructuras para tendido de ropa, así como plataformas que no cubran más del 20% del área total del techo.

- Debe instalarse, por lo menos, un hidrante para cada cantidad de área especificada en la Tabla 6. Además, debe tener suministro permanente de agua y debe tener, por lo menos, el caudal especificado.

- Por lo menos un hidrante debe estar situado a no más de 100 m de distancia de un acceso al edificio. Los demás deberán estar razonablemente repartidos por el perímetro del edificio.

- Los hidrantes de la red pública pueden tenerse en cuenta para efectos del cumplimiento.

- Todo edificio de más de cinco pisos deberá contar con la instalación de una red contra incendio que cumpla con las características técnicas de las Normas NFPA 14 y NTC 1669.

Edificación	Área / hidrante, m ²	Caudal / hidrante, L/s
Edificios cuya altura de evacuación descendente sea más de 28 metros o ascendente de más de 6 metros.	500	32
Cines, teatros, auditorios y discotecas.	500	63
Recintos deportivos.	500	63
Locales comerciales.	1 000	63
Estacionamientos.	1 000	63
Hospitales	500	63
Residencias	5 000	32
Atención al público	500	63
Educación	1 000	63
Almacenamiento	500	63

Figura 14. Área construida y caudal mínimo requerido por cada hidrante que debe instalarse. Adaptado de la NSR-10, 2010, pp. J-4.

4.3.3.2.2. Prevención de la Propagación del Fuego hacia el Interior (J.2.5).

- Todo edificio de más de tres pisos deberá tener por lo menos un núcleo de escaleras para evacuación vertical continua hasta el nivel de evacuación a la calle, con una anchura mínima de 1.2 m y construidas con materiales que no tengan resistencia al fuego menores de una hora. La anchura mínima se puede reducir a 0.90 m, si cumple los requisitos para carga de ocupación menor a 50 personas por piso.

- Las puertas de acceso o egreso principales y las que dan a la salida, conformada por el núcleo de evacuación o la escalera en todos los pisos, deberán de ser de apertura manual fácil, de cierre automático y tener una resistencia a la acción del fuego no menor a una hora.
- Cualquier espacio entre particiones que permitan el paso de llamas o gases de un ambiente o un piso a otro, debe rellenarse con materiales cortafuego que hayan sido aprobados para tal efecto mediante las normas internacionales ASTM E814, la UL 1279 o la UL 2079.
- Para los materiales interiores no deben emplearse materiales que al ser expuestos al fuego produzcan sustancias tóxicas en concentraciones superiores a las provenientes del papel o la madera, bajo las mismas condiciones.
- Los materiales deben clasificarse con base en sus características de propagación de llama, de acuerdo con las Tablas 7 y 8. En la Tabla 9 se especifica la clasificación requerida para el material de acabado interior que debe utilizarse de acuerdo con el Grupo de Ocupación en el que se clasifique la edificación y con la ubicación del acabado.

Clase	Índice de propagación de la llama
1	0 a 25
2	26 a 75
3	76 a 225
4	Más de 225

Figura 15. Clasificación del material según su característica de propagación de la llama.

Nota: Clasificación obtenida de acuerdo con la norma NTC 1691. Adaptado de la NSR-10, 2010, pp. J-6.

Clase	Materiales
1	• Pañetes de cemento • Cartón de Fibro - cemento • Fibro – asfalto • Placas planas de fibrocemento • Placas planas de fibrosilicato • Ladrillo • Baldosas de cerámica • Lana de vidrio sin aglutinantes ni aditivos • Vidrio • Algunos azulejos antiacústicos
2	• Hoja de aluminio sobre respaldo apropiado. • Cartón de fibra o yeso con revestimiento de papel. • Madera tratada mediante impregnación. • Algunos pañetes antisonoros. • Algunos azulejos antiacústicos.
3	• Madera de espesor nominal de 2,5 cm o más. • Planchas de fibra con revestimiento a prueba de fuego. • Azulejo antiacústicos, combustible, con revestimiento a prueba de fuego. • Cartón endurecido. • Algunos plásticos.
4	• Papel asfáltico • Tela • Viruta • Superficies cubiertas con aceite o parafina. • Papel • Plásticos, sin grado que permita asignarlos a otras clases • Algodón

Figura 16. Clasificación de algunos materiales utilizados para acabados interiores según índice de propagación de la llama.

Nota: Clasificación obtenida siguiendo procedimiento de la “Prueba de Túnel”, Norma NTC 1691, en su versión más reciente. Adaptado de la NSR-10, 2010, pp. J-7.

- Los materiales de acabado instritos en la Clase 3 pueden usarse sólo para revestimientos y acabados para pisos, para recubrimientos de pared con espesores menores que 0.1 cm aplicados directamente sobre un material incombustible y para recubrimientos de no más del 20% del área total de paredes y cielo raso en espacios que requieran materiales de clases 1 o 2.

Grupo de Ocupación	Ubicación del acabado interior			
	Medios de Salida Normales	Corredores	Espacios con áreas < 170 m ²	Espacios con áreas > 170 m ²
ALMACENAMIENTO (A-1)	1	1	2	3
(A-2)	1	1	2	3
COMERCIAL (C-1)	1	1	3	3
(C-2)	1	1	2	3
ESPECIAL (E)	1	1	2	2
FABRIL E INDUSTRIAL (F-1)	1	2	2	2
(F-2)	1	2	2	3
INSTITUCIONAL	(I-1)	1	2	2
	(I-2)	1	2	2
	(I-3)	1	2	3
	(I-4)	2	2	3
	(I-5)	2	3	3
LUGARES DE REUNIÓN (L)	1	2	2	2
MIXTO Y OTROS (M)	1	1	2	3
ALTA PELIGROSIDAD (P)	1	1	2	2
RESIDENCIAL	(R-1)	2	4	4
	(R-2)	1	2	2
	(R-3)	1	2	2
TEMPORAL (T)	1	2	3	3

Figura 17. Clasificación requerida del índice de propagación de llama para acabados interiores de acuerdo con el grupo de ocupación de cada edificación.

Adaptado de la NSR-10, 2010, pp. J-8.

- En espacios donde existan rociadores automáticos, la clase de acabado puede reemplazarse por la clase inmediatamente superior indicada en la Tabla 8.
- Las fachadas deben ser construidas con materiales incombustibles como ladrillo, concreto, bloques de concreto, yeso, fibrocemento, vidrio y metales.

En el Capítulo J.3 se presentan los requisitos de protección contra el fuego de edificaciones y las especificaciones mínimas que deben cumplir los elementos estructurales y los materiales utilizados con el propósito de proteger contra el fuego los elementos estructurales, los acabados y las vías de evacuación. (NSR-10, 2010, pp. J-11 – J-13):

4.3.3.2.3. Clasificación de edificaciones en función del riesgo de pérdida de vidas humanas o amenaza de combustión (J.3.3).

- Con el fin de evaluar la resistencia requerida al fuego todas las edificaciones se clasifican en función de los grupos de ocupación definidos en la Tabla 5, en una de las categorías de riesgo de pérdida de vidas humanas o amenaza de combustión.
- La categoría que aplica para el grupo R-3 es la Categoría II, la cual comprende edificaciones de riesgo intermedio y cuya categorización para efectos de resistencia contra el fuego de acuerdo a su uso, área construida y número de pisos se expone en la Tabla 10.

Grupos y subgrupos de ocupación	Área total construida, A_T m ²	Número de pisos						
		1	2	3	4	5	6	≥ 7
(C-1)	$A_T > 1500$	III	III	II	II	II	I	I
	$A_T < 1500$	III	III	III	II	II	II	I
(C-2)	$A_T > 500$	II	I	I	I	I	I	I
	$A_T < 500$			II	I	I	I	I
(E)	Sin límite	III	III	III	II	II	II	I
(I-2), (I-4)	$A_T > 1000$	III	II	II	I	I	I	I
	$500 < A_T < 1000$	III	III	II	II	I	I	I
	$A_T < 500$	III	III	III	II	II	II	I
(I-3)	$A_T > 1000$	II	II	I	I	I	I	I
	$A_T < 1000$		III	II	II	I	I	I
(L-1), (L-2), (L-3), (L-4)	$A_T > 1000$	II	I	I	I	I	I	I
(L-5), (I-1), (I-5)	$500 < A_T < 1000$	II	II	I	I	I	I	I
	$A_T < 500$	III	III	II	II	I	I	I
(R-1), (R-2)	Unidades > 140 m ²				II	I	I	I
	Unidades ≤ 140 m ²				III	II	II	I
(R-3)	$A_T > 5000$	III	II	I	I	I	I	I
	$A_T < 5000$	III	II	II	II	I	I	I

Figura 18. Categorización de las edificaciones para efectos de resistencia contra el fuego de acuerdo con su uso, área construida, y número de pisos.

Adaptado de la NSR-10, 2010, pp. J-13.

En el Capítulo J.4. se establecen las dotaciones de instalaciones de protección contra incendio con las que deben contar los edificios.

4.3.3.2.4. Sistemas y equipos para detección y alarma de incendios (J.4.2).

- En los edificios que cuenten con sistema central de aire acondicionado, se deberá disponer de detectores de humo en los ductos principales, que actúen desconectando automáticamente el sistema.
- Deberán instalarse equipos para la detección y la alarma temprana contra incendios en las edificaciones clasificadas en los grupos y subgrupos enlistados en la Tabla 11.

Grupo	Subgrupo	Condición	Tipo de detector	Ubicación
R	R-2	Para edificios de mas de 7 pisos	Automáticos de humo y alarma sonora	• Pasillos, escaleras y espacios comunes de circulación. • Espacios residenciales para la cocina. • Zonas de almacenamiento cuya superficie total sea mayor de 50 m² • Zonas comunes tales como salas de reunión, de juegos, de deportes etc.
	R-3	Para edificios de mas de 5 pisos		
I	I-2	En cualquier caso	Automáticos de humo y alarma sonora	• Se ubicará pulsadores manuales de alarma de incendio en los pasillos, zonas de circulación y en las diferentes dependencias del hospital. • En las zonas de hospitalización
C, I, A	C-1	Zonas de alto riesgo	Térmicos y/o de humo y alarma sonora	• Se ubicarán pulsadores manuales de alarma de incendios y repartidos adecuadamente.
	C-2			
	I-4			
	I-5			
	A-1			
	A-2			
I, L	I-3	Si la superficie total construida es mayor de 5.000 m ² ó más de tres (3) pisos	Térmicos y/o de humo y alarma sonora	• Se dispondrán pulsadores manuales en el interior de los locales de edificaciones clasificadas en las categorías de riesgo I y II. • No será necesario la utilización de detectores térmicos o de humo cuando exista una instalación de rociadores automáticos de agua.
	L-1			
	L-2			
	L-3			
	L-4			
	L-5			

Figura 19. Instalación de detectores de acuerdo con el grupo de ocupación.
Adaptado de la NSR-10, 2010, pp. J-25.

4.3.3.2.5. Sistemas y equipos para extinción de incendios (J.4.3).

- Toda edificación debe disponer de recursos para la extinción del fuego cuyas características dependen del grupo de uso en que se clasifique. Los sistemas y equipos deben diseñarse e instalarse de acuerdo con los requisitos mínimos especificados.
- Para edificaciones dentro del Grupo de Ocupación R-3, Residencial – Hoteles, los sistemas requeridos para la extinción de incendios serán los rociadores automáticos, las tomas fijas para bomberos y mangueras para extinción de incendios y los extintores de fuego portátiles.

4.3.3.3. Título K – Requisitos Complementarios

El propósito del Título K es el de definir los parámetros y especificaciones arquitectónicas y constructivas tendientes a la seguridad y preservación de la vida de los ocupantes y sus usuarios de las distintas edificaciones cubiertas por la norma (NSR-10, 2010, pp. K-1).

4.3.3.3.1. Requisitos Generales (K.3.2)

- Toda edificación debe poseer en sus zonas comunes, salidas que por su número, clase, localización y capacidad, sean adecuadas para una fácil, rápida y segura evacuación de todos los ocupantes en caso de incendio u otra emergencia.
- Los ascensores, escaleras mecánicas y caminos móviles no deben ser usados como un componente de un medio de salida requerido desde ninguna parte del edificio hasta el exterior.
- Las salidas deben localizarse y mantenerse en forma tal que provean fácil y rápida evacuación desde cualquier sitio y en todo momento en que se encuentre ocupado el edificio.
- En ningún caso debe permitirse que el acceso a una salida se haga a través de cocinas, cuartos de almacenamiento, dormitorios, salones de trabajo u otros que se encuentren bajo llave.

- Toda salida o vía de escape debe ser claramente visible y estar completamente señalizada de manera que todos los ocupantes puedan encontrar sin problema la dirección de la salida y en tal forma que la vía conduzca, de manera inequívoca a sitio seguro.
- Todos los medios de evacuación deben estar provistos de iluminación artificial y de emergencia.
- Toda edificación cuyo tamaño, disposición y ocupación sean tales que en caso de emergencia no permita dar alerta directa inmediata, debe estar provista de alarmas audibles y visibles que sirvan como sistemas de aviso que faciliten la evacuación ordenada de los ocupantes.
- Toda obra se deberá proyectar y construir de tal forma que facilite el ingreso, egreso y evacuación de emergencia de las personas con movilidad reducida, sea ésta temporal o permanente. Las normas técnicas colombianas para la accesibilidad de las personas al medio físico se explicarán en el Capítulo 4.3.4.

4.3.3.3.2. Capacidad de los Medios de Evacuación (K.3.3)

La carga de ocupación debe determinarse por el mayor de los dos valores siguientes:

- Número real de ocupantes para los cuales este diseñado, según el caso, cada espacio, piso o edificación.
- El número resultante de dividir el área del espacio, piso o edificación, por el índice de ocupación previsto en la Tabla 12, para los grupos de ocupación especificados.

La carga de ocupación de cualquier espacio debe incluir la correspondiente a todos los espacios que descarguen a través del mismo con objeto de lograr acceso a alguna salida.

Nomenclatura	Grupos de Ocupación	Área neta de piso en metros cuadrados por ocupante
A	ALMACENAMIENTO	28
C	COMERCIAL	
C-1	Servicios	10
C-2	Bienes y Productos	
	Piso a Nivel de la Calle e Inferiores	3
	Otros pisos	6
E	ESPECIAL	según ocupación
F	FABRIL E INDUSTRIAL.	9
I	INSTITUCIONAL	
I-1	Reclusión	11
I-2	Salud o Incapacidad	7
I-3	Educación (Salones de Clase)	2
I-4	Seguridad Pública	2.8
I-5	Servicio Público	0.3
L	LUGARES DE REUNIÓN	
L-1	Deportivos (Sin asientos fijos)	0.7
L-2	Culturales y teatros (Sin asientos fijos)	1.3
L-3	Sociales y Recreativos	0.7
L-4	Religiosos	0.7
L-5	De transporte (No menos de 1.5 veces la capacidad de todos los vehículos que puedan descargarse simultáneamente)	0.3
M	MIXTO Y OTROS	La mayor área exigida para las ocupaciones que conforman la ocupación mixta de la edificación.
P	ALTA PELIGROSIDAD	9
R	RESIDENCIAL.	18
T	TEMPORAL Y MISCELANEO	según ocupación

Figura 20. Índices de Ocupación NSR-10
Adaptado de la NSR-10, 2010, pp. K-16 – K-17.

La capacidad de los medios de evacuación deben calcularse con base en los índices de ancho por personas especificados en la Tabla 13 y según el Grupo de Ocupación al cual pertenezca la edificación o espacio correspondiente.

Cuando la edificación o espacio considerados estén provistos de un sistema completo de extinción de incendios, los valores para el ancho por persona, dados en la Tabla 13 pueden reducirse en un 50%.

Grupo o Subgrupo de ocupación de la edificación o área considerada	Anchura por persona, mm	
	Corredores, puertas y pasajes de salidas	Escaleras
ALMACENAMIENTO (A)	5	8
COMERCIAL (C)	5	10
ESPECIAL (E)	según ocupación	según ocupación
FABRIL, E INDUSTRIAL (F)	6	10
INSTITUCIONAL (I-1)	6	10
INSTITUCIONAL (I-2, I-3, I-4 e I-5)	13	15
LUGARES DE REUNIÓN (L)	5	10
MIXTO Y OTROS (M)	El menor número exigido para las ocupaciones que conforman la ocupación mixta de la edificación.	
ALTA PELIGROSIDAD (P)	10	18
RESIDENCIAL (R)	5	10
TEMPORAL (T)	Según la ocupación	

Figura 21. Índices de ancho de salida por persona.

Adaptado de la NSR-10, 2010, pp. K-18.

4.3.3.3.3. Número de Salidas (K.3.4)

Las salidas y los medio de evacuación deben diseñarse de manera que la seguridad no dependa únicamente de uno solo de estos medios, y proveerse de dispositivos de seguridad para evitar que cualquier medio único de salida sea ineficiente debido a alguna falla humana o mecánica. El número mínimo de salidas por carga de ocupación está dado en la Tabla 14.

Carga de ocupación	Número mínimo de salidas
0 – 100	1
101 - 500	2
501 - 1000	3
1001 o más	4

Figura 22. Número mínimo de salidas por carga de ocupación.

Adaptado de la NSR-10, 2010, pp. K-18.

4.3.3.3.4. Distancia de Recorrido hasta una Salida (K.3.6)

La distancia de recorrido debe medirse sobre el piso, a lo largo de la línea central en el sentido natural del recorrido. Cuando el recorrido incluya escaleras, éstas deben medirse en el plano del borde de las huellas. La distancia máxima de recorrido desde el punto más alejado hasta el centro de cualquier salida exterior, salida vertical, escalera interior, corredor de salida o salida horizontal, no debe sobrepasar los límites especificados en la Tabla 15.

Grupo de ocupación	Distancia de recorrido (m)	
	Sin sistema de rociadores	Con sistema de rociadores
ALMACENAMIENTO (A-1)	60	75
ALMACENAMIENTO (A-2)	90	120
COMERCIAL (C-1)	60	90
COMERCIAL (C-2)	60	75
FABRIL E INDUSTRIAL (F-1)	60	75
FABRIL E INDUSTRIAL (F-2)	90	120
INSTITUCIONAL (I)	45	60
LUGARES DE REUNION (L)	60	75
ALTA PELIGROSIDAD (P)	No se permite	22
RESIDENCIAL (R)	60	75

Figura 23. Distancia en metros de recorrido hasta la salida.

Nota: Estas distancias se pueden incrementar hasta en un 30% si los elementos de evacuación son rectilíneos, carecen de escaleras intermedias y conducen a zonas exteriores a nivel, de área adecuada para recibir la descarga de ocupación que determinen los casos individuales. Adaptado de la NSR-10, 2010, pp. K-19.

4.3.3.3.5. Protección de los Medios de Evacuación (K.3.7)

- Los corredores utilizados como acceso a una salida con carga de ocupación superior a 30, deben separarse de las otras partes de la edificación por muros, particiones u otros elementos hechos con materiales no combustibles.
- Cuando una salida requiera protección de otras partes de la edificación el elemento de separación debe construirse de acuerdo con los requisitos de éste.

4.3.3.3.6. *Medios de Salida (K.3.8)*

Es preciso que todas las salidas se localicen de tal manera que sean claramente visibles; su ubicación debe indicarse claramente y su acceso debe mantenerse sin obstrucciones y libres de obstáculos durante todo el tiempo. Toda salida debe desembocar directamente a la calle, a un espacio abierto o a un área de refugio no obstruible por fuego, humo u otra causa, y tener dimensiones tales que aseguren la evacuación de los ocupantes. Las dimensiones de los medios de salida más relevantes para el caso de estudio se exponen a continuación (NSR-10, 2010, pp. K-20 – K-22):

- Respecto a las puertas, éstas deben tener a lo ancho una luz mínima de 800 mm, salvo las destinadas a dormitorios, cuya longitud se puede disminuir hasta 700 mm. Cuando una puerta se subdivida en dos o más aberturas separadas, el ancho mínimo de cada una de éstas no debe ser menor de 700 mm. En cuanto a la altura, las puertas no deben tener menos de 2.0 m. Se excluyen las puertas de particiones sanitarias.
- Respecto a las escaleras interiores, toda escalera con carga de ocupación superior a 50 personas, debe tener un ancho mínimo de 1.20 m; cuando la carga de ocupación sea inferior a 50, dicho ancho mínimo puede reducirse a 900 mm. Las escaleras de uso público deberán tener un ancho mínimo de 120 cm. Si la separación de los pasamanos supera 50 mm, el ancho de la escalera debe incrementarse en igual magnitud.
- Respecto a las escaleras exteriores utilizadas en edificaciones de 3 o más pisos, deben estar sólidamente integradas al edificio y su capacidad portante se determinará según los factores y carga de ocupación que el uso determine.

4.3.3.3.7. *Requisitos específicos para edificaciones del grupo de ocupación R-3 (K.3.18.3)*

Respecto a la capacidad de los medios de evacuación, las salidas a nivel de la calle deben proyectarse con base en los siguientes módulos de ancho de salida:

- Un módulo por cada 100 personas de capacidad en el acceso principal, para puertas y otros niveles de salida, incluyendo aquellos cuyo inicio se encuentre a 600 mm o 3 escalones bien sobre, o bajo el nivel de la calle.
- Un módulo por cada 75 personas de capacidad en el acceso principal, para escaleras u otras salidas que requieran descenso al nivel de la calle.
- Un módulo y medio de salida por cada dos módulos requeridos para escaleras que, descendiendo de los pisos superiores, conduzcan directamente al nivel de la calle.
- Un módulo y medio de salida por cada dos módulos requeridos para escaleras que, ascendiendo de los pisos inferiores, conduzcan directamente al nivel de la calle.

Respecto al número de salidas, todos los pisos, inclusive los que se encuentren bajo el nivel de salidas o el nivel ocupado para propósitos públicos, deben tener por lo menos dos salidas.

Cualquier habitación con capacidad inferior a 50 personas puede tener una sola salida, siempre y cuando dé a la calle o al nivel del terreno y ningún punto de la habitación esté a más de 15 m de dicha salida, medidos a lo largo del recorrido normal.

4.3.4. Normas Técnicas Colombianas para la Accesibilidad de las Personas al Medio Físico – Pasillos, Escaleras y Ascensores.

4.3.4.1. NTC 4140 – Accesibilidad de las Personas al Medio Físico. Edificios, pasillos y corredores. Características Generales.

Esta norma establece las dimensiones mínimas y las características funcionales y constructivas que deben cumplir los pasillos y corredores en los edificios (NTC 4140, 2005, pp. 1).

- Los pasillos y corredores de uso público, tendrán un ancho mínimo de 1.20 m (Fig. 13).
- Los pasillos y corredores estarán libres de obstáculos en todo su ancho mínimo, y desde su piso hasta un plano paralelo a él ubicado a 2.05 m de altura.
- Los pavimentos de corredores y pasillos serán firmes, antideslizantes y sin accidentes. No se admite tratamiento de la superficie que modifique esta condición.

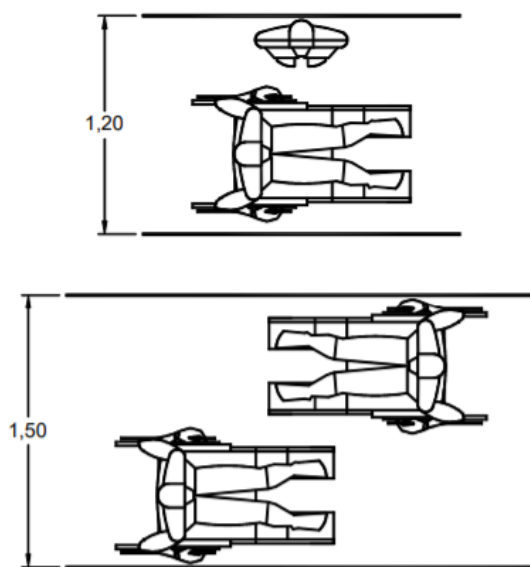


Figura 24. Dimensiones en edificios públicos.
Adaptado de NTC 4140, 2005, pp. 3.

4.3.4.3. NTC 4145 - Accesibilidad de las Personas al Medio Físico. Edificios. Escaleras.

Esta norma establece las dimensiones mínimas y las características generales que deben cumplir las escaleras principales en los edificios, advirtiendo que no se constituyen en un elemento idóneo para el logro de la accesibilidad plena. Es necesario por tanto que coexista un medio adecuado para ese fin (NTC 4140, 2005, pp. 1).

- Las escaleras de uso público deberán tener un ancho mínimo de 120 cm.
- Si la separación del pasamanos a la pared supera 50 mm, el ancho de la escalera debe incrementarse en igual magnitud.
- Las contrahuellas deben tener una altura menor o igual a 18 cm.
- Las dimensiones de las huellas deben ser las que resulten de aplicar la fórmula $2a + b = 60 / 64 \text{ cm}$, donde $a = \text{contrahuella en cm}$; $b = \text{huella en cm}$.
- Las escaleras podrán tener tramos rectos sin descanso de hasta 18 escalones máximo.
- Los descansos deben tener el ancho y la profundidad mínima coincidiendo con el ancho de la escalera.
- Las huellas deben tener el borde o arista redondeados, con un radio de curvatura máximo de 1 cm y de forma que no sobresalga del plano de la contrahuella.
- Las contrahuellas no deberán ser caladas.
- El ángulo que forma la contrahuella con la huella debe ser de 90 grados.
- Los pisos deben ser antideslizantes, sin relieves en su superficie, con las puntas diferenciadas visualmente. Los escalones aislados deberán presentar textura, color e iluminación que los diferencia del pavimento general.
- Las escaleras deben tener pasamanos a ambos lados, continuos en todo su recorrido y con prolongaciones horizontales mayores de 30cm al comienzo y al final de aquellas.

- Los pasamanos deben tener una señal sensible al tacto que indique la proximidad de los límites de la escalera.
- Se coloca un pasamanos a 90 cm de altura y otro a 70 cm de altura. Las alturas se miden verticalmente desde la arista exterior (virtual) de la escalera, con tolerancias de +/- 5 cm.

4.3.4.4. NTC 4349 - Accesibilidad de las Personas al Medio Físico. Edificios. Ascensores.

“Esta norma establece las dimensiones mínimas y los requisitos generales que deben cumplir los ascensores de los edificios.” (NTC 4349, 1998, pp. 1).

- Las dimensiones mínimas libres del interior de la cabina del ascensor debe ser: ancho = 120 cm, largo = 120 cm, altura de la cabina = 210 cm.
- Los ascensores deben tener una puerta de 80cm de ancho mínimo y altura 200 cm. Se recomienda, especialmente, que sean de accionamiento automático.
- El tablero de control interior del ascensor debe estar ubicado a 120 cm de altura, referida al centro del tablero y medida desde el nivel del piso terminado.
- Los botones pulsadores de emergencia y parada deben estar agrupados en la parte inferior del tablero de control, a una altura mínima de 100 cm, medida desde el nivel del piso.
- El tablero de botones de llamado exterior debe estar ubicado a una altura máxima de 120 cm, referida a su centro, medida desde el nivel de piso terminado.
- Todos los botones pulsadores de los comando interiores y exteriores deben contar con señalización en alto relieve y en la parte exterior de la botonera su equivalente en sistema Braille.
- El espacio de acceso enfrentado al exterior del ascensor debe tener una dimensión mínima de 120 cm, pero se recomienda que sea de 140 cm.

4.4. Marco metodológico

Para este marco en específico se hizo una investigación de las metodologías relacionadas con la evaluación de edificios, que se hayan implementado en diferentes países, proceso que concluyó en la selección de tres diferentes metodologías, todas con un enfoque en común: Valorar el estado actual del edificio para mejorar sus condiciones desde las estrategias de diseño bioclimático, por medio de programas para simulaciones energéticas. Además, la rehabilitación energética y mejora de la eficiencia energética son objetivos adicionales en común, que podrán tenerse en cuenta para futuras extensiones a esta investigación.

Para la construcción de la metodología se lleva a cabo un análisis comparativo entre las siguientes metodologías: Normas del Comité Europeo para la Normalización (CEN) para la evaluación integral del comportamiento energético de los edificios y para la obtención de la certificación energética, de la tesis doctoral de Galiano A., 2013, la metodología para el Análisis Energético de Edificios (AEE) desarrollada por el Grupo de Termotecnia de la Universidad de Valladolid (Rey, F., Velasco, E., 2006), y la metodología implementada en el Plan de Impulso al Medio Ambiente (PIMA SOL) para fomentar la rehabilitación energética de instalaciones hoteleras de la Oficina Española de Cambio Climático (OECC), el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España.

4.4.1. Normas CEN para la evaluación integral del comportamiento energético de los edificios y para la obtención de la certificación energética

Galiano (2013) expone en su tesis doctoral “Análisis comparado de las metodologías de evaluación y certificación del comportamiento energético de los edificios en la Unión Europea”, dos de las principales normativas desarrolladas por el CEN con el fin de evaluar de forma integral el

comportamiento energético de los edificios y lograr la obtención de su certificación energética. Se trata de las normativas EN ISO 13790 (UNE-EN ISO 13790, 2011), y la EN 15217 (UNE-EN 15217, 2012). Las ideas principales de cada una de ellas se exponen a continuación (pp. 173):

4.4.1.1. EN ISO 13790. Energy performance of buildings. Calculation of energy use for space heating and cooling

La norma EN ISO 13790 (Eficiencia energética de los edificios. Cálculo del consumo de energía para calefacción y refrigeración de espacios) ofrece una serie de métodos de cálculo para el diseño y evaluación térmica y energética de los edificios en sus diferentes niveles de detalle. Es aplicable tanto a calefacción como a refrigeración, permitiendo conocer asimismo la influencia de las pérdidas térmicas recuperables de los sistemas técnicos presentes en el edificio. Según lo expresado por el autor, se indica en el texto referido a la norma que esta puede tener las siguientes aplicaciones (Galiano, 2013, pp. 173-174):

- Valorar el cumplimiento de la reglamentación expresada en términos de objetivos de energía.
- Comparar la eficiencia energética de varios diseños alternativos para un proyecto.
- Mostrar un nivel estandarizado de la eficiencia energética de los edificios existentes.
- Evaluar el efecto de posibles medidas de conservación de la energía en edificios existentes por cálculo del consumo de energía con y sin medidas de conservación de la energía.

Tabla 5. *Infomación requerida e información obtenida por los métodos de cálculo de la ISO 13790.*

EN ISO 13790	
INFORMACIÓN REQUERIDA	Definición completa del edificio. Superficies de la envolvente. Características de los cerramientos.
	Descripción de las instalaciones definidas en el edificio las cuales se han diseñado y dimensionado siguiendo los criterios definidos por la norma: Sistemas de iluminación, ventilación, agua caliente, acondicionamiento, calefacción, energías renovables y automatismos y controles.
	Introducción de datos climáticos externos de acuerdo a la norma.
	Emplazamiento y características del entorno.
INFORMACIÓN OBTENIDA	Necesidades energéticas anuales para los recintos calefactados y refrigerados.
	El uso de energía anual para los recintos calefactados y refrigerados.
	Duración de las estaciones de calefacción y refrigeración, para el régimen horario, que afectan al uso de la energía y energía auxiliar de los sistemas técnicos del edificios de calefacción, refrigeración y ventilación dependientes de la duración de la estación.
	Valores mensuales de las necesidades y el uso de energía.
	Valores mensuales de los elementos principales en el balance energético: transmisión, ventilación, ganancias de calor internas, calor solar etc.
	Pérdidas del sistema recuperadas en el edificio para calefacción, refrigeración, agua caliente, ventilación y sistemas de iluminación.

Nota: Elaboración a partir del capítulo “Métodos de cálculo y certificación energética de los edificios” de la tesis doctoral de Galiano, A. (2013).

Con objeto de alcanzar unos indicadores de energía fiables que permitan conocer el comportamiento energético real del edificio, es necesaria la introducción de una serie de datos (Ver Tabla 16), comunes a los diferentes métodos, que deben provenir de normas y documentos reconocidos. De esta manera, al evaluar el comportamiento energético del edificio es posible obtener la información expresada en la Tabla 16 (Galiano, 2013, pp. 174-175).

Para la evaluación del comportamiento energético de los edificios la norma define tres posibilidades. La aplicación de cualquiera de los tres métodos permite conocer el uso energético que tiene el edificio para calefacción y refrigeración que unido a las ganancias/pérdidas generadas por el uso de los espacios, el funcionamiento de las instalaciones, el papel de las energías

renovables y la afección solar permite evaluar el comportamiento del edificio y definir patrones de trabajo para mejorarlo. Los métodos son los siguientes (Galiano, 2013, pp. 175):

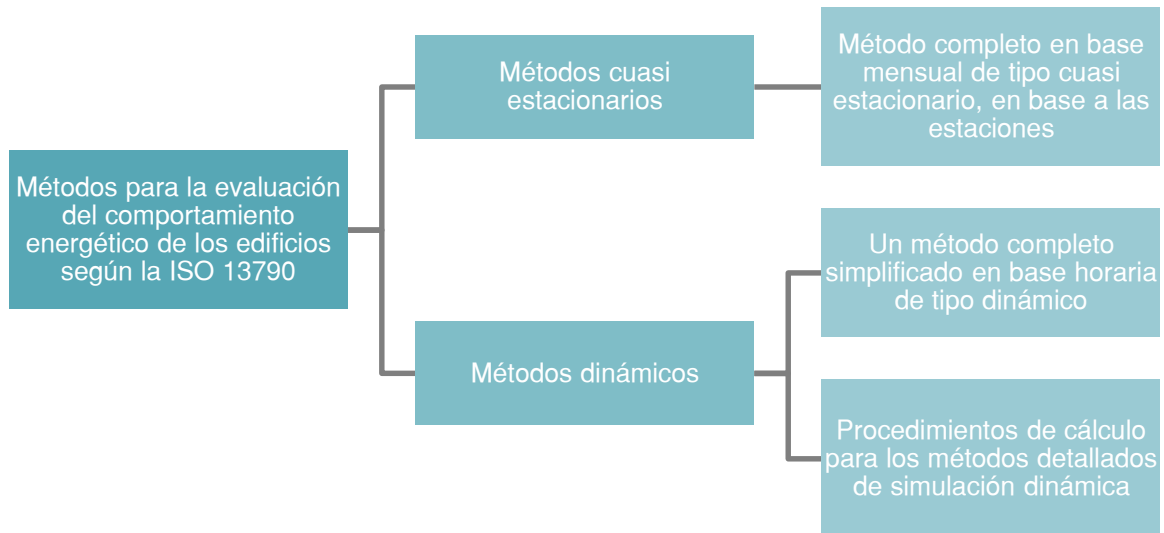


Figura 25. Métodos para la evaluación del comportamiento energético de los edificios según la ISO 13790.

Elaboración a partir del capítulo “Métodos de cálculo y certificación energética de los edificios” de la tesis doctoral de Galiano, A. (2013).

- **Métodos cuasi estacionarios.** El cálculo del balance calorífico se realiza durante un tiempo suficientemente largo, normalmente un mes o una estación entera, que permite tener en cuenta los efectos dinámicos mediante una determinación empírica del factor útil de las ganancias o las pérdidas. En los métodos cuasi estacionarios, los efectos dinámicos son considerados mediante la introducción de factores de corrección, tanto para calefacción como para refrigeración.

- **Métodos dinámicos.** El cálculo del balance calorífico se efectúa con intervalos de tiempo cortos, normalmente una hora, teniendo en cuenta el calor almacenado y disipado por la masa del edificio. Los métodos dinámicos modelizan la transmisión térmica, el flujo de calor por ventilación, la acumulación térmica y las ganancias internas y solares del edificio o zona del mismo a calcular.

El procedimiento de cálculo depende del tipo de método utilizado, pero los supuestos de condiciones ambientales, comportamiento del usuario y sistemas de control así como los datos físicos básicos deben ser los mismos para cada uno de ellos. Los pasos en el proceso de cálculo son los siguientes (Galiano, 2013, pp. 177):

- Dividir el edificio en zonas de cálculo.
- Cálculo de las necesidades de energía para calefacción y refrigeración.
- Cálculo de la duración del periodo estacional para el funcionamiento de las disposiciones que dependen del factor tiempo.
- Reiteraciones en el cálculo por la interacción entre el edificio y el sistema o por cualquiera otra condición.

4.4.1.2. EN 15603. Energy Performance of Buildings. Overall energy use and definition of energy ratings.

La norma EN 15603 (Eficiencia energética de los edificios. Consumo global de energía y definición de las evaluaciones energéticas) permite la evaluación del consumo energético global de un edificio y el cálculo de las evaluaciones energéticas en términos de energía primaria, emisiones de CO₂ o parámetros definidos mediante las políticas energéticas nacionales. Para obtener este resultado se basa en otras normas, como la EN 13970, para calcular el consumo energético de los servicios en el interior de un edificio (calefacción, refrigeración, agua caliente, ventilación e iluminación), y producen resultados que se utilizan en combinación para mostrar el consumo global de energía (Galiano, 2013, pp. 182).

La certificación energética de los edificios requiere un método que pueda ser aplicable a todo tipo de edificios, nuevos y existentes. La EN 15603 es la que define la metodología para obtener

resultados equivalentes a partir de diferentes conjuntos de datos, proporcionando una metodología para calcular un consumo energético estándar, para calefacción y refrigeración, ventilación, agua caliente sanitaria e iluminación. Además la metodología permite evaluar el rendimiento energético de las posibles mejoras (Galiano, 2013, pp. 183).

La evaluación energética se puede realizar a partir de dos tipos de métodos principales: la evaluación energética calculada y la evaluación energética medida.

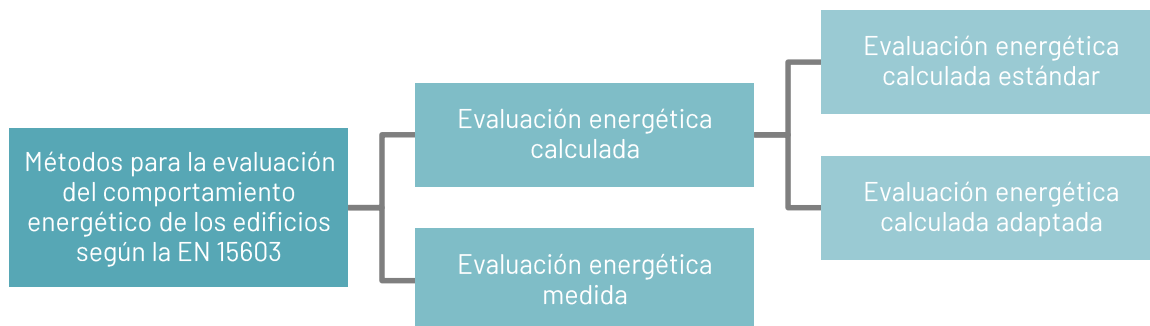


Figura 26. Métodos para la evaluación del comportamiento energético de los edificios según la EN 15603.

Elaboración a partir del capítulo “Métodos de cálculo y certificación energética de los edificios” de la tesis doctoral de Galiano, A. (2013).

La evaluación energética calculada hace una previsión de las demandas y necesidades del edificio en un estado previo, sin conocer los valores reales. Los valores a considerar son medias anuales que se obtienen al dividir cada año en franjas temporales, estaciones o meses por ejemplo, y evaluando el comportamiento del edificio en estos periodos. El resultado anual se obtiene de sumar los resultados temporales parciales. La evaluación energética calculada a su vez se subdivide en dos variantes: estándar y adaptada.

- En la evaluación energética calculada estándar se utilizan los datos del edificio real (características constructivas, volumetría y clima), pero con unas condiciones de utilización

estandarizadas, para conocer el funcionamiento del edificio bajo el uso teórico normalizado según convenga.

- En la evaluación energética calculada adaptada se utilizan los datos del edificio real (características constructivas, volumetría y clima) pero en este caso las condiciones de uso coinciden con la ocupación real de usuarios.

La evaluación energética medida se realiza con el edificio ya ejecutado, en funcionamiento, y midiendo durante períodos de tiempo las condiciones de demanda y consumo reales del edificio. Este método permite conocer realmente el consumo de energía en el edificio anualmente a lo largo de su vida útil.

Evaluar el comportamiento energético del edificio es complicado debido a que generalmente los edificios utilizan más de un tipo de energía que a su vez, produce diferentes impactos en el comportamiento del edificio. La expresión común que permite agregar las cantidades de energía utilizadas incluyendo los aspectos particulares de cada una de ellas depende de una ponderación establecida por cada Estado, de modo que se pueda corregir mediante factores determinados por el tipo de energía empleado. (Galiano, 2013, pp. 183).

4.4.2. Análisis Energético de Edificios (AEE)

Rey y Velasco (2006) en su libro “Eficiencia energética en edificios, certificación y auditorías energéticas” explican dos metodologías de análisis para establecer la calidad energética de un edificio: las certificaciones energéticas y las auditorías energéticas (pp. 115). Debido a la poca factibilidad para desarrollar una auditoría energética por la ausencia de equipos especializados para toma de datos in-situ, se toman en consideración los métodos para la certificación energética para edificios no residenciales.

De manera genérica, para establecer la certificación energética de un edificio, se toman en consideración una serie de condicionantes expuestos en la siguiente figura:



Figura 27. Factores a tener en cuenta en el proceso de certificación.
Adaptado de Rey, F., Velasco, E. (2006).

Dentro de los métodos de certificación energética expuestos, se selecciona el desarrollado por el Grupo de Termotecnia de la Universidad de Valladolid (CTV) para edificios no residenciales, AEE (Análisis Energético de Edificios). Ésta metodología es muy similar a la metodología para el Análisis Energético de Viviendas (AEV), con la principal diferencia de su tipología edificatoria, por lo que las necesidades energéticas no serán las mismas.

El objetivo de esta metodología es, al igual que la mencionada anteriormente, calcular las demandas y consumos energéticos en pro de conseguir la certificación energética de un edificio. La metodología desarrollada para el cálculo de consumos del edificio es la siguiente (Rey y Velasco, 2006, pp. 126):



Figura 28. Etapas análogas que constituyen la metodología AEE. Adaptado de Rey, F., Velasco, E. (2006).

- Mediante un software de cálculo de cargas térmicas e introducen los datos constructivos del edificio y los datos meteorológicos de la zona en donde se ubica.
- Se calculan las cargas hora-hora para un día tipo de cada mes del año, mediante el método de funciones de transferencia.
- Con las cargas hora-hora anteriormente obtenidas se calculan las demandas energéticas tanto para calefacción en los meses de invierno como para refrigeración en los meses de verano.
- Una vez obtenidas las demandas energéticas del edificio, se calcula el consumo energético. Para ello se emplea el rendimiento medio estacional, que depende del tipo de equipo y condiciones climatológicas.

Los pasos que componen el desarrollo de esta metodología se explican a continuación (Rey y Velasco, 2006, pp. 127-133):

- Datos climatológicos. En este apartado se especifican los datos climatológicos de la zona donde se encuentra el edificio. Los valores elegidos serán la temperatura, el grado de humedad y la radiación solar.
- Definición del edificio. Se utiliza un software comercial que utiliza un método de cálculo de cargas térmicas mediante funciones de transferencia. Se divide el edificio en zonas, cada una de estas compuesta por distintos espacios, para cada uno de los cuales se definen una serie de características: nombre, número de espacios iguales, volumen, ventilación, etc. A continuación se introducen los datos constructivos del edificio.
- Cálculo de demandas de calefacción y refrigeración. Mediante un programa de cálculo se dimensionan las instalaciones y, para ello, se realiza el cálculo de cargas para las condiciones climatológicas extremas, es decir, se obtiene la carga térmica del edificio en el día más frío y en el día más caluroso del mes.

- Cálculo de consumos. Para la realización de los cálculos de consumo de energía para cada mes del año se emplean las demandas, previamente calculadas. Partiendo de la demanda, se realiza el cálculo de consumos a partir de una ecuación para el conjunto total, constituido por el edificio y el sistema de climatización.
- Evaluación energética. Para establecer la evaluación energética, se toma como referencia estudios desarrollados en Reino Unido (DETR 2000b), en la que el edificio se evalúa energéticamente según kWh/m² consumidos (Tabla 17) o CO₂/m² emitidos (Tabla 18), ya que no existen en España datos fiables como los utilizados en la metodología AEV para viviendas.

	kWh/m ² de superficie útil							
	Tipo 1		Tipo 2		Tipo 3		Tipo 4	
	Eficiente	Típica	Eficiente	Típica	Eficiente	Típica	Eficiente	Típica
Calefacción y ACS	79	151	79	151	97	178	07	201
Refrigeración	0	0	1	2	14	31	21	41
Ventiladores, bombas y control	2	6	4	8	30	60	36	67
Humidificadores	0	0	0	0	8	18	12	23
Iluminación	14	23	22	38	27	54	29	60
Equipos de oficina	12	18	20	27	23	31	23	32
Catering	2	3	3	5	5	6	20	24
Otros consumos eléctricos	3	4	4	5	7	8	13	15
Equipos informáticos	0	0	0	0	14	18	87	105
TOTAL	112	205	133	236	225	404	348	568

Figura 29. Tabla de consumos energéticos en el Reino Unido.

Nota: Tabla basada en DETR (2000b). Los tipos de oficina a los que se hacen referencia en la tabla se clasifican atendiendo al tipo de sistema de refrigeración. Tipo 1: Ventilación natural, Tipo 2: Ventilación mecánica, Tipo 3: Aire acondicionado estándar, Tipo 4: Aire acondicionado eficiente. Adaptado de Rey, F., Velasco, E. (2006).

	Kg CO ₂ /m ² de superficie útil							
	Tipo 1		Tipo 2		Tipo 3		Tipo 4	
	Eficiente	Típica	Eficiente	Típica	Eficiente	Típica	Eficiente	Típica
Refrig., ventiladores, bombas, control. Humidificadores	0,3	0,8	0,6	1,3	6,6	13,8	8,8	16,6
Calefacción y ACS	4,1	7,9	4,1	7,9	5,0	9,3	5,6	10,5
Iluminación	1,8	2,9	2,8	4,8	3,4	6,9	3,7	7,6
Otros	2,2	3,2	3,4	4,6	6,2	8,0	17,7	21,7
TOTAL	8,3	14,8	11	18,7	21,3	38,0	36,6	56,4

Figura 30. Emisiones de CO₂ por m² de superficie útil para cuatro tipos de oficina.

Nota: Tabla basada en DETR (2000b). Adaptado de Rey, F., Velasco, E. (2006).

4.4.3. Plan de Impulso al Medio Ambiente (PIMA SOL)

El Plan de Impulso al Medio Ambiente PIMA SOL es una iniciativa destinada a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del sector turístico español. En concreto, promueve la reducción de las emisiones directas de GEI en las instalaciones hoteleras mediante la rehabilitación energética de éstas. Los beneficiarios del Plan son todas aquellas instalaciones hoteleras con proyectos de rehabilitación energética que cumplan las condiciones mínimas establecidas en el Plan. Los proyectos de rehabilitación deben alcanzar una mejora energética mínima traducida en escalar dos letras en su clasificación energética o bien llegar a la letra B.



Figura 31. Posibles medidas del Plan PIMA SOL para reducir las emisiones de CO₂.
Elaboración a partir de Oficina Española de Cambio Climático, OECC (2014).

El Plan PIMA SOL está fundamentado en el Real Decreto 235 del 2013 por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. El Plan expone la metodología para conseguir la certificación, así como las herramientas de cálculo y calificación disponibles que permiten a los hoteles hacer parte éste. Así mismo, el Plan incluye recomendaciones para el uso de los programas informáticos autorizados y el levantamiento de información sobre el edificio. El procedimiento general para obtener la certificación energética se expresa en la siguiente figura (Ver Figura 19):

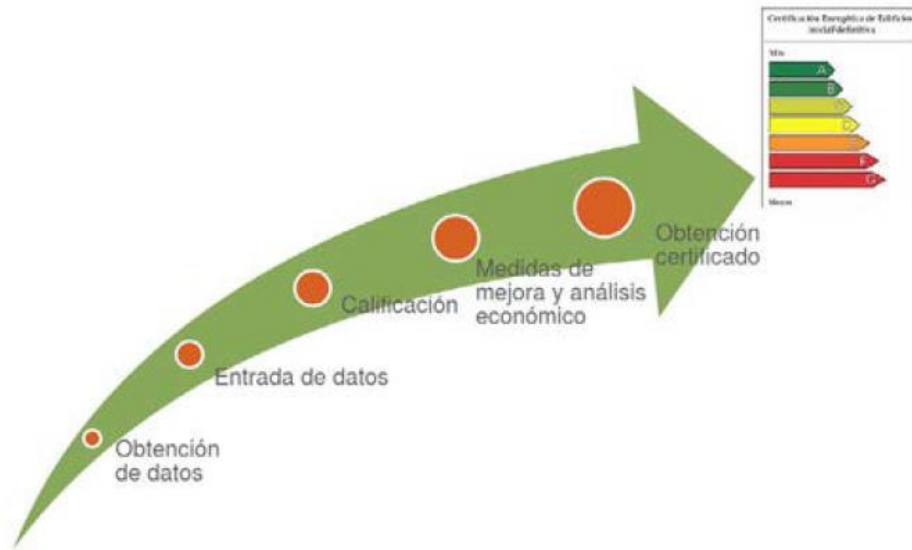


Figura 32. Procedimiento de certificación energética Plan PIMA SOL.
Adaptado de Oficina Española de Cambio Climático, OECC (2014).

La forma genérica de la metodología a seguir en la certificación energética de edificios, en las opciones simplificada y general para procesos técnicos, así como las opciones disponibles y los datos necesarios para la realización de la misma se exponen a continuación (Ver Fig. 20):

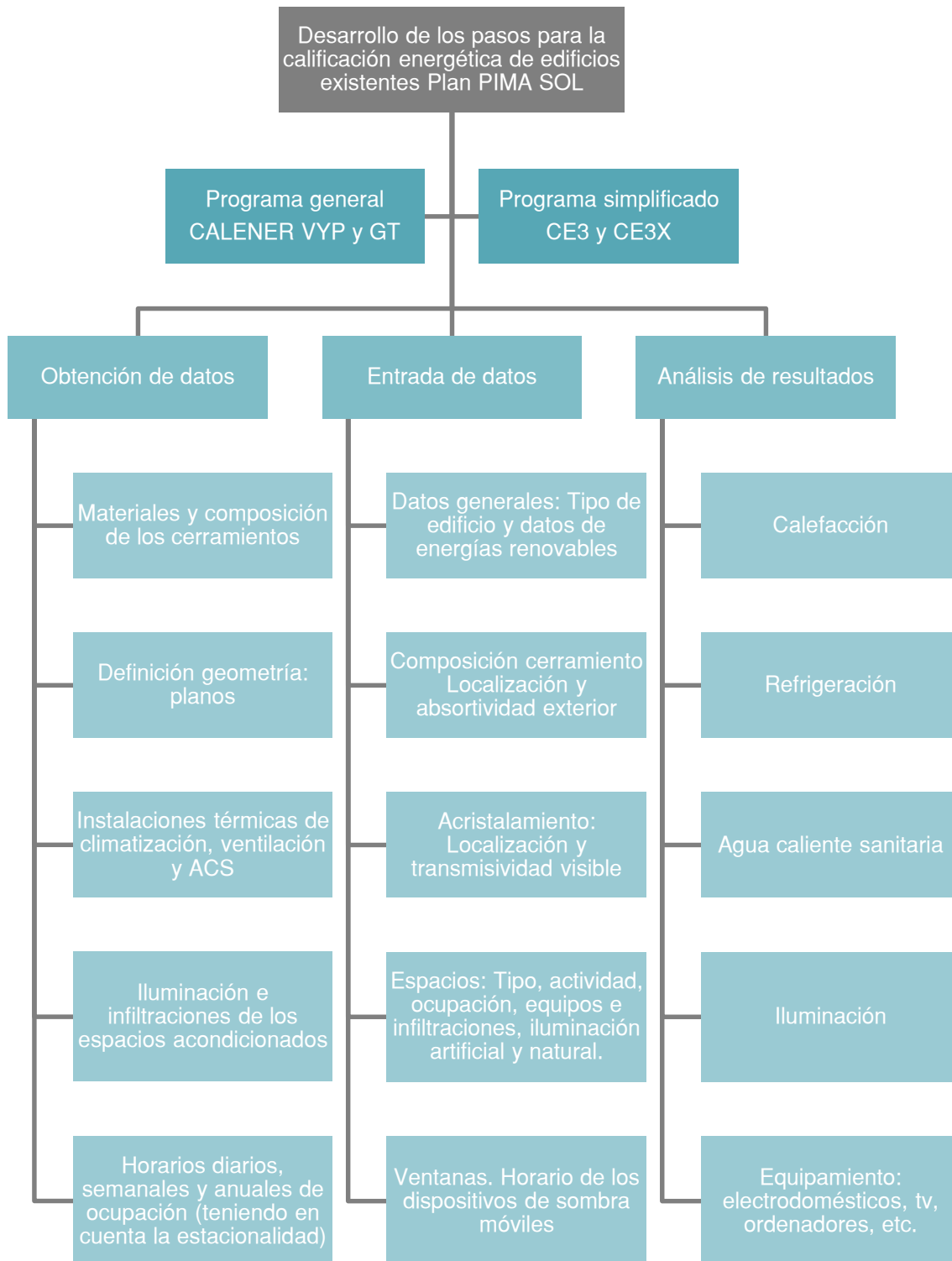


Figura 33. Desarrollo de los pasos para la calificación energética de edificios existentes Plan PIMA SOL.

Adaptado de a partir de Oficina Española de Cambio Climático, OECC (2014).

La utilización del programa general CALENER (VYP y GT)¹ o los programas simplificados CE3 y CE3X² hacen parte de las alternativas para el desarrollo de la calificación energética de edificios existentes. Para ambas opciones, general y simplificado, los pasos a seguir son los mismos descritos en la figura anterior. Al finalizar todo el proceso de certificación, y para conseguir los objetivos del Plan, se lleva a cabo una comparación de la simulación y la facturación antes y después de rehabilitar el edificio.

El consumo de los equipamientos no se incluyen ni contabilizan en la certificación energética. No obstante, es un consumo considerable que puede llegar a representar un 20% del consumo final del edificio. Sin embargo, el Plan PIMA SOL explica, en un apartado que no mencionaremos aquí, que existe la posibilidad de calibrar la simulación energética a partir de los datos de facturación, para que ésta refleje una aproximación más exacta a la realidad.

Para un estudio más profundo y/o futuras extensiones a esta investigación, otra fuente de información de interés que ayuda significativamente a conocer el funcionamiento real del edificio, son los datos de consumo, confort y funcionamiento del edificio. Si se dispone de ellos, cuanto más desagregados por zonas, usos, épocas del año, programación de equipos, entre otros, mejor ya que serán de gran utilidad al momento de diferenciar usos y detectar falencias en la simulación. (OECC, 2014, pp. 6-18)

¹ El Programa informático CALENER es una herramienta informática promovida por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, a través del IDAE, y por el Ministerio de Fomento, que permite obtener la certificación de eficiencia energética de un edificio, tanto en su fase de proyecto como del edificio terminado.

² Los programas informáticos CE3 y CE3X son herramientas promovidas por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, a través del IDAE, y por el Ministerio de Fomento, que permiten obtener la certificación de eficiencia energética de un edificio existente de forma simplificada.

4.4.4. Análisis comparativo de las metodologías

Para llevar a cabo el análisis comparativo de las metodologías se crean tres diferentes cuadros comparativos con la información de mayor utilidad para este trabajo de investigación, su comprensión y fundamentación teórica. Como primera instancia se encuentran los datos requeridos para llevar a cabo cada metodología (Ver Tabla 19), incluyendo los datos constructivos del edificio, sus instalaciones y el lugar en el que se encuentra ubicado. De este cuadro comparativo podemos concluir que no hay muchas diferencias entre cada una de las metodologías, a excepción de la metodología AEE.

Tabla 6. Cuadro comparativo de los datos requeridos para la ejecución de cada metodología analizada.

DATOS REQUERIDOS		EN ISO 13790	EN 15603	AEE	PIMA SOL
Datos del sitio	Información meteorológica	X	X	X	X
	Emplazamiento	X	X	X	X
	Características del entorno	X	X	X	X
	Volumetría	X	X	X	X
Datos del edificio	Características envolvente	X	X	X	X
	Materiales constructivos	X	X	X	X
	Ocupación calculada		X	X	
	Ocupación estándar	X	X		X
Descripción de las instalaciones	Dimensionamiento de las instalaciones por medio de un programa de cálculo			X	
	Iluminación	X	X		X
	Ventilación	X	X		X
	ACS*	X	X		X
	HVAC**	X	X	X	X
	Energía renovable	X	X		X
	Sistemas de control	X	X		

Nota: *Agua caliente sanitaria. ** Calefacción, refrigeración y aire acondicionado).

La descripción de las instalaciones y su dimensionamiento en la metodología AEE, se lleva a cabo por medio de un programa de cálculo y se enfoca únicamente en las instalaciones HVAC. Por otra parte, para los datos requeridos sobre ocupación hay una preferencia en las metodologías por seleccionar una ocupación estandarizada con el fin de suponer el edificio actual y su propuesta en igualdad de condiciones durante la simulación.

Dentro de los pasos que componen las metodologías, podemos concluir que todas tienen como objetivo principal evaluar el comportamiento del edificio para definir patrones de trabajo en busca de posibles mejoras (Ver Tabla 20). Sin embargo, la metodología AEE no deja implícita la necesidad de reiterar los cálculos para las posibles modificaciones en la edificación, factor que es de gran valor para identificar si las estrategias implementadas tendrán la efectividad que se espera o, en efecto, conocer las posibles falencias antes de llevar a cabo la ejecución de una reforma y/o rehabilitación energética.

Tabla 7. *Cuadro comparativo de los pasos que componen cada metodología analizada.*

PASOS QUE COMPONEN LA METODOLOGÍA	EN ISO 13790	EN 15603	AEE	PIMA SOL
Dividir el edificio en zonas de cálculo	X	X	X	X
Introducción de los datos constructivos del edificio	X	X	X	X
Cálculo de las cargas térmicas mediante funciones de transferencia			X	
Cálculo de las demandas energéticas para HVAC	X	X	X	X
Cálculo del consumo energético por rendimiento estacional dependiendo del factor climático	X	X	X	X
Reiteraciones en el cálculo por las modificaciones realizadas en el edificio, sistemas de climatización, etc	X	X		X
Evaluación energética a partir de kWh/m ² consumidos o cantidad de CO ₂ emitido			X	X

Nota: Pasos en común entre metodologías para el análisis comparativo.

Otro factor a destacar en el análisis comparativo de los pasos es que la mayoría de las metodologías ejecuta el cálculo de las demandas energéticas para condiciones climatológicas en situaciones extremas, es decir, para el periodo de tiempo más frío y el más caluroso del año.

Finalmente, en la comparación de los datos obtenidos de la simulación en cada metodología (Ver Tabla 21), se destaca que todas tienen en común el análisis de valores mensuales y anuales para demandas y consumos energéticos, especialmente para sistemas HVAC, ACS y sistemas de iluminación. Además, se analizan los principales elementos de balance térmico del edificio, como son la ventilación, ganancias internas, acumulación, entre otros. Sin embargo, el cálculo de las emisiones de CO₂, los costes económicos y la calificación energética del edificio son datos agregados por la metodología AEE y PIMA SOL, que serán de gran utilidad al momento de desarrollar un ejercicio de rehabilitación energética como extensión a esta investigación.

Tabla 8. *Cuadro comparativo de los datos obtenidos en la simulación de cada metodología.*

DATOS OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN	EN ISO 13790	EN 15603	AEE	PIMA SOL
Valores anuales de las demandas energéticas y el consumo de energía para HVAC	X	X	X	X
Valores mensuales de las demandas energéticas y el consumo de energía para HVAC	X	X	X	X
Duración de las estaciones de calefacción y refrigeración que afectan el uso de energía	X	X	X	X
Valores mensuales de los elementos principales de balance térmico (Transmisión térmica, ventilación, acumulación, ganancias internas, calor solar, etc)	X	X	X	X
Pérdidas recuperadas y rendimiento para HVAC, ACS y sistemas de iluminación.	X	X	X	X
Cálculo de emisiones de CO ₂		X	X	X
Consumo de energía anual a lo largo de su vida útil		X		
Evaluación y calificación energética del edificio			X	X
Costes económicos para la ejecución de las mejoras			X	X

4.5. Análisis de referentes arquitectónicos

Para entrar en contexto con las actuaciones arquitectónicas en edificios de uso comercial - hotelero de la misma escala del hotel y/o de una tipología similar, en diferentes partes del mundo, para clima cálido húmedo, se hace un análisis de referentes arquitectónicos, cada uno analizado de manera individual. Destacando en ellos los aspectos más relevantes como son: localización, condiciones climáticas, concepto del hotel, componente espacial-formal, componente funcional y componente técnico, este último cuenta con un análisis comparativo de programas arquitectónicos (Ver Apéndice 5). Los hoteles seleccionados fueron:

- Yu! Hotel, ubicado en Guayaquil Ecuador (Ver Apéndice 1)
- Hotel San Sebastian, ubicado en Medellín – Colombia (Ver Apéndice 2)
- Hotel Golden Holiday, ubicado en Nha Trang – Vietnam (Ver Apéndice 3)
- Hostal E57, ubicado en Surabaya – Indonesia (Ver Apéndice 4)

Como última instancia se lleva a cabo un análisis comparativo de los referentes arquitectónicos, donde se comparan diferentes aspectos como son sistemas de orden, zonificación, habitaciones, espacios complementarios, condiciones climáticas, estrategias preventivas y estrategias de eliminación, cada uno con su respectiva conclusión (Ver Anexo 6).

5. Metodología

La metodología no tiene en consideración todas las fases de las metodologías anteriormente comparadas debido a que el propósito de este trabajo de investigación es analizar netamente el comportamiento térmico de los edificios. Las fases de la metodología se encuentran sintetizadas en la siguiente figura:

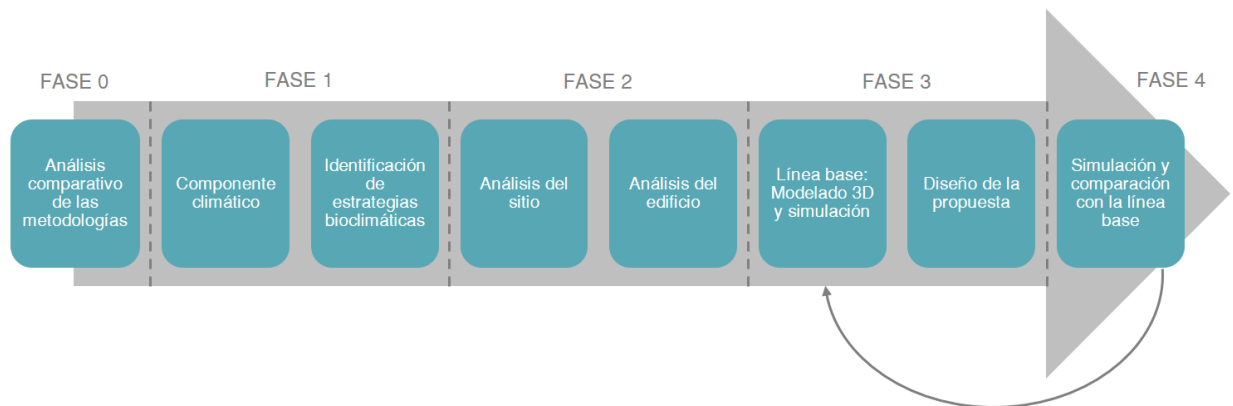


Figura 34. Síntesis de las fases para el Análisis Comparativo del Comportamiento Térmico de dos Edificios en Clima Cálido Húmedo.

Elaboración a partir del análisis comparativo de las metodologías.

Según la CIBSE AM11 (2015) el uso de modelos dinámicos sobre los estáticos es preferible para una evaluación más amplia del fenómeno termodinámico del edificio. Además, la CIBSE recomienda que las métricas que se buscan de las simulaciones y las cuales serán la base comparativa sean la temperatura operativa, la temperatura radiante y la temperatura del aire.

Para simular ambos edificios se implementa la evaluación energética calculada estándar según la EN 15603, donde las características constructivas y volumetría del edificio son reales, pero las condiciones de utilización y el entorno climático donde se simula se encuentran estandarizados para un mayor control de los resultados a comparar. La desagregación de las fases se puede identificar en la siguiente figura:

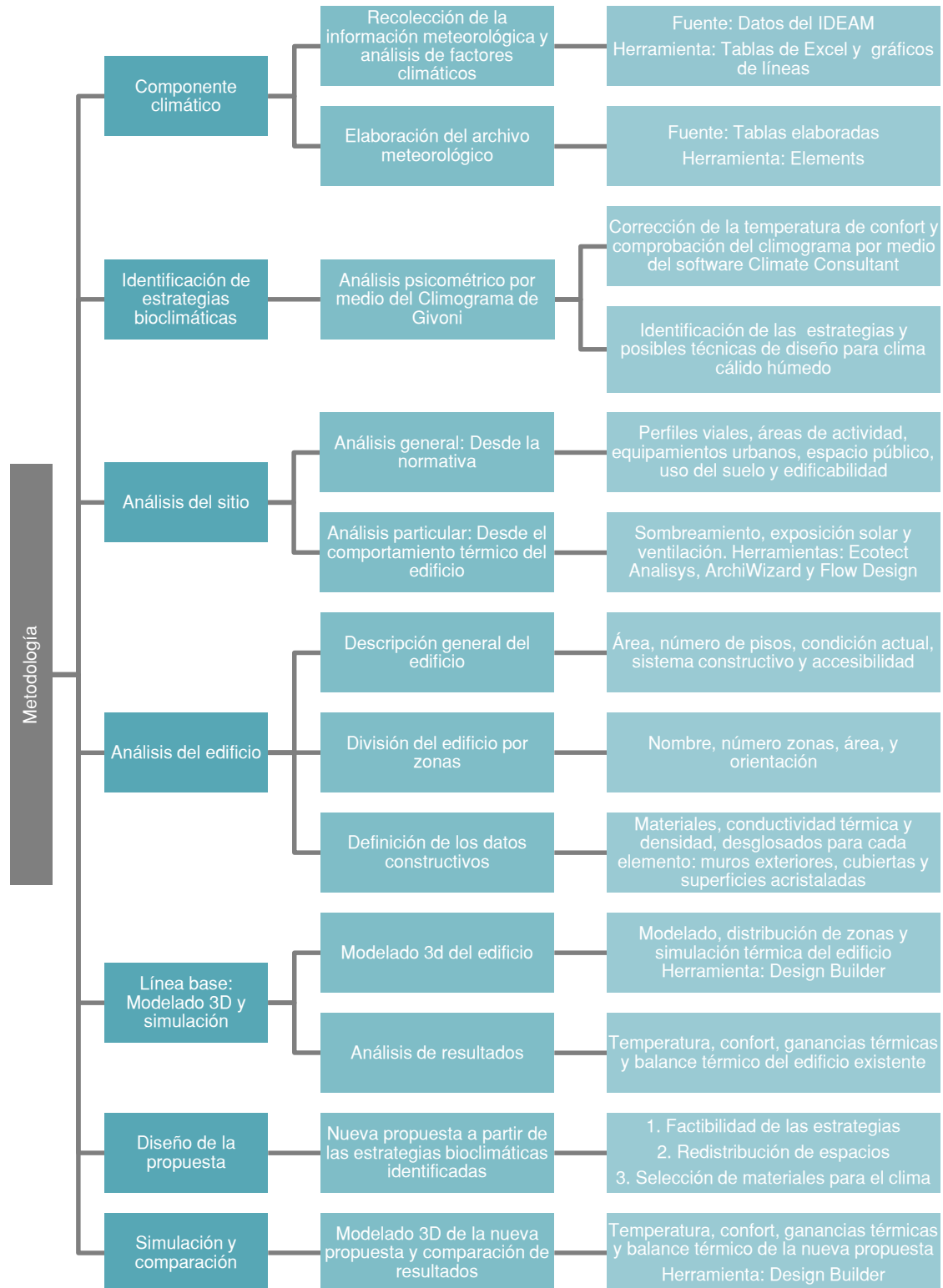


Figura 35. Fases desagregadas para el Análisis Comparativo del Comportamiento Térmico de dos Edificios en Clima Cálido Húmedo.

6. Desarrollo del Proyecto

6.1. Componente climático

En esta primera etapa se lleva a cabo la revisión de la información meteorológica de Barrancabermeja, gracias a los datos climatológicos brindados por el IDEAM en la Estación de control del Aeropuerto Yariguies. Una vez organizada la información en formato Excel, se podrán elaborar las correspondientes tablas con escala de color y diferentes gráficas para la comprensión de las mismas.

Esta información será utilizada para la elaboración de un archivo meteorológico que será fundamental para realizar las simulaciones, en igualdad de condiciones climáticas, para su futura evaluación y comparación. El archivo meteorológico será elaborado a partir del software Elements.

La información meteorológica de Barrancabermeja brindada por el IDEAM procede de la estación No. 23155030 Aeropuerto Yariguies, latitud 701 N, longitud 7348 W y elevación de 126 m.s.n.m. El periodo de tiempo seleccionado es de 30 años, desde 1986 hasta el 2016.

Los datos analizados que son requeridos para la elaboración de los archivos meteorológicos fueron los valores totales mensuales de: brillo solar, evaporación, humedad relativa, velocidad del viento, punto de rocío, nubosidad, tensión de vapor, precipitación, temperatura media, temperatura media mínima y temperatura media máxima.

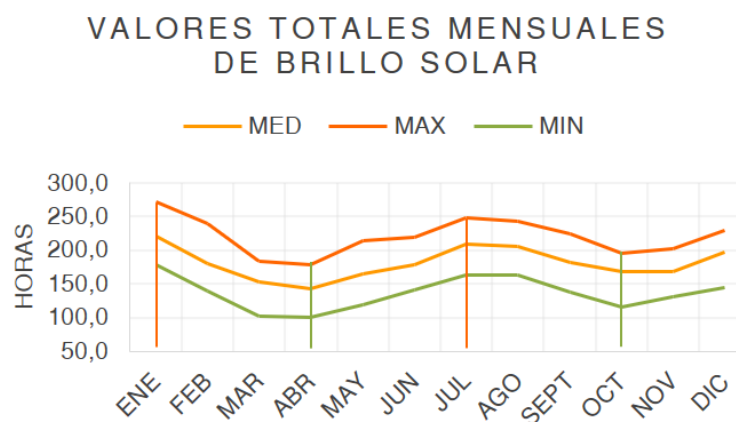
Brillo solar

Figura 36. Gráfica de valores totales mensuales de brillo solar (horas).

Elaboración a partir de la tabla de valores totales mensuales de brillo solar (horas) (Ver Tabla 22).

La duración del brillo solar representa el tiempo total durante el cual la luz solar directa incide sobre alguna localidad o lugar, entre el amanecer y el atardecer. Los valores de brillo solar y evaporación están directamente relacionados, ya que a mayor nivel de luz solar directa se encuentre un lugar, mayores serán los niveles de evaporación en el aire.

En la interpretación de la gráfica podemos deducir que los meses con menor brillo solar según la media son abril con 143,4 horas, marzo con 153,2 horas y octubre con 168,8 horas. Los meses con mayor brillo solar según la media son enero con 221,3 horas y julio con 209,1 horas. El valor medio anual de brillo solar es de 181 horas.

Tabla 9. Valores totales mensuales de brillo solar (Horas).

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													
VALORES TOTALES MENSUALES DE BRILLO SOLAR (Horas)													
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1985	236,5	206,4	162,0	162,2	178,8	201,7	202,3	213,2	196,4	148,4	177,3	237,4	2322,6
1986	197,7	166,9	183,3	129,4	140,3	171,6	229,1	211,6	196,8	127,6	155,1	216,6	2126,0
1987	183,5	185,9	166,8	158,5	183,9	160,4	177,1	214,3	184,6	139,7	192,7	226,0	2173,4
1988	252,5	179,0	164,0	115,1	187,7	187,9		183,8	161,9	183,4	162,6		1777,9
1989						145,6	224,3	225,1	198,7	177,1	182,9	207,5	1361,2
1990	199,1	164,4	149,8	123,7	176,4	193,2	203,2	220,5	195,5	188,4	175,2	214,7	2204,1
1991	272,0	176,0	165,9	170,2	178,2	173,0	203,9	200,0	160,2	177,8	138,3	179,4	2194,9
1992	184,9	146,9	102,2	116,3	153,0	183,8	203,5	194,7	181,9	182,2	157,8	202,0	2009,2
1993	178,8	196,9	163,2	130,2	135,2	174,8	220,1	225,4	180,6	185,0	151,0	196,8	2138,0
1994	241,2	143,2	130,9	136,9	159,0	186,6	231,9	204,8	165,5	170,4	178,1	198,8	2147,3
1995	257,3	181,8	134,9	146,3	163,8	172,6	202,5	192,8	203,9	155,9	172,1	184,1	2168,0
1996	222,3	176,6	132,7	146,4	162,1	140,8	200,5	205,6	174,4	169,8	173,6	192,4	2097,2
1997	233,0	161,2	157,3	131,0	178,5	141,4	225,7	213,9	167,0	116,3	168,1	229,3	2122,7
1998	221,1	144,9	108,7	138,6	119,2	170,2	212,8	162,5	156,0	171,2	159,0	169,5	1933,7
1999	228,4	139,6	178,1	158,9	211,8	152,3	233,2	167,6	138,3	168,2	171,4	171,2	2119,0
2000	235,2	190,7	158,4	159,9	144,5	192,2	213,9	204,5	156,7	186,6	173,0	195,6	2211,2
2001	213,0	192,5	135,6	160,1	161,3	219,4	226,1	241,3	175,6	176,2	176,7	143,9	2221,7
2002	245,7	193,5	165,2	136,8	171,1	197,5	208,0	242,1	198,2	192,5	192,8	220,1	2363,5
2003	239,5	181,0	139,6	162,4	195,7	152,6	197,8	217,1	191,8	135,1	171,7	182,7	2167,0
2004	233,8	239,9	169,1	134,2	175,2	211,1	194,2	219,8	155,7	169,6	186,6	193,4	2282,6
2005	189,9	174,3	173,2	152,3	171,6	166,0	227,7	186,7	192,5	191,2	166,4	224,0	2215,8
2006	202,8	204,1	177,0	130,6	158,9	179,3	180,3	200,0	202,6	154,7	164,8	200,1	2155,2
2007	243,9	233,8	134,9	158,2	170,8	199,1	231,8	179,1	200,3	173,2	202,5	212,4	2340,0
2008	210,1	205,7	182,9	179,0	152,7	180,4	196,5	177,3	189,0	195,3	130,6	214,8	2214,3
2009	196,3	171,0	146,8	175,0	166,5	180,8	224,4	204,7	224,1	174,4	181,5	205,8	2251,3
2010	252,9	164,4	156,6	134,9	161,8	174,1	162,8	189,8	139,4	170,5	145,1	157,9	2010,2
2011	217,0	163,5	149,8	155,5	155,7	154,4	175,5	222,8	197,5	132,2	137,5	179,1	2040,5
2012	219,2	226,8	162,9	152,6	151,3	189,6	199,8	220,6	207,1	178,2	187,5	204,5	2300,1
2013	230,9	171,6	153,4	137,6	161,6	202,5	215,7	217,8	176,6	165,8	176,4	199,9	2209,8
2014	205,1	173,1	161,0	149,3	152,0	196,4	247,2	225,3	192,9	178,2	180,2	187,1	2247,8
2015	219,4	179,8	173,5	100,5	213,8	182,4	200,0	214,9	193,0	164,2	150,6	210,0	2202,1
2016	213,1	153,7	118,2	122,9	130,8	194,8	202,2	212,3	171,1	182,5	147,4	192,5	2041,5
MED	221,3	179,4	153,2	143,4	164,8	178,3	209,1	206,4	181,6	168,8	168,0	197,1	181,0
MAX	272,0	239,9	183,3	179,0	213,8	219,4	247,2	242,1	224,1	195,3	202,5	229,3	272,0
MIN	178,8	139,6	102,2	100,5	119,2	140,8	162,8	162,5	138,3	116,3	130,6	143,9	100,5

Evaporación

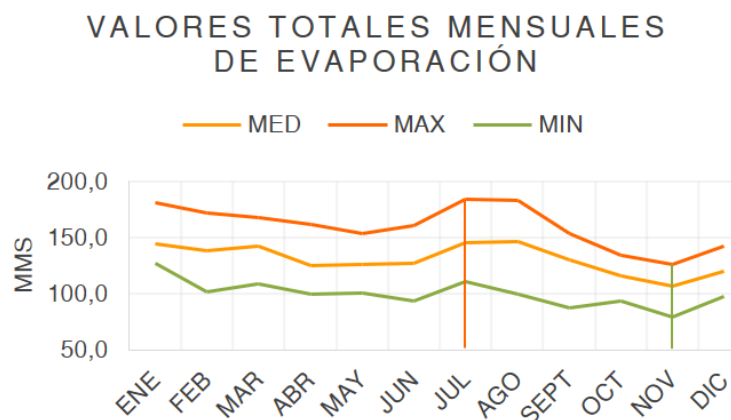


Figura 37. Gráfica de valores totales mensuales de evaporación (mms).

Elaboración a partir de la tabla de valores totales mensuales de evaporación (mms) (Ver Tabla 23).

Los índices de evaporación dependen directamente de varios factores como son la radiación solar, la temperatura, la humedad y el viento.

En la interpretación de la gráfica podemos deducir que el mes con menor evaporación según la media es noviembre con 106,4 mms y el mes con mayor evaporación según la media es julio con 145,8 mms. El valor medio anual de evaporación es de 130,6 mms.

Tabla 10. Valores totales mensuales de evaporación (mms).

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													
VALORES TOTALES MENSUALES DE EVAPORACIÓN (mms)													
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1986	142,7	127,5	139,3	125,6	125,4	126,0	158,2	157,2	145,1	100,3	113,7	135,8	1596,8
1987	142,1	134,0	149,6	130,1	146,2	141,2	153,6	150,1	142,4	99,5	126,5	125,7	1641,0
1988			167,3	117,6	148,8	133,1		119,3	140,2	102,6	102,5	112,4	1143,8
1989	147,6	156,9	153,1	161,5	138,4	131,4	150,3	144,6	150,0	122,5	118,8	127,7	1702,8
1990	126,7	109,7	132,3	103,9	137,8	136,1	143,8	155,2	96,1	107,5	107,0	127,1	1483,2
1991	181,2	152,6	160,8	157,2	122,5	140,9	158,5	178,5	142,5	116,3	106,0	124,6	1741,6
1992	147,2	149,7	146,3	136,1	133,3	128,5	168,6	156,6	127,5	124,8	104,7	126,9	1650,2
1993	131,8	135,4	150,2	113,9	101,0	135,7	159,6	136,4	144,6	130,2	95,3	122,4	1556,5
1994	155,2	124,5	121,9	126,5	124,7	138,1	166,4	158,3	126,4	126,9	118,3	131,8	1619,0
1995	172,4	169,1	146,8	119,7	119,7	115,3	121,0	129,0	114,5	118,5	107,7	116,9	1550,6
1996	133,2	101,9	113,7	137,3	113,2	95,6	119,6	119,1	113,7	103,5	100,0	106,1	1356,9
1997	139,0	134,4	157,9	129,3	126,0	102,6	169,0	161,5	114,2	134,0	91,1	142,0	1601,0
1998	156,2	120,9	108,2	101,0	*	118,6	149,2	133,2	123,6	104,8	103,1	111,3	1330,1
1999	132,2	105,0	141,3	114,4	153,7	109,7	148,6	118,8	103,5	102,2	113,6	114,6	1457,6
2000	139,8	129,3	131,0	124,8	116,7	124,4	131,7	144,5	87,4	125,7	111,7	118,9	1485,9
2001	132,1	150,0	118,7	119,5	118,5	143,1	149,2	183,2	146,1	109,7	109,1	97,1	1576,3
2002	150,0	143,0	143,2	135,7	135,6	145,4	143,9	177,2	144,8	133,2	108,6	141,3	1701,9
2003	158,3	153,9	151,7	110,4	104,3	93,0	145,6	143,4	150,9	95,7	87,7	109,9	1504,8
2004	133,0	166,5	159,2	123,1	104,0	145,1	142,5	162,2	103,5	116,0	110,5	122,1	1587,7
2005	128,8	143,1	157,1	119,8	125,6	109,5	128,9	148,5	138,3	93,6	91,3	122,5	1507,0
2006	131,1	131,9	147,1	128,5	137,1	139,4	143,0	145,9	150,6	123,6	108,5	108,1	1594,8
2007	150,6	151,5	127,3	121,4	117,4	120,9	143,3	126,6	133,0	119,4	124,0	107,7	1543,1
2008	134,4	140,8	141,6	99,7	112,8	122,8	123,5	99,6	121,2	120,3	79,5	123,1	1419,3
2009	134,3	135,3	123,1	123,9	123,8	112,1	138,1	145,9	153,5	114,4	111,4	110,7	1526,5
2010	144,1	108,2	134,5	114,7	110,5	116,9	110,6	110,6	101,4	116,8	90,4	103,1	1361,8
2011	136,3	134,4	136,8	122,5	116,9	108,4	113,7	145,2	137,8	113,2	100,5	113,1	1478,8
2012	136,1	172,0	155,8	128,4	134,9	122,3	145,9	170,5	154,0	115,9	118,0	123,0	1676,8
2013	167,1	140,9	138,7	123,3	119,6	141,7	153,7	166,7	134,0	127,9	113,1	128,2	1654,9
2014	139,0	118,5	153,8	142,4	147,7	160,8	184,4	176,6	131,4	134,2	116,9	122,7	1728,4
2015	143,9	139,4	162,2	128,2	150,6	145,4	151,0	155,5	122,1	120,3	103,9	139,6	1662,1
2016	155,0	158,2	130,9	142,4	117,6	132,2	158,2	126,8	134,0	105,1	106,4	116,4	1583,2
MED	144,0	138,0	142,0	125,3	126,1	127,0	145,8	146,7	129,9	115,4	106,4	120,4	130,6
MAX	181,2	172,0	167,3	161,5	153,7	160,8	184,4	183,2	154,0	134,2	126,5	142,0	184,4
MIN	126,7	101,9	108,2	99,7	101,0	93,0	110,6	99,6	87,4	93,6	79,5	97,1	79,5

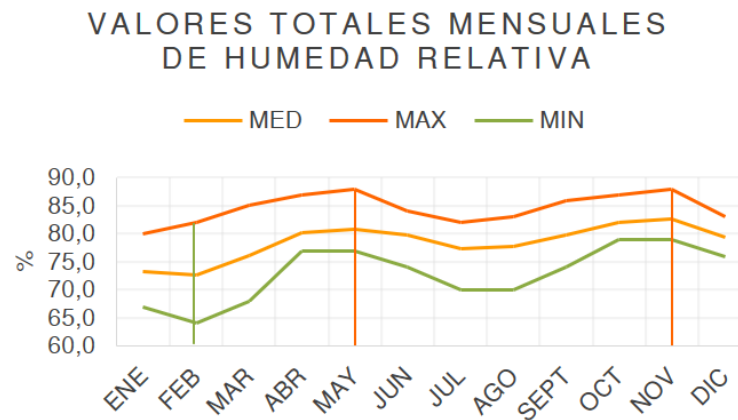
Humedad relativa

Figura 38. Gráfica de valores totales mensuales de humedad relativa (%).

Elaboración a partir de la tabla de valores totales mensuales de humedad relativa (%) (Ver Tabla 24).

La humedad relativa se da por el vapor de agua que se encuentra presente en la atmósfera. El contenido de agua en la atmósfera depende, principalmente, de la temperatura. Cuanto más caliente está una masa de aire, mayor es la cantidad de vapor de agua que puede retener. “Dentro de los límites extremos que pueden ser negativos está cuando la humedad sobrepasa el 60% y, sobre todo, el 80%, la sensación de calor aumenta, ya que se produce el sudor, pero no evaporación, dando lugar al clásico bochorno o calor húmedo, bastane más inconfortable que el calor seco.” (Fernández, F., 1994, pp. 112)

En la interpretación de la gráfica podemos deducir que el mes con menor humedad relativa según la media es febrero con 72,7% y los meses con mayor humedad relativa según la media son noviembre con 82,7% y mayo con 80,9%. La humedad relativa media anual es de 78,5%.

Tabla 11. *Valores totales mensuales de humedad relativa (%)*.

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													
VALORES TOTALES MENSUALES DE HUMEDAD RELATIVA (%)													
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1986	72,0	71,0	73,0	84,0	84,0	82,0	76,0	78,0	80,0	87,0	85,0	79,0	79,0
1987	76,0	77,0	79,0	83,0	83,0	83,0	81,0	80,0	83,0	87,0	82,0	79,0	81,0
1988	69,0	74,0	68,0	82,0	82,0	84,0		83,0	85,0	84,0	84,0	81,0	80,0
1989	76,0	72,0	81,0	80,0	82,0	83,0	79,0	81,0	82,0	85,0	86,0	82,0	81,0
1990	80,0	76,0	76,0	84,0	83,0	81,0	82,0	77,0	81,0	85,0	84,0	80,0	81,0
1991	69,0	74,0	78,0	78,0	*		82,0	79,0	78,0	83,0	83,0	86,0	79,0
1992	75,0	72,0	77,0	79,0	82,0	81,0	79,0	80,0	83,0	84,0	85,0	80,0	80,0
1993	80,0	79,0	81,0	87,0	88,0	83,0	82,0	80,0	86,0	85,0	88,0	83,0	84,0
1994	74,0	76,0	84,0	83,0	83,0	82,0	77,0	80,0	81,0	83,0	83,0	80,0	81,0
1995	71,0	67,0	76,0	81,0	82,0	83,0	81,0	83,0	81,0	85,0	84,0	82,0	80,0
1996	78,0	82,0	85,0	83,0	83,0	84,0	82,0	81,0	82,0	85,0	84,0	79,0	82,0
1997	76,0	77,0	73,0	77,0	79,0	82,0	72,0	72,0	80,0	80,0	83,0	77,0	77,0
1998	73,0	77,0	81,0	82,0	83,0	81,0	79,0	81,0	82,0	83,0	84,0	83,0	81,0
1999	78,0	80,0	77,0	81,0	79,0	82,0	79,0	81,0	84,0	84,0	83,0	82,0	81,0
2000	72,0	75,0	77,0	79,0	83,0	80,0	79,0	77,0	81,0	82,0	82,0	79,0	79,0
2001	77,0	67,0	78,0	79,0	80,0	74,0	75,0	72,0	78,0	79,0	81,0	83,0	77,0
2002	71,0	69,0	71,0	79,0	77,0	75,0	74,0	70,0	78,0	79,0	80,0	77,0	75,0
2003	70,0	70,0	74,0	78,0	78,0	81,0	76,0	77,0	78,0	83,0	81,0	80,0	77,0
2004	70,0	64,0	68,0	79,0	78,0	77,0	78,0	76,0	80,0	81,0	80,0	77,0	76,0
2005	75,0	74,0	76,0	80,0	80,0	81,0	77,0	78,0	78,0	81,0	83,0	77,0	78,0
2006	75,0	71,0	76,0	81,0	79,0	78,0	75,0	77,0	77,0	80,0	80,0	78,0	77,0
2007	70,0	66,0	76,0	80,0	80,0	77,0	74,0	80,0	78,0	80,0	79,0	77,0	76,0
2008	73,0	71,0	74,0	78,0	80,0	80,0	79,0	80,0	78,0	79,0	84,0	76,0	78,0
2009	73,0	71,0	76,0	77,0	80,0	79,0	75,0	76,0	74,0	80,0	79,0	76,0	76,0
2010	70,0	72,0	78,0	81,0	82,0	80,0	81,0	80,0	82,0	80,0	83,0	82,0	79,0
2011	72,0	73,0	77,0	79,0	81,0	79,0	79,0	79,0	77,0	83,0	85,0	81,0	79,0
2012	72,0	66,0	73,0	79,0	79,0	77,0	76,0	75,0	76,0	80,0	80,0	78,0	76,0
2013	67,0	72,0	78,0	81,0	80,0	77,0	74,0	76,0	78,0	79,0	80,0	76,0	77,0
2014	73,0	75,0	76,0	77,0	79,0	75,0	70,0	72,0	76,0	79,0	80,0	78,0	76,0
2015	72,0	74,0	71,0	77,0	77,0	74,0	74,0	73,0	75,0	79,0	81,0	76,0	75,0
2016	71,0	69,0	72,0	79,0	81,0	77,0	75,0	76,0	79,0	81,0	84,0	82,0	77,0
MED	73,2	72,7	76,1	80,2	80,9	79,8	77,3	77,7	79,9	82,1	82,7	79,4	78,5
MAX	80,0	82,0	85,0	87,0	88,0	84,0	82,0	83,0	86,0	87,0	88,0	83,0	88,0
MIN	67,0	64,0	68,0	77,0	77,0	74,0	70,0	70,0	74,0	79,0	79,0	76,0	64,0

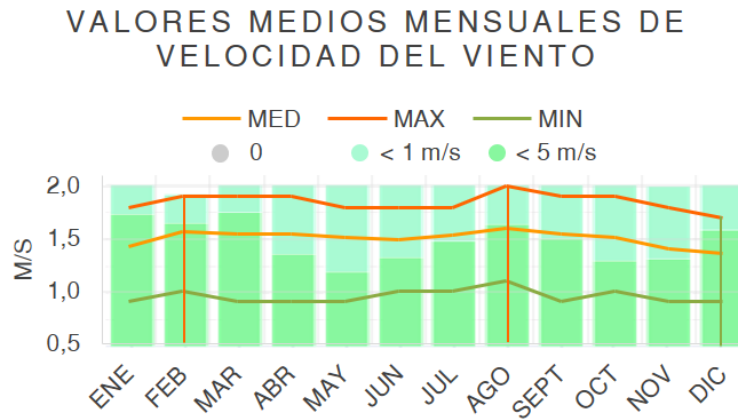
Velocidad del viento

Figura 39. Gráfica de valores totales mensuales de velocidad del viento (m/s).

Elaboración propia a partir de la tabla de valores totales mensuales de velocidad del viento (m/s) del IDEAM (Ver Tabla 25).

La velocidad del viento es causada por el movimiento del aire de alta presión a baja presión, generalmente debido a cambios en la temperatura.

En la interpretación de la gráfica podemos deducir que el mes con menor velocidad del viento según la media es diciembre con 1,4 m/s, y los meses con mayor velocidad del viento según la media son febrero y agosto con 1,6 m/s. La media anual de velocidad del viento es de 1,5 m/s.

Tabla 12. Valores medios mensuales de velocidad del viento (m/s).

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													
VALORES MEDIOS MENSUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)													
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1986	1,7	1,8	1,7	1,9	1,7	1,8	1,8	2,0		1,7	1,7	1,7	1,8
1987	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,8	1,8	1,9	1,7	1,6	1,5	1,8
1988	1,8	1,8	1,9	1,7	1,8	1,7	1,8	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6	1,8
1989	1,6	1,9	1,8	1,8	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5	1,8
1990	1,6	1,8		1,8	1,8	1,7	1,8	2,0	*	1,7	1,7	1,6	1,8
1991	1,8	1,8	1,7	1,8	1,7	1,7	1,7	1,8	1,7	1,7	1,5	*	1,7
1992	1,6	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,7
1993	1,5	1,6	1,7	1,6	1,5	1,6	*	1,7	1,7	1,7	1,4	1,4	1,6
1994	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,5	1,7	1,7	1,7		1,5	1,4	1,6
1995	1,6	*					1,7	1,8	1,9	1,7	1,6	1,6	1,7
1996	*	1,7	1,6	1,7	*	*	1,7	*			1,8	*	1,7
1997		1,8	1,8	1,9	1,8	1,6	1,8	1,9	1,5	1,2	1,1	1,1	1,6
1998	*								1,8	1,9	1,6	1,6	1,7
1999	1,6	1,7	1,7		*	1,6	1,7	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,7
2000			1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	*				1,7
2001							1,6	1,6			1,5	1,4	1,5
2002	1,4	1,6				*	1,6	1,8	1,8	1,6	1,5	1,4	1,6
2003	1,6		1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	*	1,7	*	1,5	1,4	1,6
2004	1,5	1,7	1,8	1,6	1,6								1,6
2005							1,3	1,2	1,4	1,3	*		1,3
2006	1,1	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,1	0,9	0,9	1,1
2007	0,9	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2		1,1	1,0	1,1
2008	1,0	1,1	1,0	0,9	0,9	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
2009	1,1						1,0	1,1	1,1	1,1	0,9	0,9	1,0
2010	0,9	1,1	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	0,9		0,9	1,0	1,0
2011	1,0	1,1	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	0,9		1,0
MED	1,4	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,5
MAX	1,8	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	2,0
MIN	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9

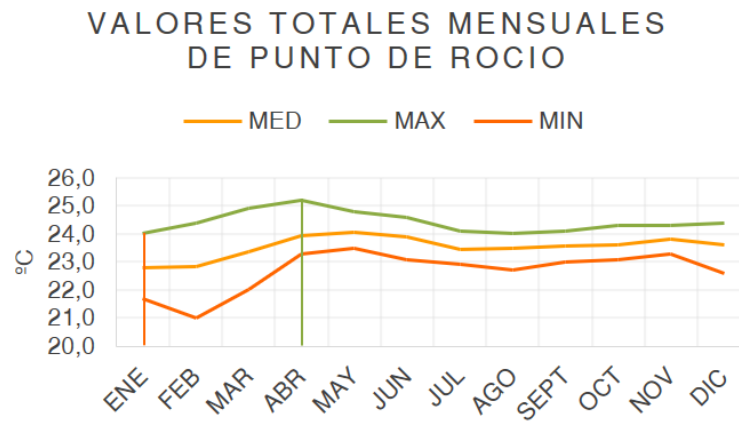
Punto de Rocío

Figura 40. Gráfica de valores totales mensuales de punto de rocío (°C).

Elaboración a partir de la tabla de valores totales mensuales de punto de rocío (°C) (Ver Tabla 26).

El Punto de Rocío es el valor al que debe descender la temperatura del aire para que el vapor de agua existente comience a condensarse. Durante los meses calurosos el punto de rocío resulta útil como índice de incomodidad, ya que para el ser humano el punto de rocío idóneo es de aproximadamente 10°C.

En la interpretación de la gráfica podemos deducir que el mes con menor punto de rocío según la media es enero con 22,8 °C, y el mes con mayor punto de rocío según la media abril con 24,0 °C. El valor medio anual de punto de rocío es de 23,5 °C.

Tabla 13. *Valores totales mensuales de punto de rocío (°C).*

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													
VALORES TOTALES MENSUALES DE PUNTO DE ROCIO (°C)													
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1986	22,2	21,0	22,0	23,7	24,0	23,7	23,1	23,3	23,6	23,6	23,9	23,6	23,1
1987	23,3	24,2	23,9	24,4	24,4	24,6	24,1	24,0	23,9	24,0	24,1	23,9	24,1
1988	22,2	23,1	22,5	24,0	24,2	23,7		23,2	23,6	23,6	23,5	22,9	23,3
1989	22,5	21,6	22,7	24,0	23,6	23,8	23,2	23,3	23,3	23,6	24,3	23,6	23,3
1990	23,9	23,2	23,2	24,3	24,4	24,5	23,6	23,3	23,6	23,7	23,8	23,6	23,8
1991	22,2	23,2	23,7	23,7		24,5	23,8	23,4	24,1	23,6	24,0	23,6	23,6
1992	23,3	23,2	24,1	24,5	24,5	24,3	23,2	23,5	23,7	23,7	23,9	23,5	23,8
1993	23,2	23,7	24,0	24,7	24,5	24,4	24,1	24,0	23,9	24,2	24,1	24,0	24,1
1994	22,3	22,7	23,7	23,9	24,0	23,9	23,4	23,5	23,6	23,5	23,4	23,6	23,5
1995	22,4	22,0	23,1	23,8	24,0	24,0	23,5	23,5	23,6	23,6	24,0	23,7	23,4
1996	23,0	23,7	24,0	24,1	23,8	23,9	23,6	23,3	23,5	23,7	23,6	23,4	23,6
1997	22,4	23,4	22,9	23,6	24,0	23,7	23,2	23,5	23,8	24,3	24,1	24,4	23,6
1998	24,0	24,4	24,9	25,2	24,8	24,4	23,9	24,0	23,8	24,0	23,9	23,8	24,3
1999	23,1	23,0	23,3	23,7	23,6	23,7	23,4	23,6	23,6	23,5	23,6	23,4	23,5
2000	21,7	22,5	23,0	23,6	23,9	23,7	23,5	23,5	23,2	23,7	23,7	23,4	23,3
2001	23,1	21,9	23,2	23,9	23,7	23,1	23,1	23,3	23,0	23,4	23,7	24,1	23,3
2002	23,1	22,6	22,9	23,6	24,0	23,2	23,4	22,7	23,4	23,4	23,7	23,9	23,3
2003	23,0	23,0	23,4	23,8	24,0	23,8	23,3	23,4	23,5	23,7	23,7	23,5	23,5
2004	22,0	21,8	23,0	23,6	23,9	24,0	23,3	23,6	23,2	23,4	23,7	23,5	23,3
2005	23,2	22,9	23,9	24,2	24,2	24,1	23,7	23,6	23,7	23,3	23,6	23,1	23,6
2006	22,8	22,6	23,3	23,6	23,9	23,4	23,4	23,5	23,3	23,5	23,6	23,5	23,4
2007	23,1	21,9	23,1	23,8	23,8	23,6	22,9	23,4	23,3	23,1	23,6	22,8	23,2
2008	22,3	22,2	22,6	23,4	23,5	23,6	23,2	23,1	23,2	23,2	23,8	22,6	23,1
2009	22,7	22,5	23,0	23,7	23,5	23,7	23,5	23,7	23,7	23,8	24,0	23,7	23,5
2010	23,0	24,0	24,5	24,4	24,6	24,0	23,6	23,6	23,5	23,5	23,3	23,1	23,8
2011	22,5	22,4	22,8	23,4	23,9	23,8	23,5	24,0	23,6	23,3	23,8	23,7	23,4
2012	22,5	21,4	22,6	23,3	23,8	23,6	23,6	23,2	23,4	23,5	24,1	23,8	23,2
2013	22,5	23,1	24,3	24,4	24,1	23,6	23,4	23,3	23,4	23,5	23,5	23,4	23,5
2014	23,1	23,6	23,7	24,2	24,0	24,0	23,5	22,9	23,3	23,5	23,8	23,6	23,6
2015	22,8	23,4	23,1	23,7	24,1	23,9	23,7	23,8	24,0	24,0	24,0	24,4	23,7
2016	23,2	23,6	24,1	24,3	24,5	24,0	23,3	23,6	23,9	23,9	24,2	24,2	23,9
MED	22,8	22,8	23,4	24,0	24,0	23,9	23,5	23,5	23,6	23,6	23,8	23,6	23,5
MAX	24,0	24,4	24,9	25,2	24,8	24,6	24,1	24,0	24,1	24,3	24,3	24,4	25,2
MIN	21,7	21,0	22,0	23,3	23,5	23,1	22,9	22,7	23,0	23,1	23,3	22,6	21,0

Nubosidad

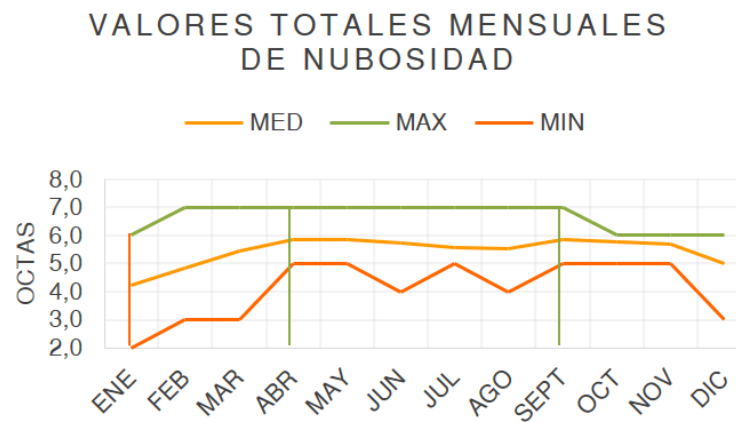


Figura 41. Gráfica de valores totales mensuales de nubosidad (Octas).

Elaboración a partir de la tabla de valores totales mensuales de nubosidad (Octas) (Ver Tabla 27).

La nubosidad es la fracción de cielo cubierto por nubes. Para expresar la nubosidad detectada se divide el espectro visible del cielo en ocho partes, y según la cantidad de partes que aparezcan ocultas por las nubes se indica el grado de nubosidad.

En la interpretación de la gráfica podemos deducir que el mes con menor nubosidad según la media es enero con 4,2 octas, y los meses con mayor nubosidad son abril, mayo y septiembre con 5,9 octas. El valor medio anual de nubosidad es de 5,5 octas.

Tabla 14. Valores totales mensuales de nubosidad (Octas).

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													
VALORES TOTALES MENSUALES DE NUBOSIDAD (Octas)													
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1986	5,0	5,0	4,0	6,0	6,0	6,0	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0	5,0	5,0
1987	5,0	4,0	6,0	6,0	6,0		6,0		6,0	6,0		4,0	5,0
1988			3,0	5,0	5,0	6,0		6,0	6,0	5,0	5,0	4,0	5,0
1989	4,0	4,0	5,0	6,0	5,0	6,0	5,0	5,0	6,0	5,0	5,0	4,0	5,0
1990	4,0	4,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0	5,0
1991	2,0	4,0	4,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0
1992	3,0				6,0	4,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	3,0	5,0
1993	4,0	3,0	4,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0	5,0
1994	3,0	5,0	6,0	5,0	6,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0			5,0
1995	3,0	3,0	5,0	5,0	6,0	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,0
1996	4,0	6,0	6,0	6,0	6,0	7,0	5,0	6,0	7,0	6,0	6,0	6,0	6,0
1997	6,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,0	7,0	6,0	6,0	6,0	5,0	6,0
1998	5,0	5,0	7,0	6,0	6,0	6,0	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
1999	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	7,0	6,0	6,0	6,0	6,0
2000	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,0	6,0
2001	5,0	4,0	6,0	6,0	6,0	5,0	6,0	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
2002	4,0	5,0	5,0	6,0	6,0	5,0	5,0	5,0	6,0	6,0	5,0	5,0	5,0
2003	3,0	5,0	6,0	5,0	6,0	6,0	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,0
2004	4,0	4,0	5,0	6,0	5,0	5,0	6,0	5,0	6,0	6,0	5,0	4,0	5,0
2005	4,0	5,0	4,0	6,0	6,0	6,0	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0	5,0	5,0
2006	4,0	4,0	5,0	6,0	6,0	6,0	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0	5,0	5,0
2007	4,0	3,0	6,0	6,0	6,0	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0	5,0	4,0	5,0
2008	4,0	5,0	5,0	6,0	6,0	7,0	7,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,0	6,0
2009	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,0	6,0	6,0	5,0	6,0
2010	3,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	7,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
2011	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0	7,0	6,0	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
2012	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
2013	4,0	6,0	6,0	7,0	6,0	6,0	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,0	6,0
2014	5,0	5,0	6,0	7,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,0	6,0
2015	4,0	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,0	6,0
2016	5,0	5,0	6,0	6,0	7,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
MED	4,2	4,8	5,4	5,9	5,9	5,7	5,6	5,5	5,9	5,8	5,7	5,0	5,5
MAX	6,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,0	6,0	6,0	7,0
MIN	2,0	3,0	3,0	5,0	5,0	4,0	5,0	4,0	5,0	5,0	5,0	3,0	2,0

Tensión de vapor

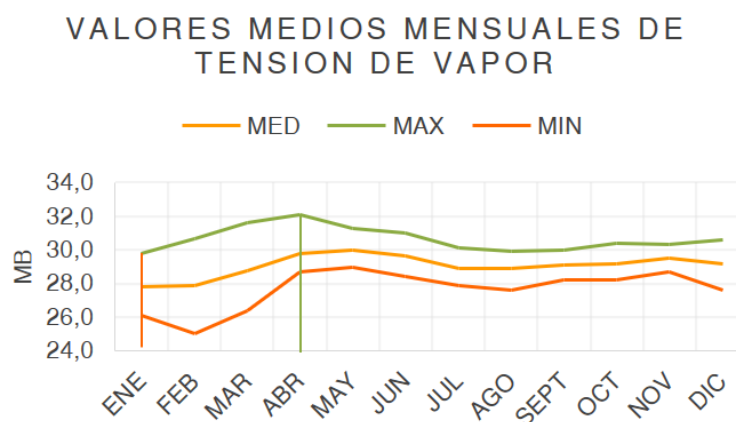


Figura 42. Gráfica de valores totales mensuales de tensión de vapor (mb).

Elaboración a partir de la tabla de valores totales mensuales de tensión de vapor (mb) del (Ver Tabla 28).

El contenido de agua en la atmósfera depende, principalmente, de la temperatura. Cuanto más caliente está una masa de aire, mayor es la cantidad de vapor de agua que puede retener. La tensión de vapor se define como la presión que tendría el vapor de agua si ocupara él solo el volumen ocupado por el aire húmedo.

En la interpretación de la gráfica podemos deducir que el mes con menor tensión de vapor según la media es enero con 27,8 mb, y el mes con mayor tensión de vapor es abril con 30,0 mb. El valor medio anual de tensión de vapor es de 29,1 mb.

Tabla 15. *Valores medios mensuales de tensión de vapor (Mb).*

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													
VALORES MEDIOS MENSUALES DE TENSION DE VAPOR (Mb)													
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1986	26,9	25,0	26,4	29,4	29,9	29,3	28,3	28,7	29,1	29,1	29,7	29,2	28,4
1987	28,6	30,3	29,8	30,7	30,6	31,0	30,1	29,8	29,8	29,9	30,0	29,6	30,0
1988	26,8	28,3	27,3	29,9	30,2	29,3		28,5	29,1	29,2	29,0	28,0	28,7
1989	27,3	25,9	27,6	29,8	29,2	29,5	28,5	28,5	28,6	29,2	30,3	29,2	28,6
1990	29,7	28,5	28,5	30,3	30,6	30,8	29,2	28,7	29,1	29,4	29,5	29,1	29,5
1991	26,8	28,6	29,4	29,4	30,7	30,7	29,5	28,7	30,0	29,2	29,9	29,2	29,3
1992	28,6	28,5	30,0	30,7	30,8	30,5	28,5	29,1	29,3	29,3	29,6	28,9	29,5
1993	28,5	29,3	29,9	31,1	30,8	30,6	29,9	29,8	29,8	30,2	30,0	29,9	30,0
1994	27,0	27,7	29,3	29,6	29,9	29,6	28,7	29,0	29,2	28,9	28,8	29,2	28,9
1995	27,1	26,4	28,3	29,5	29,9	29,8	28,9	29,0	29,2	29,2	29,8	29,3	28,9
1996	28,1	29,3	29,8	30,1	29,5	29,6	29,1	28,7	29,1	29,3	29,2	28,8	29,2
1997	27,0	28,7	27,9	29,2	29,9	29,3	28,4	29,0	29,6	30,4	30,0	30,5	29,2
1998	29,8	30,7	31,6	32,1	31,3	30,6	29,7	29,9	29,5	29,9	29,7	29,5	30,4
1999	28,3	28,1	28,7	29,4	29,1	29,2	28,9	29,1	29,1	29,0	29,1	28,8	28,9
2000	26,1	27,3	28,2	29,2	29,6	29,3	29,0	28,9	28,4	29,3	29,3	28,8	28,6
2001	28,3	26,4	28,4	29,7	29,3	28,4	28,3	28,6	28,2	28,9	29,2	30,0	28,6
2002	28,3	27,4	27,9	29,2	29,9	28,4	28,9	27,6	28,8	28,9	29,4	29,7	28,7
2003	28,2	28,2	28,8	29,5	29,8	29,5	28,7	28,7	29,0	29,3	29,3	29,0	29,0
2004	26,5	26,1	28,1	29,1	29,6	29,9	28,6	29,2	28,5	28,8	29,3	29,0	28,6
2005	28,5	28,0	29,7	30,2	30,2	30,0	29,3	29,1	29,3	28,6	29,1	28,4	29,2
2006	27,9	27,5	28,7	29,1	29,6	28,9	28,8	28,9	28,7	29,0	29,1	29,0	28,8
2007	28,2	26,3	28,4	29,5	29,4	29,1	27,9	28,8	28,6	28,2	29,1	27,8	28,4
2008	26,9	26,8	27,5	28,9	29,0	29,1	28,4	28,3	28,4	28,5	29,4	27,6	28,2
2009	27,6	27,2	28,1	29,3	29,0	29,3	29,0	29,3	29,3	29,4	29,8	29,4	28,9
2010	28,2	29,8	30,8	30,6	30,9	29,8	29,1	29,2	28,9	29,0	28,7	28,3	29,4
2011	27,3	27,2	27,9	28,8	29,7	29,5	29,0	29,9	29,2	28,7	29,6	29,4	28,9
2012	27,4	25,6	27,4	28,7	29,5	29,1	29,2	28,4	28,8	29,0	30,0	29,6	28,6
2013	27,3	28,3	30,3	30,6	30,0	29,2	28,7	28,6	28,9	29,0	29,0	28,8	29,1
2014	28,3	29,1	29,4	30,1	29,8	29,8	29,0	28,0	28,7	28,9	29,5	29,2	29,2
2015	27,8	28,7	28,2	29,4	30,1	29,7	29,4	29,5	29,9	29,8	29,9	30,6	29,4
2016	28,5	29,1	30,1	30,5	30,9	29,8	28,6	29,2	29,6	29,7	30,2	30,3	29,7
MED	27,8	27,9	28,8	29,8	30,0	29,6	28,9	28,9	29,1	29,2	29,5	29,2	29,1
MAX	29,8	30,7	31,6	32,1	31,3	31,0	30,1	29,9	30,0	30,4	30,3	30,6	32,1
MIN	26,1	25,0	26,4	28,7	29,0	28,4	27,9	27,6	28,2	28,2	28,7	27,6	25,0

Precipitación

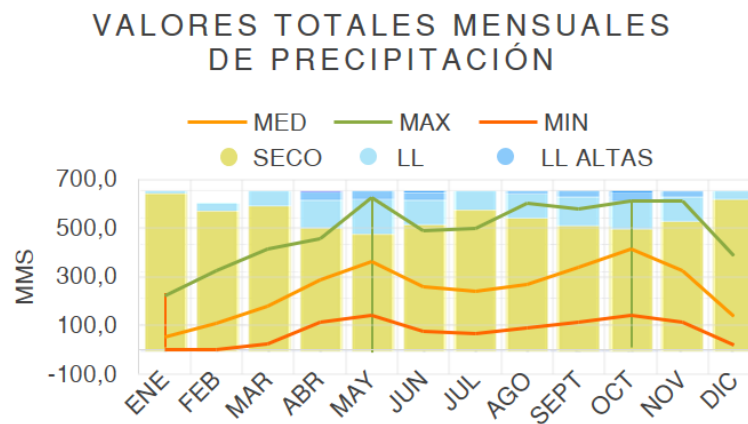


Figura 43. Gráfica de valores totales mensuales de precipitación (mms).
Elaboración a partir de la tabla de valores totales mensuales de precipitación (mms) (Ver Tabla 29).

La precipitación son las formas de agua en estado líquido o sólido que caen directamente sobre la superficie terrestre. Las causas que influyen en la distribución de precipitaciones en el planeta son la proximidad al mar, la humedad del aire y las corrientes de aire.

En la interpretación de la gráfica podemos deducir que el mes con menor precipitación según la media es enero con 53,6 mms, y el mes con mayor precipitación según la media es octubre con 413,9 mms. El valor medio anual de precipitación es de 247,4 mms.

Tabla 16. Valores totales mensuales de precipitación (mms).

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mms)													
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1986	53,6	183,6	144,4	284,5	361,3	165,9	65,9	287,3	112,9	271,0	208,9	35,5	2174,8
1987	21,4	126,8	253,6	442,7	276,1	221,5	248,4	258,7	345,1	389,6	115,7	74,1	2773,7
1988	29,8	74,5	21,5	430,0	442,1	397,1	224,2	434,2	459,0	609,8	349,6	121,8	3593,6
1989	28,0	162,2	414,4	215,0	472,1	459,3	262,3	397,9	233,0	529,4	149,7	146,7	3470,0
1990	44,0	3,9	116,1	234,2	177,3	166,2	251,0	90,9	377,1	591,4	353,3	110,5	2515,9
1991	0,0	92,6	135,8	135,2	401,7	205,1	141,5	164,0	340,4	374,1	360,9	48,8	2400,1
1992	23,9	36,6	95,8	159,6	236,6	202,0	147,3	264,5	513,8	448,4	219,6	49,4	2397,5
1993	171,5	52,6	224,4	368,4	624,7	172,2	236,4	357,7	299,7	362,2	313,5	83,2	3266,5
1994	28,3	80,8	254,4	262,9	427,9	97,5	136,4	147,6	388,6	230,0	357,5	77,5	2489,4
1995	3,1	43,3	80,2	406,0	438,5	489,7	491,6	415,5	575,3	283,1	288,2	162,5	3677,0
1996	54,6	325,2	360,9	213,5	204,6	399,8	498,8	291,9	343,5	355,8	327,2	210,9	3586,7
1997	102,7	142,2	25,6	181,6	346,5	302,9	70,7	127,5	435,0	140,7	457,1	17,6	2350,1
1998	1,8	82,1	199,5	275,6	575,6	230,9	202,8	333,5	274,6	495,4	207,6	75,9	2955,3
1999	169,5	270,9	150,2	338,8	208,6	310,8	210,6	309,6	407,7	565,3	192,1	196,3	3330,4
2000	36,2	168,5	75,1	252,8	269,1	256,7	292,0	125,6	579,8	394,0	182,8	127,4	2760,0
2001	118,0	0,0	313,6	239,9	389,1	216,4	239,2	89,2	344,3	350,9	419,2	316,7	3036,5
2002	5,7	55,5	141,4	164,7	278,2	164,7	154,1	198,2	266,6	408,7	565,9	51,6	2455,3
2003	14,8	73,8	148,1	307,4	315,0	449,1	243,4	196,6	189,9	554,0	377,8	238,4	3108,3
2004	0,2	35,2	113,6	158,7	312,5	98,8	219,1	243,7	439,8	533,4	319,7	76,5	2551,2
2005	91,8	85,6	267,6	443,3	415,8	407,5	271,0	133,7	263,6	608,5	423,3	110,6	3522,3
2006	115,2	159,5	215,4	337,6	393,0	290,4	213,6	304,6	252,1	423,6	267,9	180,6	3153,5
2007	42,0	70,9	247,3	458,2	477,3	254,2	208,0	399,9	243,2	486,8	110,8	340,6	3339,2
2008	41,6	187,6	156,7	386,6	612,8	231,5	366,0	551,4	347,9	247,1	610,9	129,8	3869,9
2009	90,6	45,8	264,1	207,8	394,3	350,1	329,0	167,0	139,1	263,2	151,9	161,2	2564,1
2010	18,9	188,8	192,5	270,9	574,9	421,9	472,7	601,3	488,5	524,4	437,8	384,6	4777,2
2011	8,9	93,0	158,5	269,3	338,1	397,0	384,2	212,5	250,0	375,2	471,9	231,8	3190,4
2012	27,9	25,3	129,4	328,7	305,7	153,4	292,6	157,7	240,0	499,9	324,0	50,2	2534,8
2013	1,9	164,5	261,7	371,3	332,5	226,4	68,6	293,5	407,5	248,0	446,8	119,9	2942,6
2014	60,1	259,2	128,0	111,9	142,6	75,1	179,0	184,5	419,5	348,9	293,0	91,4	2293,2
2015	221,0	41,6	161,8	396,6	186,4	79,0	139,1	190,5	281,3	398,3	361,3	69,7	2526,6
2016	33,3	82,9	70,0	289,0	270,7	117,7	180,2	316,5	259,6	520,2	365,7	117,2	2623,0
MED	53,6	110,2	178,1	288,5	361,3	258,4	240,0	266,0	339,3	413,9	323,6	135,8	247,4
MAX	221,0	325,2	414,4	458,2	624,7	489,7	498,8	601,3	579,8	609,8	610,9	384,6	624,7
MIN	0,0	0,0	21,5	111,9	142,6	75,1	65,9	89,2	112,9	140,7	110,8	17,6	0,0

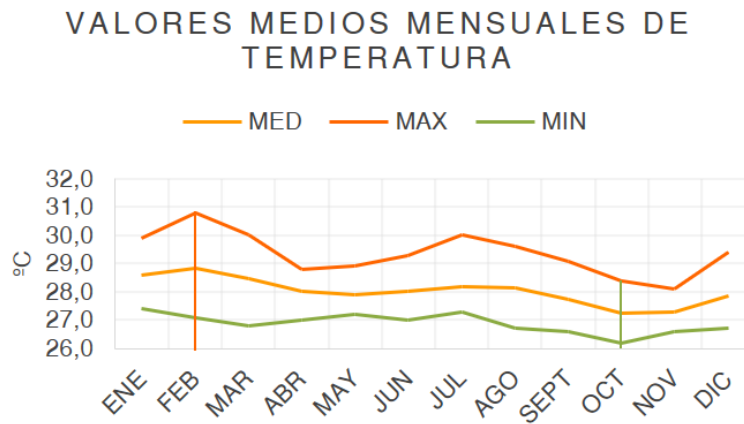
Temperatura media

Figura 44. Gráfica de valores medios mensuales de temperatura (°C).

Elaboración a partir de la tabla de valores medios mensuales de temperatura (°C) (Ver Tabla 30).

La cantidad de energía solar recibida, en cualquier región del planeta, varía con la hora del día, con la estación del año y con la latitud. Estas diferencias de radiación originan las variaciones de temperatura. Por otro lado, la temperatura puede variar debido a la distribución de distintos tipos de superficies y en función de la altura (Sarochar, H., s.f.)

En la interpretación de la gráfica podemos deducir que el mes con menor temperatura media es octubre con 27,2 °C, y el mes con mayor temperatura media es febrero con 28,8 °C. El valor medio anual de temperatura media es de 28,0 °C.

Tabla 17. *Valores medios mensuales de temperatura (°C).*

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													
VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (oC)													
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1986	28,3	27,6	27,9	27,0	27,2	27,5	28,3	28,2	27,8	26,2	26,9	28,2	27,6
1987	28,6	29,3	28,4	28,1	27,7	28,1	28,0	28,1	27,6	26,6	27,6	28,3	28,0
1988	29,2	29,0	29,8	27,9	28,0	27,0	27,6	26,7	26,7	26,9	26,7	26,8	27,7
1989	27,7	28,0	26,8	28,3	27,3	27,4	27,6	27,2	26,9	26,6	27,1	27,3	27,4
1990	28,0	28,4	28,7	27,6	27,9	28,5	27,5	28,2	27,7	26,8	27,0	27,7	27,8
1991	29,3	29,3	28,5	28,3	27,7	28,2	28,2	28,1	27,8	26,8	26,9	27,8	28,1
1992	28,7	29,1	28,9	28,8	28,1	28,3	27,7	27,8	27,2	27,0	27,0	27,6	28,0
1993	27,4	28,3	28,2	27,4	27,2	28,1	27,8	28,2	26,9	27,2	26,6	27,5	27,6
1994	28,0	28,2	27,2	27,5	27,4	27,7	28,3	27,7	27,6	26,8	26,8	27,8	27,6
1995	29,0	29,6	28,4	27,9	27,7	27,5	27,4	27,1	27,7	26,6	27,2	27,4	27,8
1996	27,7	27,7	27,2	27,7	27,3	27,1	27,3	27,5	27,5	26,9	26,9	27,8	27,4
1997	27,4	28,0	28,7	28,3	28,2	27,3	29,3	29,6	27,9	28,3	27,4	29,0	28,3
1998	29,7	29,5	28,8	28,8	28,1	28,2	28,1	27,8	27,5	27,4	27,2	27,1	28,2
1999	27,6	27,1	28,0	27,6	27,8	27,3	27,8	27,3	26,6	26,8	26,9	27,0	27,3
2000	27,7	27,7	27,8	27,8	27,2	27,7	27,8	28,2	26,9	27,4	27,3	27,6	27,6
2001	28,0	29,2	27,7	28,0	27,8	28,6	28,2	29,4	27,5	27,6	27,4	27,4	28,1
2002	29,8	29,9	29,6	27,9	28,7	28,3	28,8	29,3	27,9	27,6	27,8	28,6	28,7
2003	29,6	29,6	28,7	28,3	28,3	27,6	28,2	28,1	28,1	27,0	27,4	27,6	28,2
2004	28,4	30,0	30,0	28,0	28,2	28,8	27,6	28,5	27,7	27,1	28,0	28,3	28,4
2005	28,3	28,5	28,9	28,3	28,3	27,9	28,5	28,1	28,1	27,2	27,0	27,9	28,1
2006	28,1	28,9	28,1	27,3	28,1	27,9	28,7	28,3	28,0	27,4	27,4	28,0	28,0
2007	29,7	29,6	28,0	28,0	27,7	28,2	28,3	27,4	27,8	27,0	27,8	27,5	28,1
2008	28,1	28,3	28,7	27,9	27,5	27,7	27,5	27,2	27,7	27,4	26,8	27,8	27,7
2009	28,3	28,7	27,8	28,3	27,6	27,9	28,7	28,6	29,0	27,8	28,1	28,7	28,3
2010	29,5	29,9	29,1	28,3	28,2	27,9	27,4	27,7	27,1	27,4	26,8	26,7	28,0
2011	28,4	28,2	27,6	27,4	27,8	27,9	27,7	28,2	28,3	26,7	26,8	27,5	27,7
2012	28,4	29,2	28,5	27,5	27,9	28,4	28,5	28,4	28,4	27,5	28,1	28,4	28,3
2013	29,9	29,1	28,7	28,3	28,1	28,4	28,9	28,2	28,0	28,0	27,7	28,6	28,5
2014	28,9	28,7	28,6	28,8	28,2	29,1	30,0	28,9	28,2	27,9	27,7	28,1	28,6
2015	28,8	28,7	29,3	28,4	28,9	29,3	29,8	29,5	29,1	28,4	27,8	29,4	29,0
2016	29,5	30,8	30,0	28,7	28,4	28,6	28,5	28,6	28,1	27,7	27,3	27,9	28,7
MED	28,6	28,8	28,5	28,0	27,9	28,0	28,2	28,1	27,7	27,2	27,3	27,8	28,0
MAX	29,9	30,8	30,0	28,8	28,9	29,3	30,0	29,6	29,1	28,4	28,1	29,4	30,8
MIN	27,4	27,1	26,8	27,0	27,2	27,0	27,3	26,7	26,6	26,2	26,6	26,7	26,2

Termómetro húmedo

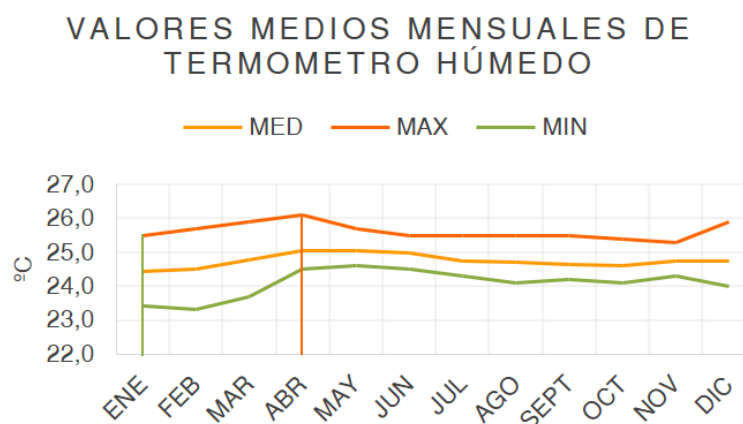


Figura 45. Gráfica de valores medios mensuales de termómetro húmedo (°C).

Elaboración a partir de la tabla de valores totales mensuales de termómetro húmedo (°C) del (Ver Tabla 31).

El termómetro húmedo sirve para medir la temperatura del bulbo húmedo, pero en conjunto con el termómetro seco, puede utilizarse para calcular la humedad relativa del aire, la tensión de vapor de agua y la temperatura del punto rocío.

En la interpretación de la gráfica podemos deducir que el mes con menor termómetro húmedo según la media es enero con 24,4 °C, y el mes con mayor termómetro húmedo según la media es abril con 25,0 °C. El valor medio anual de termómetro húmedo es 24,7 °C.

Tabla 18. *Valores medios mensuales de termómetro húmedo (°C).*

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES														
VALORES MEDIOS MENSUALES DE TERMOMETRO HUMEDO (oC)														
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL	
1986									24,6	24,3	24,7	24,7	24,6	
1987	24,6		25,0	25,3	25,2		25,1						25,0	
1988								24,1	24,4	24,5	24,4	24,0	24,3	
1989	23,9	23,3	23,7	25,0	24,6	24,7	24,4	24,2	24,2	24,4	25,0	24,6	24,3	
1990	25,0	24,5	24,7	25,1	25,2	25,4	24,6	24,6	24,6	24,5	24,6	24,6	24,8	
1991	24,1	24,7	24,9	24,9		25,4	24,9	24,6	25,0	24,5	24,7	24,6	24,8	
1992	24,7	24,8	25,3	25,6	25,4	25,3	24,4	24,6	24,5	24,6	24,7	24,5	24,9	
1993	24,3	24,8	25,0	25,3	25,1	25,3	25,0	25,0	24,7	24,9	24,7	24,9	24,9	
1994	23,8	24,1	24,5	24,8	24,9	24,8	24,6	24,6	24,6	24,3	24,3	24,7	24,5	
1995	24,1	24,0	24,4	24,8	24,9	24,8	24,5	24,4	24,5	24,4	24,8	24,6	24,5	
1996	24,2	24,7	24,8	25,0	24,7	24,7	24,5	24,4	24,5	24,5	24,5	24,5	24,6	
1997	23,8	24,6	24,5	24,9	25,1	24,6	24,8	25,1	24,9	25,4	24,9	25,6	24,9	
1998	25,5	25,7	25,9	26,1	25,6	25,4	25,0	25,0	24,8	24,9	24,8	24,7	25,3	
1999	24,3	24,1	24,6	24,7	24,7	24,6	24,6	24,5	24,4	24,4	24,5	24,3	24,5	
2000	23,4	24,0	24,3	24,7	24,7	24,7	24,6	24,7	24,2	24,7	24,6	24,5	24,4	
2001	24,4	24,0	24,4	25,0	24,7	24,6	24,5	24,9	24,3	24,5	24,7	24,9	24,6	
2002	24,8	24,4	24,6	24,7	25,2	24,5	24,9	24,5	24,6	24,5	24,8	25,1	24,7	
2003	24,8	24,8	24,8	25,0	25,1	24,8	24,6	24,6	24,7	24,6	24,7	24,6	24,8	
2004	23,8	24,1	24,9	24,7	25,0	25,3	24,4	24,9	24,3	24,4	24,8	24,8	24,6	
2005	24,6	24,4	25,2	25,2	25,3	25,1	24,9	24,8	24,8	24,3	24,5	24,4	24,8	
2006	24,3	24,3	24,6	24,6	25,0	24,6	24,8	24,8	24,6	24,6	24,6	24,8	24,6	
2007	24,9	24,1	24,5	24,9	24,8	24,8	24,5	24,5	24,5	24,1	24,7	24,1	24,5	
2008	23,9	23,9	24,1	24,6	24,6	24,7	24,3	24,2	24,4	24,3	24,6	24,1	24,3	
2009	24,2	24,2	24,3	24,9	24,6	24,8	24,9	25,0	25,1	24,8	25,1	25,0	24,7	
2010	24,8	25,5	25,7	25,4	25,5	25,0	24,6	24,7	24,5	24,6	24,3	24,2	24,9	
2011	24,2	24,0	24,1	24,5	24,9	24,8	24,6	25,1	24,8	24,2	24,6	24,8	24,6	
2012	24,4	24,0	24,4	24,6	25,0	25,0	25,1	24,8	24,9	24,8	25,3	25,2	24,8	
2013	24,8	25,0	25,6	25,5	25,3	25,1	25,0	24,8	24,8	24,8	24,7	24,8	25,0	
2014	24,9	25,1	25,2	25,5	25,2	25,5	25,5	24,7	24,8	24,7	25,0	25,0	25,1	
2015	24,7	25,0	25,0	25,2	25,5	25,5	25,3	25,5	25,5	25,2	25,1	25,9	25,3	
2016	25,2	25,6	25,9	25,6	25,7	25,4	24,9	25,1	25,1	25,1	25,1	25,3	25,3	
MED	24,4	24,5	24,8	25,0	25,1	25,0	24,8	24,7	24,7	24,6	24,7	24,7	24,7	
MAX	25,5	25,7	25,9	26,1	25,7	25,5	25,5	25,5	25,5	25,4	25,3	25,9	26,1	
MIN	23,4	23,3	23,7	24,5	24,6	24,5	24,3	24,1	24,2	24,1	24,3	24,0	23,3	

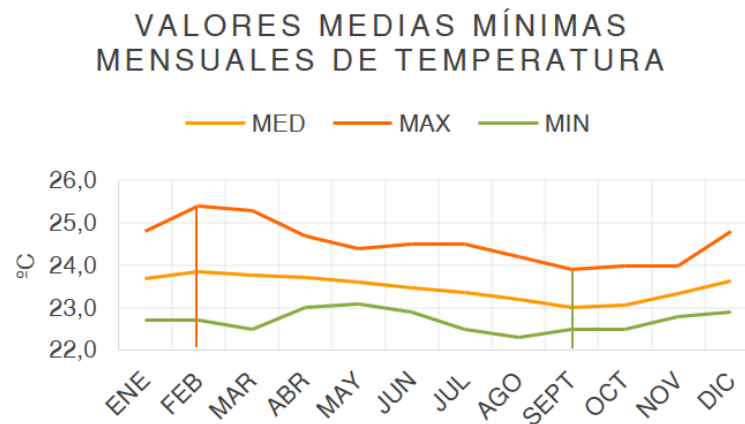
Temperatura media mínima

Figura 46. Gráfica de valores medias mínimas mensuales de temperatura (°C).

Elaboración a partir de la tabla de valores medias mínimas mensuales de temperatura (°C) (Ver Tabla 32).

“La temperatura mínima es la menor temperatura registrada en un día, y se puede observar en entre las 06:00 y las 08:00 horas.” (Sarochar, H., s.f.)

En la interpretación de la gráfica podemos deducir que el mes con menor temperatura media mínima es septiembre con 23,0 °C, y el mes con mayor temperatura media mínima es febrero con 23,9 °C. El valor medio anual de temperatura media mínima es de 23,5 °C.

Tabla 19. Valores medios mínimos mensuales de temperatura (°C).

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													
VALORES MEDIA-MINI MENSUALES DE TEMPERATURA (oC)													
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
1986	23,8	22,8	23,0	23,3	23,1	23,4	23,4	23,1	23,0	22,7	23,0	23,6	23,2
1987	24,0	24,1	23,7	24,0	23,8	24,3	23,9	23,6	23,5	23,4	24,0	23,9	23,9
1988	24,0	24,3	24,5	23,7	23,4	22,9		22,6	22,9	23,0	23,1	23,1	23,4
1989	23,1	22,7	22,5	23,8	23,1	23,2	22,9	22,3	22,6	22,5	23,4	23,1	22,9
1990	23,5	23,7	23,8	23,7	23,8	23,8	23,1	23,6	22,5	22,7	23,0	23,6	23,4
1991	23,8	24,0	23,8	23,5	23,8	23,9	23,4	23,6	23,2	22,7	23,1	23,5	23,5
1992	23,9	23,8	24,3	24,3	23,7	23,9	23,0	22,8	22,6	23,0	23,0	23,3	23,5
1993	23,3	23,6	23,3	23,3	23,4	23,6	23,4	23,0	22,5	22,9	23,2	23,4	23,2
1994	23,0	23,3	23,1	23,2	23,5	23,0	23,3	22,9	22,8	23,0	22,9	23,9	23,2
1995	23,5	24,0	23,9	23,5	23,4	23,1	22,9	22,7	22,7	22,9	23,2	23,3	23,3
1996	23,0	23,1	23,3	23,4	23,1	22,9	22,5	22,5	22,5	22,7	22,8	22,9	22,9
1997	22,7	23,6	24,0	23,6	23,5	22,9	24,2	23,9	23,1	24,0	23,3	24,7	23,6
1998	24,8	25,2	24,7	24,7	24,3	23,9	23,3	23,5	23,4	23,3	23,5	23,4	24,0
1999	23,3	23,2	23,5	23,4	23,1	23,1	22,9	22,8	22,5	22,5	23,1	23,0	23,0
2000	22,7	23,1	23,2	23,2	23,2	23,2	23,1	23,3	22,5	22,8	23,4	23,2	23,1
2001	23,2	23,9	23,4	24,0	23,5	23,5	23,2	24,0	23,0	23,3	23,6	24,0	23,6
2002	24,3	24,3	24,1	23,7	24,1	23,7	24,0	23,9	23,2	23,2	23,5	24,2	23,9
2003	24,5	24,6	24,0	23,6	23,6	23,1	23,1	23,2	23,2	23,3	23,4	23,6	23,6
2004	22,7	23,8	24,1	23,7	23,6	23,6	22,6	23,5	22,8	23,1	23,6	24,0	23,4
2005	24,0	24,5	24,4	24,2	24,0	23,5	23,4	23,4	23,4	22,9	23,5	23,3	23,7
2006	23,4	23,8	23,8	23,4	23,6	23,3	24,0	23,4	23,2	23,3	23,4	23,9	23,5
2007	24,7	24,0	23,8	23,5	23,5	23,6	23,3	22,7	23,1	22,8	23,8	23,1	23,5
2008	23,2	23,3	23,2	23,3	23,3	23,3	22,9	22,8	22,9	23,1	23,4	23,4	23,2
2009	23,6	23,7	23,5	24,2	23,4	23,4	23,9	23,6	23,9	23,7	24,0	24,4	23,8
2010	24,3	25,3	24,6	24,3	23,8	23,5	23,1	22,8	22,9	23,1	23,2	23,0	23,7
2011	23,7	23,3	23,0	23,1	23,7	23,2	23,0	22,8	23,1	22,6	23,0	23,5	23,2
2012	23,6	23,6	23,1	23,0	23,1	23,2	23,3	23,0	23,0	23,0	23,7	23,8	23,3
2013	24,6	23,9	23,9	23,8	23,8	23,4	23,7	23,0	23,0	23,0	23,0	23,4	23,5
2014	24,1	23,7	23,8	24,4	23,8	23,9	24,5	23,1	23,0	23,1	23,3	24,1	23,7
2015	23,7	24,2	24,5	23,9	24,1	24,5	24,2	24,2	23,9	23,7	23,7	24,8	24,1
2016	24,7	25,4	25,3	24,3	24,4	24,0	23,5	23,4	23,5	23,3	23,5	24,0	24,1
MED	23,7	23,9	23,8	23,7	23,6	23,5	23,4	23,2	23,0	23,1	23,3	23,6	23,5
MAX	24,8	25,4	25,3	24,7	24,4	24,5	24,5	24,2	23,9	24,0	24,0	24,8	25,4
MIN	22,7	22,7	22,5	23,0	23,1	22,9	22,5	22,3	22,5	22,5	22,8	22,9	22,3

Temperatura media máxima

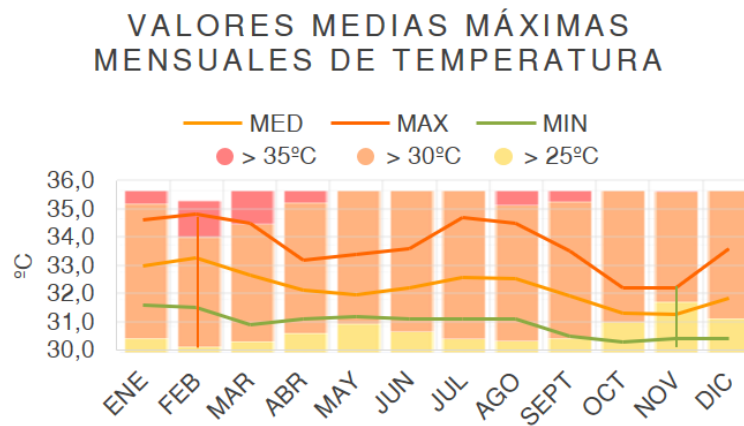


Figura 47. Gráfica de valores medias máximas mensuales de temperatura (°C).

Elaboración a partir de la tabla de valores medias máximas mensuales de temperatura (°C) (Ver Tabla 33).

“La temperatura máxima es la mayor temperatura registrada en un día, y que se presenta entre las 14:00 y las 16:00 horas.” (Sarochar, H., s.f.)

En la interpretación de la gráfica podemos deducir que los meses con menor temperatura media máxima son octubre y noviembre con 31,3 °C, y el mes con mayor temperatura media máxima es febrero con 33,2 °C. El valor medio anual de temperatura media máxima es 32,2 °C.

Tabla 20. *Valores medios máximos mensuales de temperatura (°C).*

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES														
VALORES MEDIA-MAXI MENSUALES DE TEMPERATURA (oC)														
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL	
1986	33,0	32,5	32,1	31,1	31,2	31,9	33,1	32,9	32,0	30,3	31,2	32,5	32,0	
1987	33,1	33,6	32,4	32,0	32,1	32,4	32,4	32,5	31,7	30,6	32,2	32,5	32,3	
1988	34,1	33,2	34,5	31,9	32,2	31,5		31,2	30,9	31,2	30,9	31,1	32,1	
1989	32,1	32,7	30,9	32,5	31,6	31,8	32,3	31,7	31,5	31,0	31,7	31,6	31,8	
1990	32,4	33,0	33,7	31,6	32,4	32,6	32,1	33,0	32,2	31,0	31,2	32,0	32,3	
1991	34,4	33,8	32,8	32,8	32,3	32,4	32,7	32,7	32,1	31,0	30,9	31,8	32,5	
1992	33,3	33,8	33,0	33,0	32,1	32,6	32,4	32,3	31,6	31,4	31,1	31,9	32,4	
1993	31,6	32,7	32,7	31,7	31,2	32,6	32,5	32,8	31,3	31,6	30,7	31,7	31,9	
1994	32,6	32,8	30,9	31,6	31,6	32,0	32,9	32,4	32,0	31,1	30,8	31,9	31,9	
1995	33,5	34,4	32,6	31,9	31,6	31,6	31,6	31,4	32,0	30,6	31,0	31,4	32,0	
1996	31,8	31,7	31,2	31,7	31,4	31,1	31,8	32,0	31,7	31,1	31,2	31,7	31,5	
1997	32,2	32,5	33,4	33,2	32,6	31,3	33,9	34,5	31,7	32,2	31,0	33,1	32,6	
1998	34,6	33,5	32,8	32,4	31,5	31,9	32,1	31,6	31,6	31,4	30,8	31,2	32,1	
1999	32,0	31,5	32,1	31,6	31,9	31,3	32,1	31,1	30,5	30,7	30,8	30,6	31,4	
2000	32,0	31,9	31,8	31,7	31,4	32,0	31,9	32,3	31,0	31,6	31,2	31,7	31,7	
2001	32,2	34,1	32,8	32,6	32,4	33,1	32,7	34,1	31,7	31,7	31,5	31,1	32,5	
2002	33,4	33,7	33,5	31,7	32,5	32,4	33,0	33,9	32,0	31,5	32,1	32,3	32,7	
2003	34,0	33,9	32,4	32,1	32,3	31,4	32,1	32,2	31,9	30,5	31,0	31,1	32,1	
2004	32,3	34,3	34,4	32,1	32,0	33,0	31,7	32,8	31,2	31,1	31,7	32,0	32,4	
2005	32,4	32,3	32,9	32,2	32,2	32,1	32,7	32,3	32,3	31,1	30,8	31,7	32,1	
2006	32,0	33,2	32,2	31,3	32,0	31,9	33,0	32,4	32,2	31,5	31,3	31,8	32,1	
2007	34,1	34,4	32,2	32,0	31,6	32,4	32,7	31,6	32,2	31,2	32,0	31,5	32,3	
2008	32,2	32,9	32,4	32,1	31,5	31,8	31,6	31,6	32,1	31,4	30,5	31,8	31,8	
2009	32,4	33,2	32,0	32,3	31,7	31,8	33,1	32,8	33,3	31,9	32,1	32,5	32,4	
2010	33,8	34,3	33,2	32,4	32,2	32,0	31,1	31,5	30,9	31,3	30,5	30,4	32,0	
2011	32,6	32,4	31,5	31,7	31,8	31,9	31,9	32,4	32,4	30,6	30,4	31,2	31,7	
2012	32,7	34,0	33,1	31,7	32,1	32,7	32,9	33,1	33,2	31,7	32,2	32,5	32,7	
2013	34,4	33,5	32,7	32,3	32,0	32,7	33,4	32,9	32,3	32,1	31,6	32,5	32,7	
2014	33,5	33,1	32,7	33,0	32,4	33,6	34,7	33,6	32,6	31,9	31,7	32,3	32,9	
2015	33,3	33,0	33,7	32,8	33,4	33,5	33,9	34,3	33,5	32,2	31,6	33,6	33,2	
2016	34,0	34,8	34,3	32,9	32,1	33,1	33,3	33,2	32,2	32,0	31,3	32,2	33,0	
MED	33,0	33,2	32,7	32,1	32,0	32,2	32,6	32,6	31,9	31,3	31,3	31,8	32,2	
MAX	34,6	34,8	34,5	33,2	33,4	33,6	34,7	34,5	33,5	32,2	32,2	33,6	34,8	
MIN	31,6	31,5	30,9	31,1	31,2	31,1	31,1	31,1	30,5	30,3	30,4	30,4	30,3	

6.2. Identificación de estrategias bioclimáticas

Como se menciona en el Capítulo 4.1.2, Arquitectura para clima cálido húmedo, del presente documento, la principales preocupaciones para las edificaciones ubicadas en este clima, consisten en proporcionar una ventilación efectiva y evitar que la envolvente se caliente, añadiéndole además promedios elevados de humedad, que incrementan la sensación de calor y que sólo puede ser evitada mediante una ventilación muy intensa.

Por lo tanto, basándose en el análisis de la arquitectura popular para clima cálido húmedo, Heywood (2012) señala que las dos estrategias básicas consisten en la protección de la radiación solar y la ventilación, mencionando algunas acciones referentes como son grandes voladizos, celosías para proteger grandes aberturas, colores claros en la fachada, entre otros.

Así mismo, durante el análisis de los referentes arquitectónicos se identificaron diversas estrategias preventivas; como son la orientación, muros dobles, cubierta radiante y vegetativa, y el uso de techados y aleros, como también estrategias de eliminación; ventilación cruzada por vanos permanentes en planta y en alzado, así como muros calados para mayor permeabilidad.

Sin embargo, con el fin de definir las estrategias más idóneas que favorecerán las condiciones actuales del edificio y serán el complemento bioclimático al momento de diseñar la nueva propuesta arquitectónica, se lleva a cabo un análisis psicométrico, por medio del Climograma de Givoni, y su correspondiente cálculo para hallar la nueva temperatura de bienestar que corresponda con los principios del confort adaptativo.

De igual manera, se hará uso de la herramienta Climate Consultant con el fin de comparar los resultados del Climograma de Givoni, y su nueva zona de confort adaptada, con la carta psicométrica de confort adaptativo bajo los estándares del ASHRAE Handbook (2005), que además brinda diversas recomendaciones por medio del catálogo Palette 2030.

6.2.1. Climograma de Givoni

Para llevar a cabo el desarrollo del Climograma se requieren los datos de un año tipo para la temperatura media y la humedad relativa media del sitio. Una vez identificados los rangos mensuales en el Climograma, se podrán identificar las estrategias bioclimáticas generales que serán comparadas con las estrategias identificadas más adelante con la carta psicométrica de confort adaptativo de Climate Consultant. Estas a su vez podrán ser complementadas con las estrategias arquitectónicas de diseño bioclimático en condiciones de verano, o según la clasificación climática del sitio, que plantea Javier Neila (2004) en su libro *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*.

Los datos climatológicos de temperatura media y humedad relativa que se utilizarán en el Climograma de Givoni se exponen en la Tabla 34. Cada mes se encuentra identificado con un color diferente, que permite diferenciar su ubicación a través de la carta psicométrica.

Tabla 21. *Datos medios de temperatura mínima y máxima, y humedad relativa mínima y máxima.*

	MES/FACT	T MIN	T MAX	HR MIN	HR MAX
	Enero	22,2	34,9	67,0	80,0
	Febrero	22,2	35,6	64,0	82,0
	Marzo	22,1	35,4	68,0	85,0
	Abril	22,0	35,1	77,0	87,0
	Mayo	21,9	34,5	77,0	88,0
	Junio	21,8	34,8	74,0	84,0
	Julio	21,8	35,1	70,0	82,0
	Agosto	21,7	35,0	70,0	83,0
	Septiembre	21,3	34,4	74,0	86,0
	Octubre	21,5	33,9	79,0	87,0
	Noviembre	21,7	33,5	79,0	88,0
	Diciembre	22,0	33,7	76,0	83,0

Nota: Los datos que conforman la tabla están basados en la temperatura media máxima, temperatura media mínima y humedad relativa media de Barrancabermeja, Santander.

El Climograma se encuentra dividido en 14 zonas (Ver Figura 35) que a su vez definen las estrategias bioclimáticas a implementar según la ubicación de los datos climatológicos en la carta psicrométrica. Según el análisis del Climograma de Givoni sobre las líneas mensuales graficadas, el clima de Barrancabermeja se encuentra por fuera de la zona de confort, siendo las estrategias a implementar en la propuesta: Refrigeración por ventilación natural y mecánica, deshumidificación convencional y protección solar.

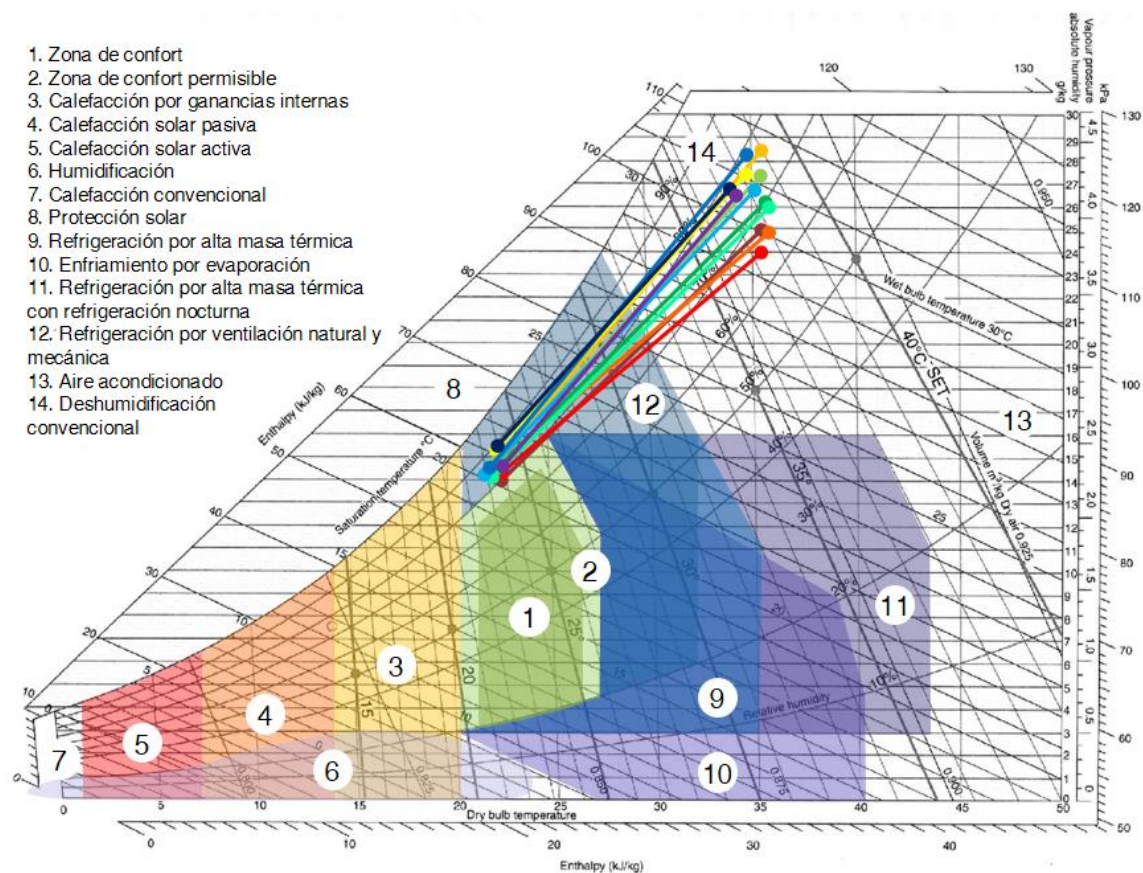


Figura 48. Climograma de Givoni con las estrategias bioclimáticas correspondientes para el clima de Barrancabermeja, Santander.

Adaptado de la Carta Psicométrica de Szokolay (2001).

6.2.2. Diagrama de confort ASHRAE-KSU

En el año 1974, un grupo de trabajo de la Universidad del Estado de Kansas (KSU) definió una nueva temperatura efectiva para delimitar el confort, proponiendo un nuevo diagrama denominado ASHRAE-KSU. Este diagrama tiene la estructura clásica de un diagrama psicométrico en el que se encuentra definida una zona de confort y las líneas de temperatura efectiva constante. Este diagrama está calculado para una velocidad del aire menor de 0,2286 m/s, un arropamiento entre 0,4 y 0,6 clo, y un grado de actividad que está entre 1,0 y 1,2 met. (Neila, J., 2004, pp. 241)

Según Neila (2004) mientras el confort higrotérmico solo admite una pequeña fluctuación de la temperatura, únicamente 3°C de temperatura efectiva y unos 5°C de temperatura seca, la humedad tiene una mayor afectación en el organismo y solo resulta inconfortable con valores extremos; sus límites son el 22 y el 73% para humedad relativa.

Éstos márgenes de confort no son sólo consecuencia de la distinta adaptación y comportamiento de los organismos, sino también de la época del año o su cercanía al Ecuador. Esto como consecuencia a la mayor temperatura a la que está acostumbrada la gente a vivir cuanto más cerca se encuentran de la franja ecuatorial. Además, está estadísticamente comprobado que el mayor porcentaje de individuos confortables en temporadas de verano se dan ante una temperatura efectiva de 25°C, es decir, temperaturas de bulbo seco medidas en ambientes en calma con un 50% de humedad relativa. (Neila, J., 2004, pp. 242)

Para hallar la temperatura efectiva calculada hay que hacer una serie de correcciones, expuestas en el ejemplo de la Tabla 35, que abarcan la latitud, la altitud, la actividad, la velocidad del viento, el arropamiento y la temperatura media radiante. Esto con el fin de ajustar el rango establecido como zona de confort en el Climograma tradicional, para ajustarlo a las condiciones climáticas de un lugar en específico.

	Datos del diagrama	Datos del local	Correcciones
Arropamiento	Nivel 1 (0,4-0,6 clo)	Nivel 2	- 3,0°C
Latitud	42° Norte	40° Norte	+0,2°C
Altitud	Nivel del mar	667 m	- 1,3°C
Actividad	1 met	1,2 met	- 0,2°C
Velocidad del aire ⁴²	0,2 m/s	0,3 m/s	+0,5°C
Temperatura media radiante	T _{mr} = T _s	T _s - T _{mr} = 2°C	+1,0°C
		Total	- 2,8°C

Figura 49. Ejemplo de corrección de la nueva temperatura efectiva de confort del diagrama ASHRAE-KSU.

Nota: 42. Para introducir la velocidad del aire del local, se pueden tomar las siguientes cifras de referencia:

Local con convección natural (acondicionado con radiadores): 0,05 m/s

Local con aire acondicionado: 0,25 m/s

Ventilación a través de una ventana abierta: 0,50 m/s

Local con un sistema pasivo de ventilación/refrigeración: 1,00 m/s

Adaptado de Neila, J., 2004, pp. 242.

PARTE DEL CUERPO EMPLEADA EN LA REALIZACIÓN DEL TRABAJO		SUMANDO ADICIONAL (W/m²)	
		Medio	Rango
Trabajo realizado con las manos	Ligero	15	<20
	Medio	30	20...35
	Pesado	40	>35
Trabajo para el que sólo se precisa el empleo de un brazo	Ligero	35	<45
	Medio	55	45...65
	Pesado	75	>65
Trabajo para el que es imprescindible el uso de ambos brazos	Ligero	65	<75
	Medio	85	75...95
	Pesado	105	>95
Trabajo para el que se precisa el uso de todo el cuerpo	Ligero	125	<155
	Medio	190	155...230
	Pesado	280	230...330
	Muy pesado	390	>330

Figura 50. Velocidad del metabolismo según la ocupación (Sumando adicional dependiente de la parte del cuerpo empleada).

Adaptado de Neila, J., 2004, pp. 231.

POSICIÓN ESTÁTICA DEL CUERPO	SUMANDO ADICIONAL (W/m ²)
Sentado	10
Arrodillado	20
Agachado	20
De pie	25
De pie inclinado	30

Figura 51. Velocidad del metabolismo según la ocupación (Sumando adicional dependiente de la posición estática del cuerpo).

Adaptado de Neila, J., 2004, pp. 231.

TIPOS DE MOVIMIENTO DEL CUERPO (para velocidades entre 0,9 y 1,1 m/s) ³⁶		SUMANDO ADICIONAL (W/m ²)
Caminando en plano horizontal		110
Ascendiendo en plano inclinado	Inclinación de 5°	210
	Inclinación de 10°	360
Descendiendo en plano inclinado	Inclinación de 5°	85
	Inclinación de 10°	70
Caminando con carga	10 kg	140
	30 kg	205
	50 kg	315

Figura 52. Velocidad del metabolismo según la ocupación (Sumando adicional dependiente del tiempo y velocidad del movimiento).

Nota: Adaptado de Neila, J., 2004, pp. 232.

El procedimiento de cálculo para llevar a cabo las respectivas correcciones se exponen a continuación (Neila, J., 2004, pp. 242-243):

- Latitud: + 0,1°C por cada grado que disminuye (Límite: 4,2°C ecuador y 4,8°C polo).
- Altitud: + 0,2°C por cada aumento de 100 m (Límite: 5°C).
- Velocidad del metabolismo: - 0,1°C por cada aumento de 0,1 met.
- Velocidad del aire: - 0,5°C por cada aumento de 0,2 m/s (para 1,2 met).
- Arropamiento: - 3°C por cada aumento de 1 Nivel (Ver Tabla 2).

Además, el cálculo para velocidad del metabolismo se desglosa en cuatro valores que son: por metabolismo basal (Ver Tabla 1), por parte del cuerpo empleada (Ver Tabla 36), por posición estática (Ver Tabla 37) y por desplazamiento (Ver Tabla 38).

Tabla 22. *Cálculo de la nueva temperatura efectiva de bienestar para Barrancabermeja, Santander.*

Localidad		Barrancabermeja, Santander, Colombia.							
CONCEPTO	DATOS DEL DIAGRAMA	DATO DEL LOCAL						CORRECCIÓN (°C)	
Latitud	45°	7°						+3,8	
Altitud	Nivel del mar	75 m						-0,1	
	Actividad	Huéspedes	80%	Operarios	15%	Servicios generales	5%		
Velocidad del Metabilismo (met)	1 met	Por metabolismo basal (W/m²)	42,5	34	42,5	6,4	42,5	2,1	-0,27
		Por parte del cuerpo empleada (W/m²)	10	8	15	2,25	65	3,3	
		Por posición estática (W/m²)	10	8	10	1,5	0	0	
		Por desplazamiento (W/m²)	0	0	0	0	110	5,5	
		TOTAL	62,5	50	67,5	10,1	217,5	10,9	
		MEDIA PROMEDIO (W/m2)	71,0						
		Superficie corporal (m²)	1,7						
		TOTAL (W)	127,1						
		TOTAL (met)	1,27						
Velocidad del aire (m/s)	0,2 m/s	1,2 met = -0,5°C / 2,3 met = -0,75°C / 3,5 met = -1,0°C						-0,5	
		1,2 met = -0,5°C							
Arropamiento (Nivel)	Nivel 1 = 0,4 – 0,6 clo	Bragas/calzoncillos (0,03) + Calcetines normales (0,02) + Camisa manga corta (0,15) + Pantalones normales (0,25) + Zapatos de suela gruesa (0,04) = 0,49 clo (Nivel 1)						0	
CONCLUSIONES							TOTAL	+2,93	
Humedad relativa de bienestar del diagrama: HR = 50%		Temperatura efectiva de bienestar del diagrama:						25°C	
HR 20% = +0,2°C / HR 50% = 0°C / HR 70% = -0,2°C		Temperatura efectiva de bienestar local:						27,93°C	
Humedad relativa de bienestar: HR 78% = -0,2°C		Corrección de temperatura efectiva de bienestar según la HR:						27,73°C	

Nota: Datos tomados de las tablas de velocidad del metabolismo. Adaptado de Neila, J., 2004, pp. 242-244.

La corrección por temperatura media radiante no se lleva a cabo en este ejercicio debido a la ausencia de información requerida para el cálculo. Según las correcciones finales calculadas en la Tabla 39 para la temperatura efectiva de bienestar local, la zona de confort en el Climograma deberá modificarse $+2,73^{\circ}\text{C}$ hacia la derecha. Esta corrección se lleva a cabo con el fin de tener en cuenta la temperatura a la que están acostumbradas las personas a vivir en clima cálido húmedo y hacer más accesible la zona de confort a la que debe acercarse el nuevo diseño.

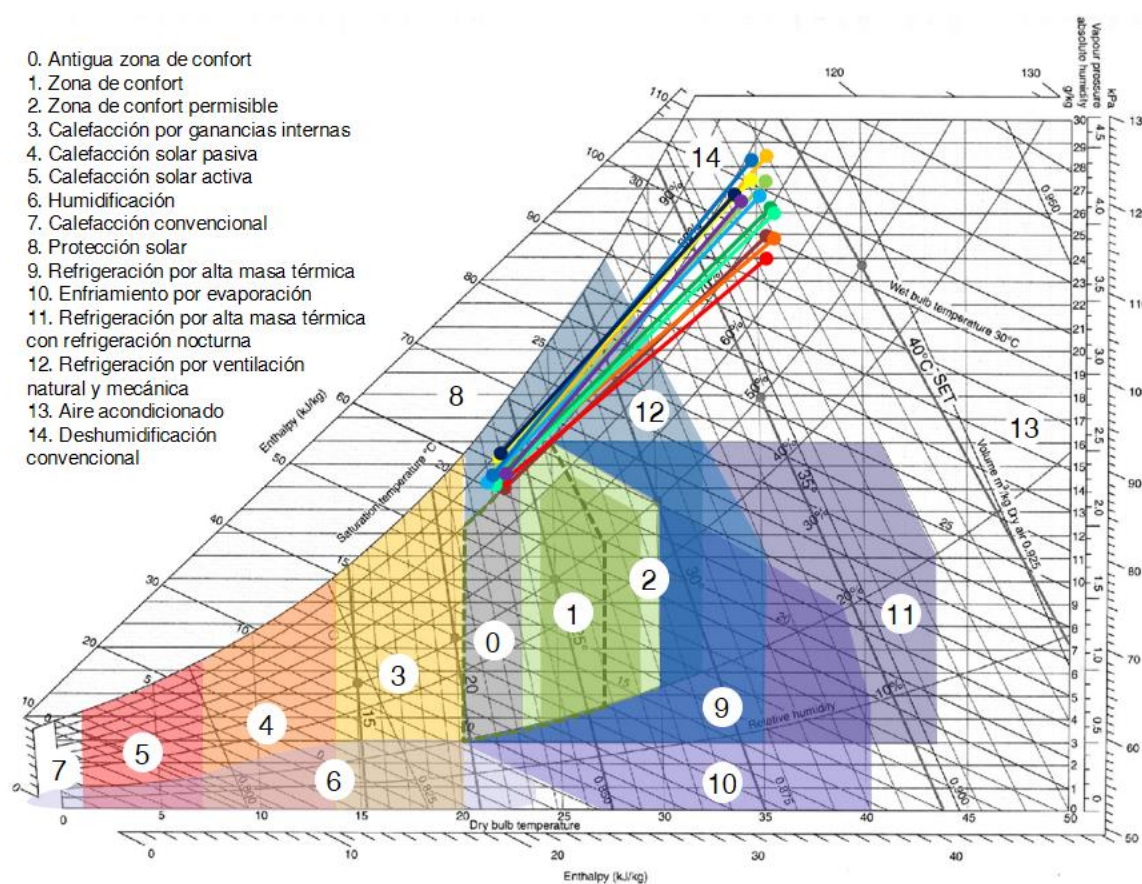


Figura 53. Climograma de Givoni con la temperatura efectiva de bienestar modificada y las estrategias bioclimáticas correspondientes para el clima de Barrancabermeja, Santander.

Adaptado de la Carta Psicométrica de Szokolay (2001).

6.2.3. Diagrama psicométrico de Climate Consultant

Climate Consultant tiene como objetivo ofrecer una variedad de gráficas de datos climáticos por hora para una ubicación elegida, con el fin de visualizar los patrones generales y detalles que caracterizan cada clima y que, de lo contrario, se perderían en las tablas comunes de números.

El archivo de los datos del clima del lugar debe ser subido al programa en formato EPW (Energy Plus Weather) y se puede descargar del sitio EnergyPlus del Departamento de Energía de los EE. UU. En este caso particular, el archivo fue creado en el Software Elements a partir de los datos brindados por el IDEAM. Esta herramienta busca traducir las condiciones exteriores al confort interior, por lo que hace suposiciones generales sobre el diseño del edificio.

Al iniciar el programa se debe seleccionar uno de los cuatro modelos de confort. Cada uno tiene sus propios criterios y modifica la forma en que se muestra el confort en el Diagrama Psicrométrico y otros gráficos. La forma de la Zona de Confort y de las 15 Zonas de Estrategias de Diseño Pasivo se mantienen actualizadas para cumplir con los criterios de confort más recientes, así como cualquier criterio modificado por el usuario. Los modelos son los siguientes:

- Modelo de Confort del Código de Energía de California, 2013 (POR DEFECTO).
- Norma ASHRAE 55 y Manual actual de modelos fundamentales.
- Manual de ASHRAE de Fundamentos del Modelo de Confort hasta el 2005.
- Modelo de confort adaptativo en el estándar ASHRAE 55-2010.

Dependiendo de los datos climáticos y del conjunto de Estrategias de diseño pasivo seleccionadas en el Cuadro psicrométrico, Climate Consultant elabora una lista de Pautas de diseño. Si está diseñando un edificio residencial, cada guía se acompaña de un boceto gráfico para ilustrar la aplicación de esta guía. Si está diseñando un edificio pequeño no residencial, muchas de las pautas tienen enlaces a la Paleta 2030 (2030palette.org) para obtener ejemplos e

información de apoyo. El Modelo de Confort seleccionado para el caso de estudio es el Modelo de confort adaptativo en el estándar ASHRAE 55-2010, cuya morfología de su Zona de Confort y de las 15 Zonas de Estrategias de Diseño Pasivo se muestran a continuación:

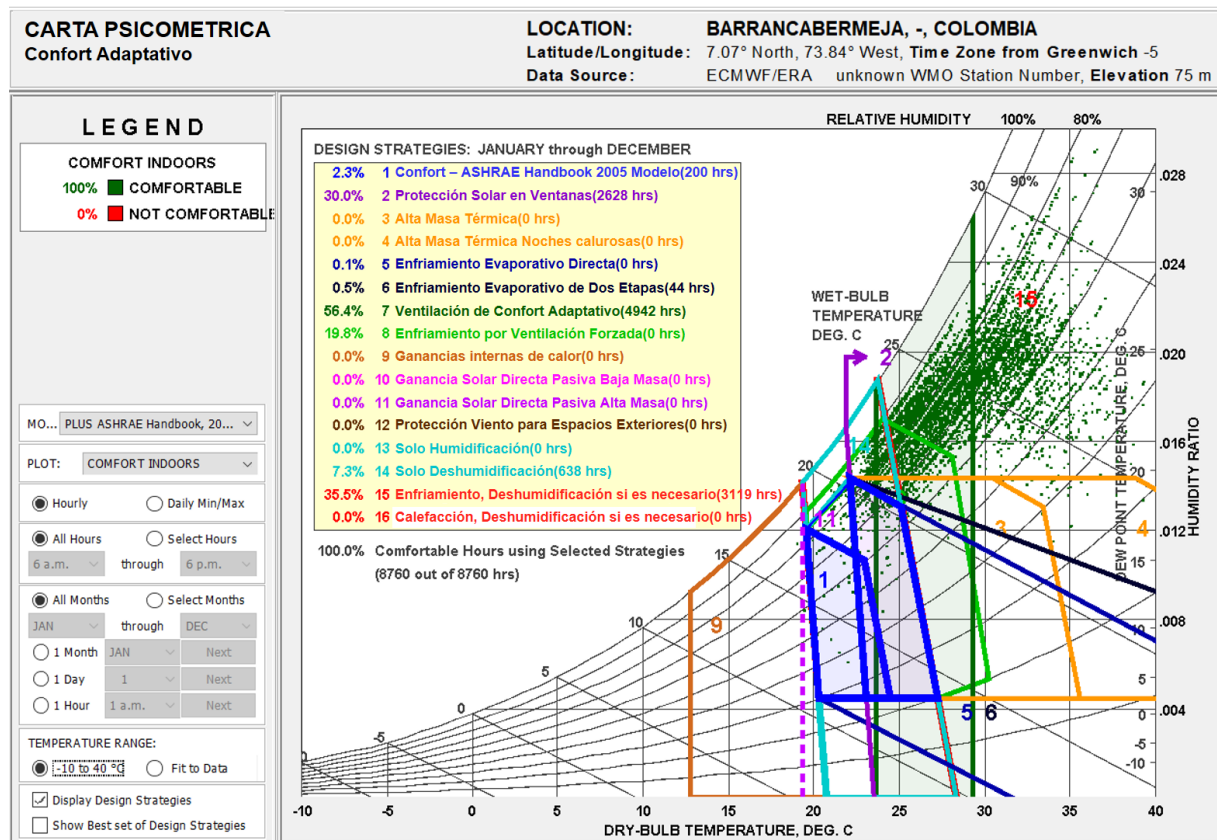


Figura 54. Diagrama Psicométrico de Confort Adaptativo con todas las Estrategias de Diseño promediadas para el clima de Barrancabermeja, Santander.

Elaborado a partir de Climate Consultant 6.

La importancia de cada estrategia está dada por la cantidad de horas en las cuales se mantenga la condición climática adversa, si así se desea, Climate Consultant puede determinar el mejor conjunto de Estrategias de diseño pasivo que se muestran en el Cuadro psicrométrico para el sitio seleccionado (Ver Figura 38).

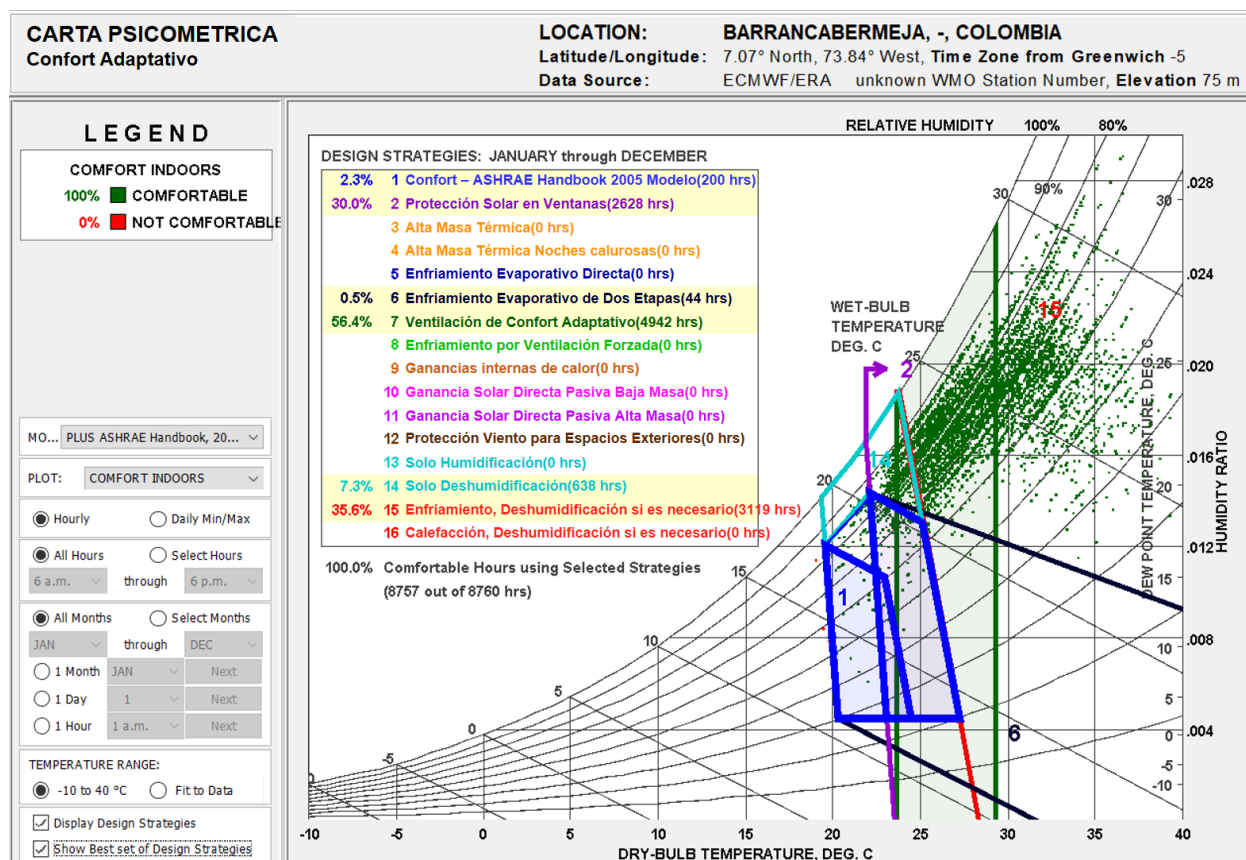


Figura 55. Diagrama Psicométrico de Confort Adaptativo con las principales Estrategias de Diseño seleccionadas, promediadas para el clima de Barrancabermeja, Santander.

Elaborado a partir de Climate Consultant 6.

Las principales estrategias definidas por la Carta Psicométrica de Climate Consultant para Confort Adaptativo más el ASHRAE Handbook 2005, en orden de relevancia, fueron:

- 7: Ventilación de Confort Adaptativo, mínimo 1 m/s (56.4%)
- 15: Enfriamiento mecánico, Deshumidificación si es necesario (35.5%)
- 2: Protección Solar de Ventanas (30.0%)
- 14: Solo Deshumidificación (7.3%)
- 6: Enfriamiento Evaporativo de Dos Etapas (0.5%)

6.2.4. Estrategias bioclimáticas Palette 2030

Como se puede apreciar en la Figura 38, las estrategias seleccionadas por Climate Consultant son las mismas estrategias que se identificaron anteriormente en el Climograma de Givoni, de forma más desaglomerada y por promedios en orden de relevancia para este clima en particular. La lista de pautas de diseño seleccionadas por Climate Consultant para edificio pequeño no residencial, con sus respectivas referencias para 2030 Palette³, se presentan a continuación:

Tabla 23. *Lista de Pautas de Diseño para Edificios No Residenciales en Barrancabermeja, Stder.*

Estrategia	Recomendación
Ventilación Cruzada (2030 Palette, s.f.)	35. Una buena ventilación natural puede reducir o eliminar el aire acondicionado en climas cálidos, si las ventanas están bien sombreadas y orientadas a las brisas prevalecientes.
	33. El plano de construcción largo y estrecho puede ayudar a maximizar la ventilación cruzada en climas templados y cálido-húmedos.
	36. Para facilitar la ventilación cruzada, ubique las aberturas de puertas y ventanas en los lados opuestos del edificio con aberturas más grandes mirando hacia el viento si es posible.
	47. Use los interiores de planta abierta para promover la ventilación cruzada natural, o use puertas con persianas, o en su lugar use ductos de salto si se requiere privacidad.
Forma para Enfriamiento (2030 Palette, s.f.)	68. Los edificios que responden al clima en climas cálidos y húmedos utilizan una construcción liviana con paredes que se pueden abrir y áreas al aire libre sombreadas, elevadas sobre el suelo.
	32. Minimice o elimine el acristalamiento orientado al oeste para reducir la ganancia de calor en las tardes de verano y otoño.
	59. En este clima, el aire acondicionado siempre será necesario, pero se puede reducir considerablemente si el diseño del edificio minimiza el sobrecalentamiento.
	25. En climas húmedos, los techos inclinados y bien ventilados funcionan bien para proteger de la lluvia y pueden extenderse para proteger entradas, porches exteriores y áreas de trabajo al aire libre.
Sombreado: Fachada Solar (2030 Palette, s.f.)	65. Los edificios sensibles al clima en climas cálidos y húmedos usaban techos altos y ventanas altas y operables (francesas) protegidas por profundos voladizos y verandas.
	37. Los aleros de la ventana (diseñados para esta latitud) o las sombrillas operables (toldos que se extienden en verano) pueden reducir o eliminar el aire acondicionado.
	53. Las zonas de amortiguación al aire libre con sombra (porche, patio, lanai) orientadas a las brisas predominantes pueden extender los espacios de ocupación en climas cálidos o húmedos.

³ 2030 Palette (2030palette.com) es una plataforma educativa gratuita que contiene un conjunto de principios, información y recursos (o muestras) para la planificación y el diseño de entornos construidos sostenibles y resistentes.

Continuación de la Tabla 40.

Estrategia	Recomendación
Enfriamiento Vegetativo (2030 Palette, s.f.)	17. Use materiales vegetales (arbustos, árboles, paredes cubiertas de hiedra) especialmente en el oeste para minimizar la ganancia de calor (si las lluvias apoyan el crecimiento del plan nativo).
Ventilación Inducida (2030 Palette, s.f.)	49. Para producir ventilación inducida, incluso cuando la velocidad del viento es baja, maximice la altura vertical entre la entrada y salida de aire (escaleras abiertas, espacios de dos pisos, monitores de techo).
Otras Estrategias: Fachadas (2030 Palette, s.f.)	56. Los patios y las áreas de ocupación protegidas pueden proporcionar un enfriamiento pasivo de confort mediante la ventilación en climas cálidos y pueden prevenir problemas de insectos. 34. Para capturar la ventilación natural, la dirección del viento se puede cambiar hasta 45 grados hacia el edificio mediante paredes laterales exteriores y plantación. 42. En los días calurosos, los ventiladores de techo o el movimiento del aire interior pueden hacer que parezca más frío, a 2.8C o más, por lo que se necesitará menos aire acondicionado. 30. El acristalamiento de alto rendimiento en todas las orientaciones debería resultar rentable (marcos con aislamiento, de baja emisividad) en veranos calurosos o inviernos oscuros nublados.

Nota: Adaptado de Climate Consultant 6.

Esta lista de Pautas de Diseño fueron seleccionadas por Climate Consultant bajo la opción de "Mostrar el mejor set de estrategias de diseño". Así mismo, para crear el mejor edificio pasivo, el Software ha eliminado de las estrategias la refrigeración y la calefacción, ajustando las estrategias restantes para maximizar las horas de confort.

Los edificios de escala comercial, como es el caso, son estructuras más grandes en las que el confort térmico de los ocupantes está dominado por cargas de luces, personas y equipos (predominan las cargas internas). Sin embargo, con estas estrategias se busca maximizar las estrategias pasivas, antes de incurrir a soluciones mecánicas. Los enlaces al Palette 2030 están disponibles para muchas de las pautas de diseño mostradas y se explicarán a continuación.

6.2.4.1. Ventilación Cruzada

Los edificios pueden ser ventilados y/o enfriados aprovechando corrientes de viento naturales. Las aberturas de ventanas orientadas perpendicularmente a los vientos dominantes, acopladas a las aberturas en el lado opuesto de un espacio o edificio, proporcionarán ventilación natural utilizando el aire fresco exterior. Algunas guías para la ventilación cruzada son:

- Orientar las aberturas de entrada del aire de manera perpendicular a (o a un máximo de $\pm 45^\circ$) de los vientos dominantes.
- Localizar las aberturas de salida en el lado opuesto a las aberturas de entrada, asegurándose de que éstas sean iguales o de mayor tamaño que las aberturas de entrada.
- Mantener una trayectoria libre de obstáculos entre las aberturas de entrada y salida para que el flujo de aire sea adecuado.



Figura 56. Izq. Chen House, Casagrande Laboratory. Shanjhih, Taiwan. Der. Simpson-Lee House. Australia.

Adaptado de 2030 Palette, s.f., Ventilación Cruzada.

6.2.4.2. Forma para Enfriamiento

Un edificio alargado en la dirección del eje este-oeste expone las dos fachadas más cortas a la máxima ganancia de calor solar y a las altas temperaturas durante los meses más cálidos.

El propósito es diseñar un edificio que pueda aprovechar los flujos de energía naturales del sitio a fin de minimizar la ganancia de calor solar, permitiendo que las corrientes de aire natural, por medio de una planta arquitectónica estrecha, a través de ventilación cruzada o inducida, enfríen los espacios interiores.

En climas cálidos y húmedos, lo ideal es diseñar techumbres que protejan tanto a las paredes exteriores como a los espacios al aire libre, del agua de lluvia y les den sombra. Además se debe brindar sombra a muros en el este y oeste y a todas las aberturas acristaladas durante el verano – o todo el año en climas cálidos – y que el techo sea de un color claro.



Figura 57. Izq. Secondary School, Kéré Architecture. Dano, Burkina Faso. Der. Malawi School, John MacAslan + Partners. Malawi.

Adaptado de 2030 Palette, s.f., Forma para Enfriamiento.

6.2.4.3. Sombreado: Fachada Solar

Durante los meses cálidos del verano, el uso de aleros o voladizos bloquea la luz solar directa no deseada incidente en las áreas acristaladas solares, reduciendo de esta manera la carga total de enfriamiento. Los aleros o voladizos deben ubicarse encima del área acristalada solar orientada hacia el ecuador. También se pueden utilizar persianas horizontales exteriores.

En climas cálidos (latitudes de menos de 28°) que no requieran ningún tipo de calefacción, se deben extender los aleros, voladizos, techos u otras protecciones solares para cubrir toda la fachada solar y los espacios al aire libre adyacentes.



Figura 58. Izq. EDGE Certified - Bruck Passive House Hotel, Peter Ruge Architekten. Changxing County, Zhejiang Province, China. Der. Clackamas High School, Boora Architects. Clackamas, Oregon, United States.

Adaptado de 2030 Palette, s.f., Sombreado: Fachada Solar.

6.2.4.4. Enfriamiento Vegetativo

Los árboles y la vegetación dan sombra a las edificaciones y superficies, mientras que el agua que se evapora a través de sus hojas reduce la temperatura del aire en la zona vegetada inmediata.

Las temperaturas bajo la sombra de la copa de los árboles pueden reducirse entre 1-5 C° en comparación con las de un terreno abierto, y entre 11-17 C° en comparación con un área de estacionamiento. Se deben ubicar los árboles en patios, áreas de estacionamiento y calzadas, en dirección al este, oeste, noreste, y noroeste para el hemisferio sur.

Se debe ubicar vegetación que cubra los lados y el suelo alrededor de las edificaciones para reducir la temperatura del aire y la cantidad de luz solar reflejada. Si el edificio no cuenta con espacio público suficiente, ubicar pérgolas con vegetación y árboles con una copa alta proporcionan sombra y permiten el flujo del aire.

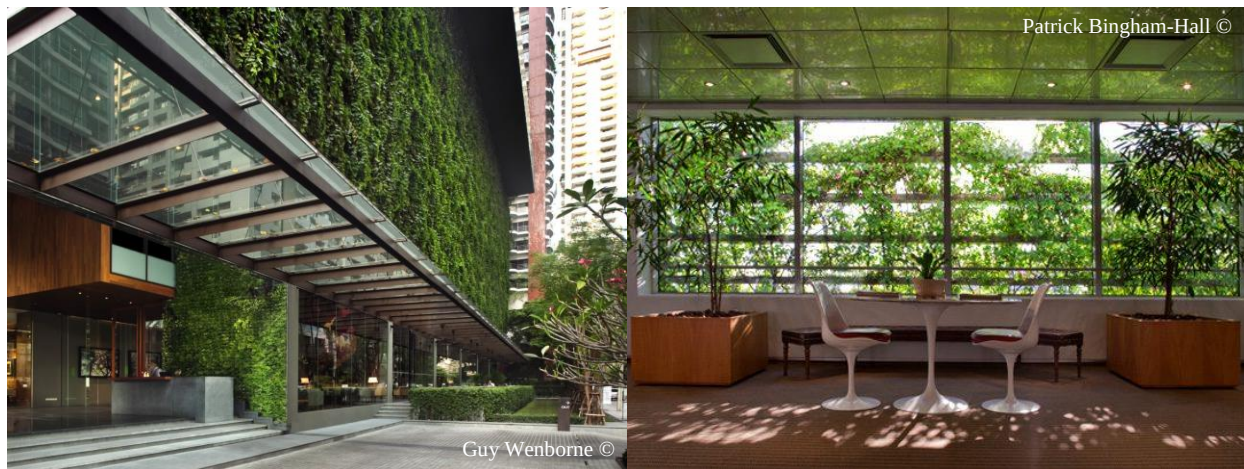


Figura 59. Izq. Hansar Bangkok, WOHA. Lumpini, Bangkok, Thailand. Der. Remodelación de oficinas en la calle de Los Conquistadores, Enrique Browne Y Asociados Arquitectos. Providencia, Santiago, Chile.

Adaptado de 2030 Palette, s.f., Enfriamiento Vegetativo.

6.2.4.5. Ventilación Inducida

El uso de aberturas situadas en la parte baja y alta de un espacio, colocadas en lados opuestos, produce un ‘efecto chimenea’ – el aire caliente del interior escapa a través de las aberturas altas, induciendo la entrada de aire exterior más frío a través de las aberturas bajas.

La fuerza de empuje que se produce cuando el aire experimenta una diferencia de temperatura – por lo menos 1.7 C° de diferencia entre el aire interior y exterior – produce el ‘efecto chimenea’ dentro de un espacio o ducto de ventilación, induciendo una corriente que evacua el aire caliente acumulado dentro del espacio o edificio.

En espacios comerciales debe existir un mínimo de 4.6 metros de separación entre las aberturas. Cuanto más grande sea la separación vertical entre las aberturas, mayor será el movimiento del aire. Las aberturas de entrada se deben localizar por debajo de la altura del torso de los ocupantes – 0.76 m a 1.37 m sobre el nivel de piso acabado.



Figura 60. Izq. Casa de la Ciencia en el Museo de Ciencia de Minnesota, Barbour LaDouceur Design Group. St. Paul, Minnesota, United States. Der. Thomas Eco-House, Designs Northwest Architects. Stanwood, Washington, United States.

Adaptado de 2030 Palette, s.f., Ventilación Inductiva.

6.2.4.6. Otras Estrategias: Fachadas

Una fachada basada en el clima local, es un filtro entre el exterior y el interior, que crea condiciones interiores confortables. Las estrategias de diseño para dichas fachadas, en climas cálidos, incluyen:

- Enfriamiento Pasivo.
- Áreas acristaladas y muros sombreados.
- Ventilación natural.
- Luz solar reflejada.
- Colores exteriores claros.
- Ventanas con doble acristalamiento para la conservación de aire acondicionado.



Figura 61. Izq. Global Change Institute Building, Hassell. Australia. Der. The Australian School of Business, Francis-Jones Morehen Thorp. Australia.
Adaptado de 2030 Palette, s.f., Fachadas.

6.3. Análisis del sitio

En este apartado se hace un análisis del sector donde se encuentra ubicado el edificio. Dicho análisis se lleva a cabo a nivel general y particular de la siguiente manera:

- Análisis general: Desde la norma urbanística se identifican las áreas de actividad, los equipamientos urbanos, el espacio público, el uso del suelo y la edificabilidad.
- Análisis particular: Desde el comportamiento del edificio frente a los predios circundantes en diferentes épocas del año para las simulaciones de sombreadamiento, exposición solar y ventilación, elaboradas con los softwares de simulación Ecotect Analysis, ArchiWizard y Flow Design respectivamente.

Este análisis tiene como objetivo entender la situación en la que se encuentra ubicado el edificio e identificar los problemas térmicos que presenta el predio a lo largo del año para plantear las determinantes de diseño para la nueva propuesta.

6.3.1. Análisis general

6.3.1.1. Áreas de actividad y vías conectoras

El hotel se encuentra ubicado en la zona de actividad “Comercio y servicios” según el POT de Barrancabermeja. Es por esto que en el sector hay un nivel considerable de competencia hotelera, pensado en su mayoría para usuarios que llegan a la ciudad por negocios, importación de mercancía o para trabajar con las empresas petroleras.

Así mismo, el acceso principal del hotel está sobre una vía complementaria que atraviesa la ciudad de este a oeste, cuyo flujo vehicular es considerado medio-alto y comprende vehículos como motocicletas, carros particulares, busetas y camiones de comercio de bajo impacto.

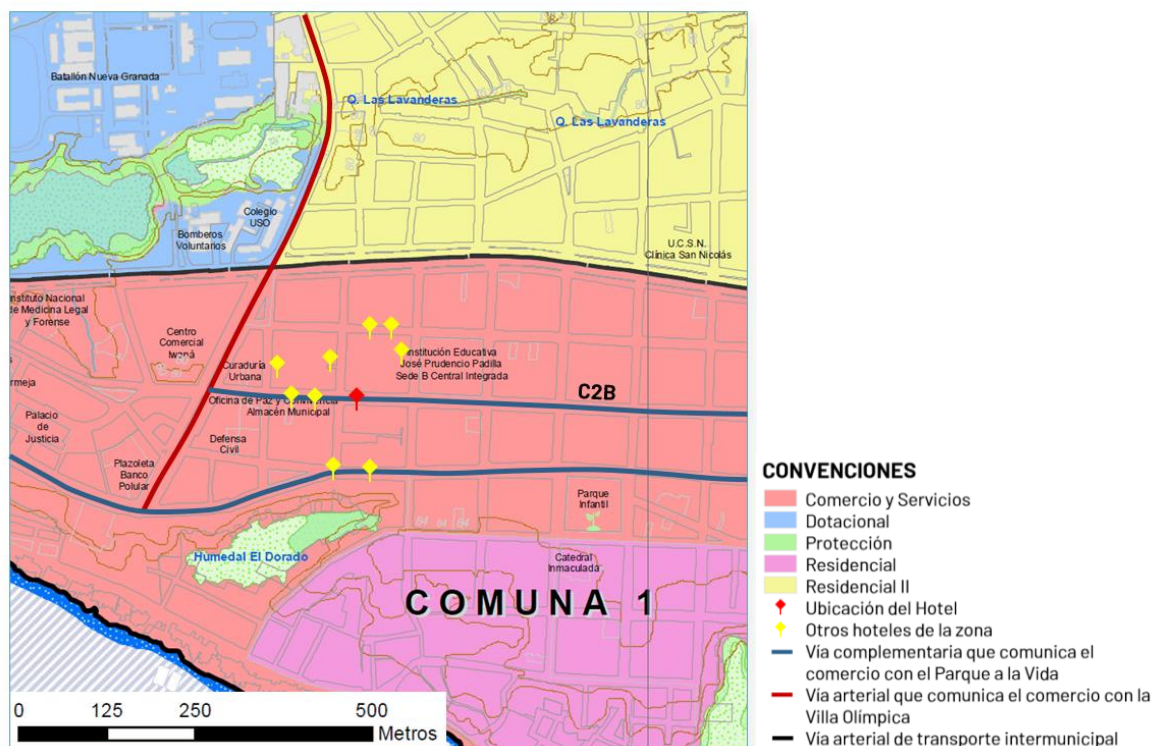


Figura 62. Sección del Mapa U9: Áreas de actividad.

Adaptado del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), POT de Barrancabermeja.

6.3.1.2. Equipamientos y espacio público

El hotel cuenta con diversos espacios de espacimientto en el sector, dentro de los cuales se encuentran 3 parque monumento al occidente, el Parque Infantil al suroriente y, a unas calles por el noroccidente, pasando por la USO, el Monumento al Cristo Petrolero. Los últimos dos han sido remodelados en los últimos años por la Alcaldía de Barrancabermeja.

Además, a tres cuadras en dirección occidente se encuentra el Centro Comercial Iwaná que suple los servicios de entretenimiento y comercio con el supermercado Éxito. Ya que el hotel no cuenta con servicio de parqueadero propio, éste cuenta con un convenio para sus huéspedes dentro de un parqueadero a media cuadra por la carrera 13, para suplir esta necesidad.

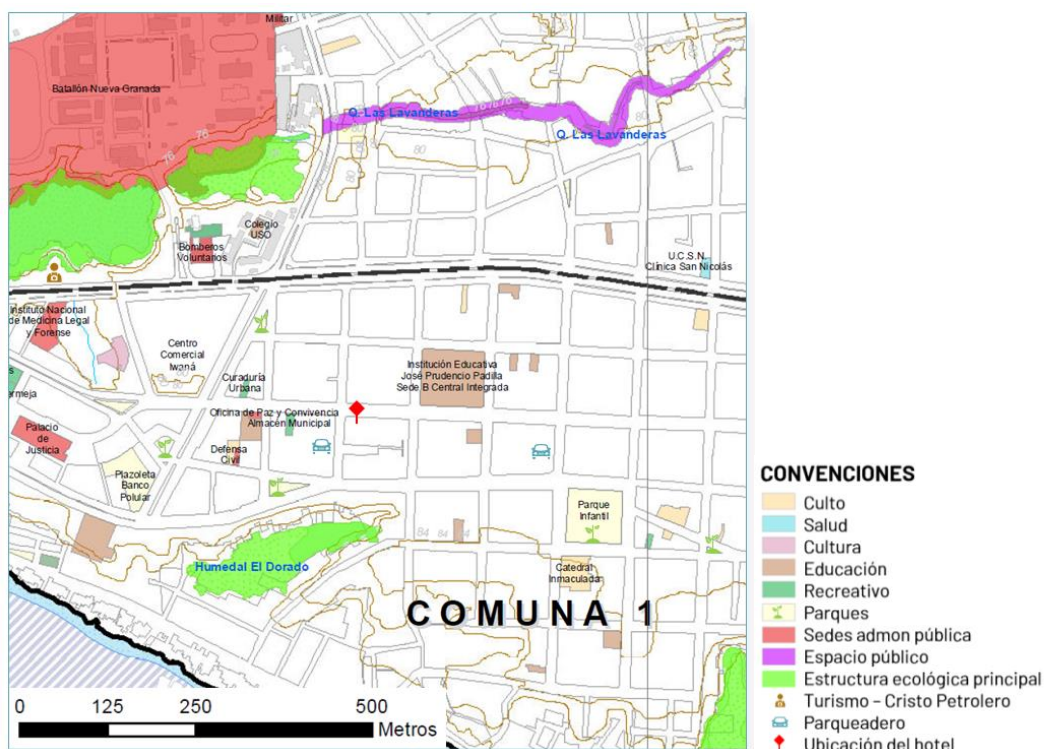


Figura 63. Sección del Mapa U5: Equipamiento y espacio público. Adaptado del IGAC, POT de Barrancabermeja, Santander.

6.3.1.3. Uso del suelo y edificabilidad

Según el POT, el límite de altura al que puede llegar el Hotel es de 5 pisos más altillo con un índice de ocupación del 90% del predio (Ver Tabla 41). Concorde a esto, para generar espacios de ventilación e iluminación natural, con fines bioclimáticos, los espacios liberados serán repuestos en el nuevo diseño por medio de la ampliación permitida hasta cinco pisos.

Tabla 24. *Tabla de normatividad física del área urbana.*

NORMATIVIDAD FÍSICA DEL ÁREA URBANA		
Tratamiento	Actualización A-III-3	
Área de actividad	Comercial - Mixto	
Altura máx. Pisos	1 hasta 5 pisos + altillo	
Índices máx.	Índice de Ocupación	0,9 máx.
	Índice de Construcción	5,0
Aisl. Posterior min.	Patio de 3,0 m x 3,0 m min	
Aisl. Lateral min.	3,0 m min. a partir del 6 piso	

Nota: Tabla de normatividad física del área urbana para tratamientos de Actualización tipo III en Barrancabermeja. Recuperado de: Circular N° 001 del 4 de marzo del 2009.

6.3.2. Análisis particular

6.3.2.1. Análisis del sombreadamiento

A través de las simulaciones de sombreadamiento con el software Ecotect Analysis se identifican cuáles son las fachadas con un mayor número de horas sombra y cuales se ven más afectadas por las horas sol a lo largo del año. La reconstrucción de los volúmenes del sector se llevó a cabo por medio de SketchUp y la información del clima fue tomada del archivo meteorológico creado anteriormente a partir de Elements y los datos del IDEAM. Los periodos del año analizados fueron: Solsticio de verano, equinoccio de primavera, solsticio de invierno y equinoccio de otoño.

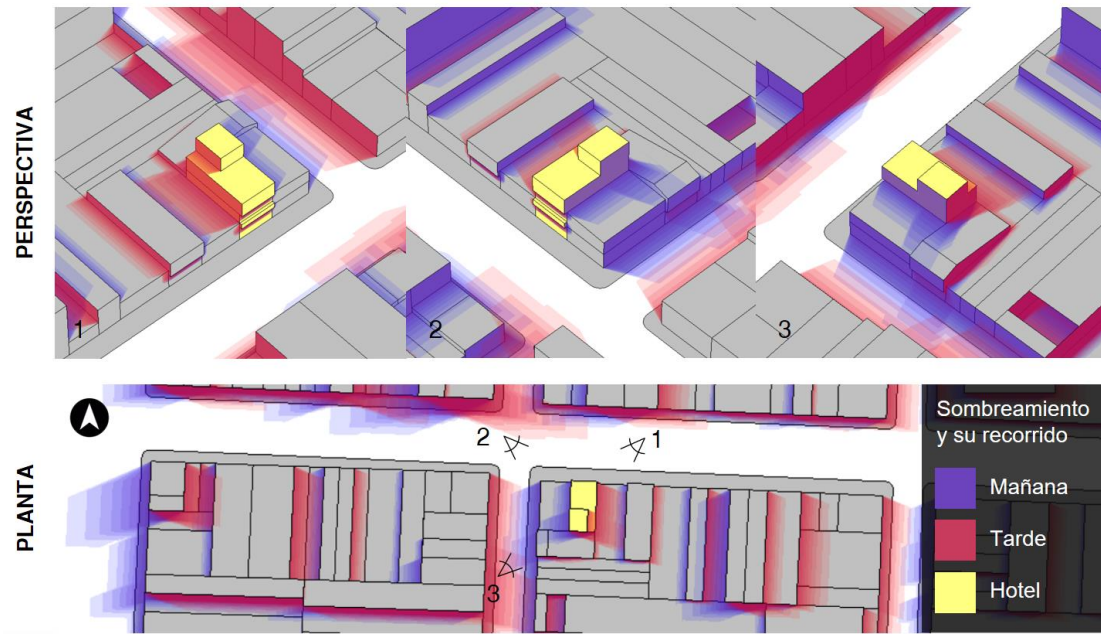


Figura 64. Análisis de sombreado: Solsticio de verano – Junio.
Elaboración a partir de Ecotect Analysis.

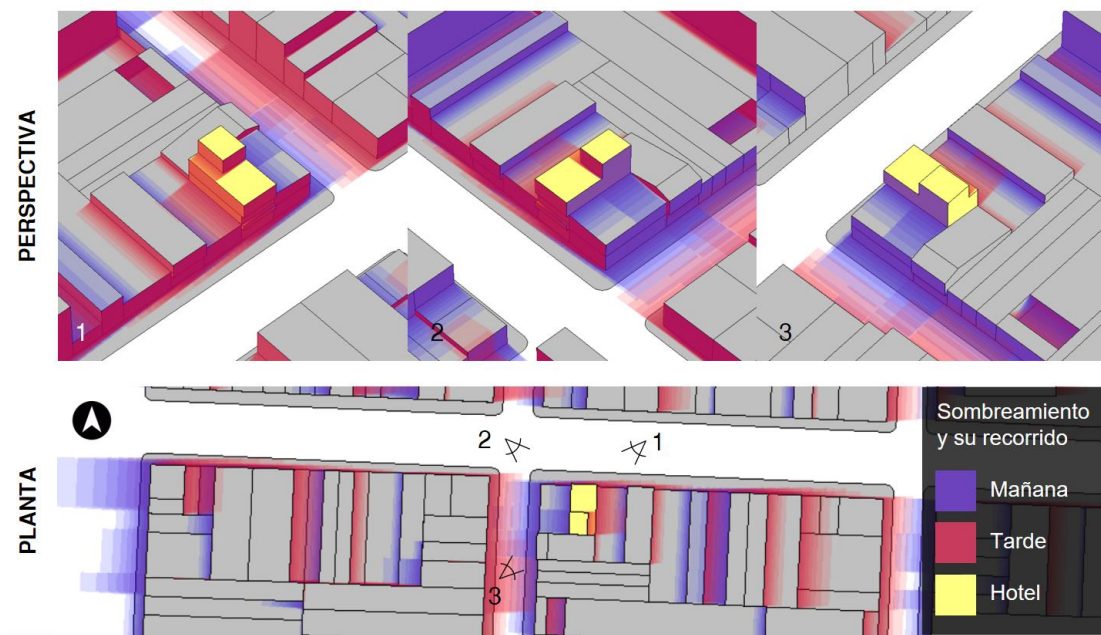


Figura 65. Análisis de sombreado: Equinoccio de primavera – Marzo.
Elaboración a partir de Ecotect Analysis.

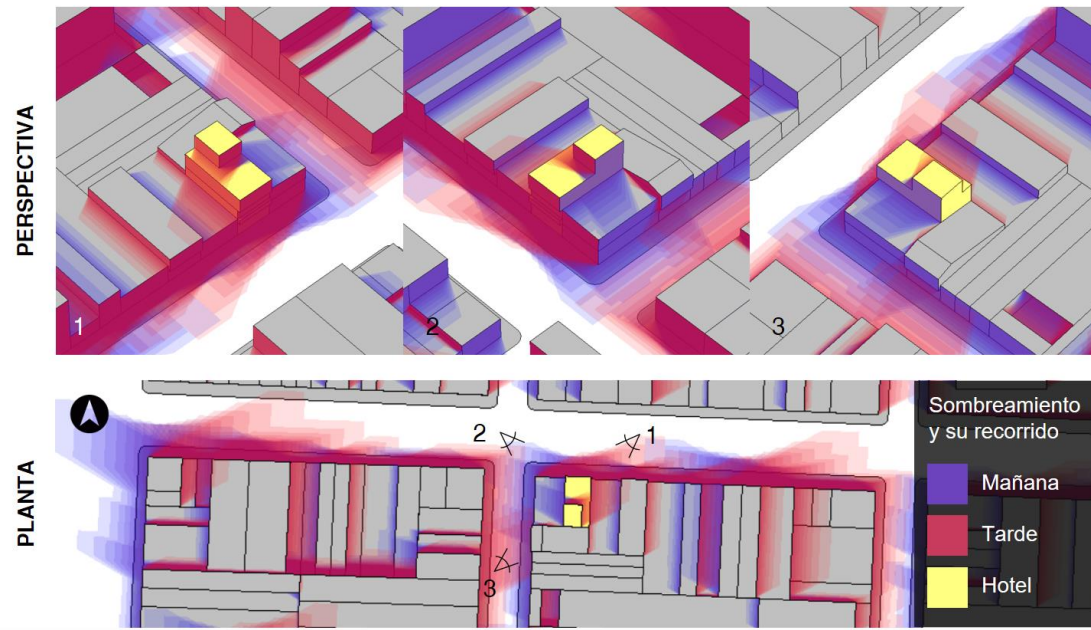


Figura 66. Análisis de sombreadamiento: Solsticio de invierno – Diciembre.
Elaboración a partir de Ecotect Analysis.

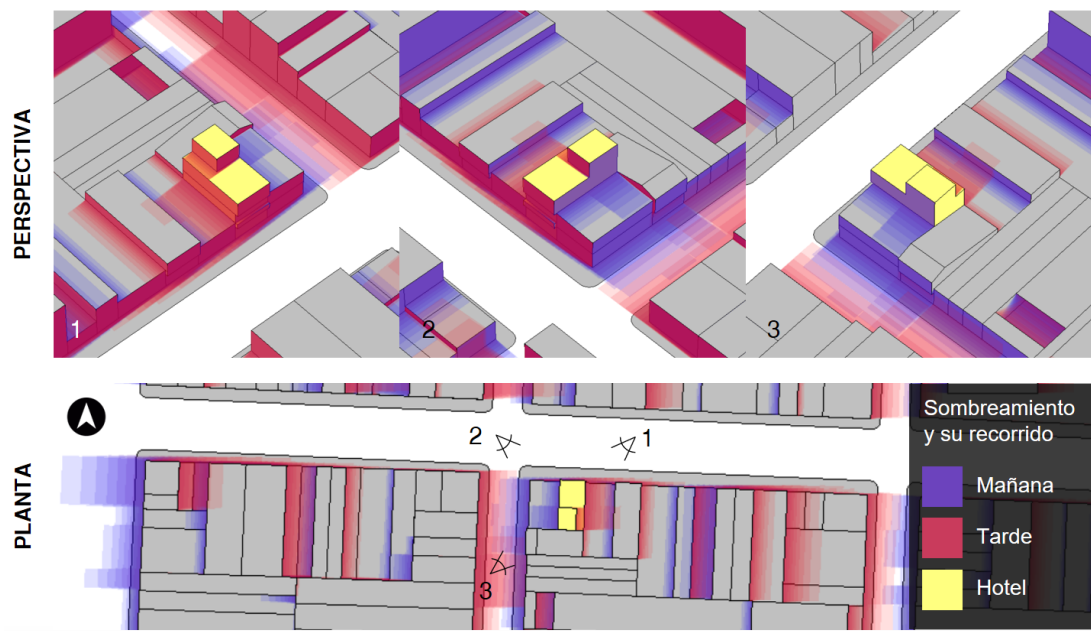


Figura 67. Análisis de sombreadamiento: Equinoccio de otoño – Septiembre.
Elaboración a partir de Ecotect Analysis.

Como conclusiones al Análisis de Sombreamiento podemos decir que:

- No hay edificios aledaños que generen un sombreamiento significativo sobre el Hotel por lo que la cubierta se encuentra expuesta a las horas sol durante todo el año.
- A pesar de ser un edificio medianero sólo se encuentran protegidas la primera planta en sus fachadas este, oeste y sur, y la segunda planta en sus fachadas oeste y sur.
- En el solsticio de verano la fachada norte recibe radiación solar durante todo el día, mientras que la fachada sur se encuentra sombreada durante el mismo periodo. Las fachadas este y oeste reciben radiación la mitad de las horas sol con una ligera inclinación hacia el norte.
- En el equinoccio de primavera y en el equinoccio de otoño la fachada sur recibe radiación solar durante todo el día, siendo la más afectada un 75% del año, mientras que la fachada norte se encuentra sombreada durante el mismo periodo. Las fachadas este y oeste reciben radiación la mitad de las horas sol de forma casi perpendicular al norte.
- En el solsticio de invierno la fachada sur recibe radiación solar durante todo el día, mientras que la fachada norte se encuentra sombreada durante el mismo periodo. Las fachadas este y oeste reciben radiación la mitad de las horas sol con una ligera inclinación hacia el norte.

6.3.2.2. Análisis de exposición solar

A través de las simulaciones de exposición solar con el software ArchiWizard se pueden identificar cuáles son las fachadas que se ven más afectadas por las horas sol y cuál es su porcentaje de exposición al sol a lo largo del año. La reconstrucción de los volúmenes del sector se llevó a cabo por medio de SketchUp y la información del clima fue tomada del archivo meteorológico creado anteriormente a partir de Elements y los datos del IDEAM. Los periodos del año analizados fueron los mismos del Análisis de sombreamiento.

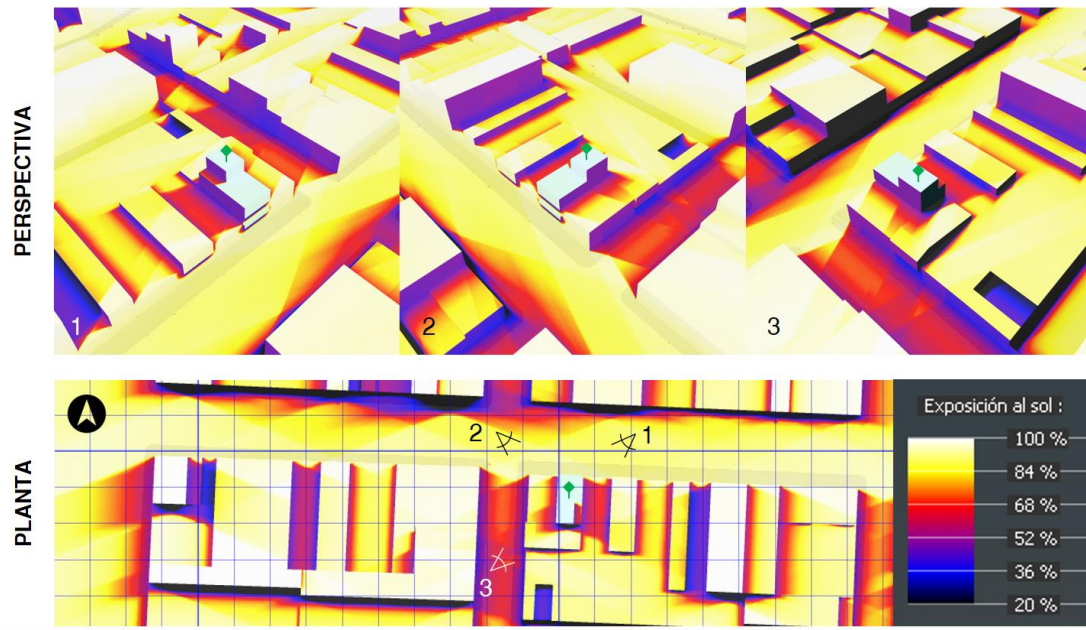


Figura 68. Análisis de exposición solar: Solsticio de verano – Junio.
Elaboración a partir de ArchiWizard.

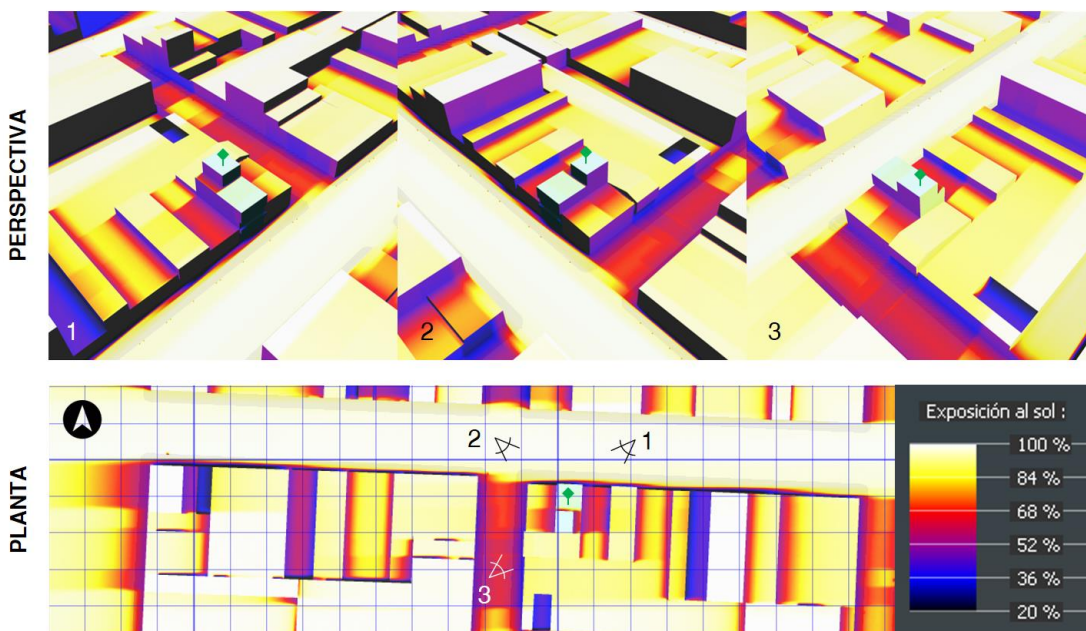


Figura 69. Análisis de exposición solar: Equinoccio de primavera – Marzo.
Elaboración a partir de ArchiWizard.

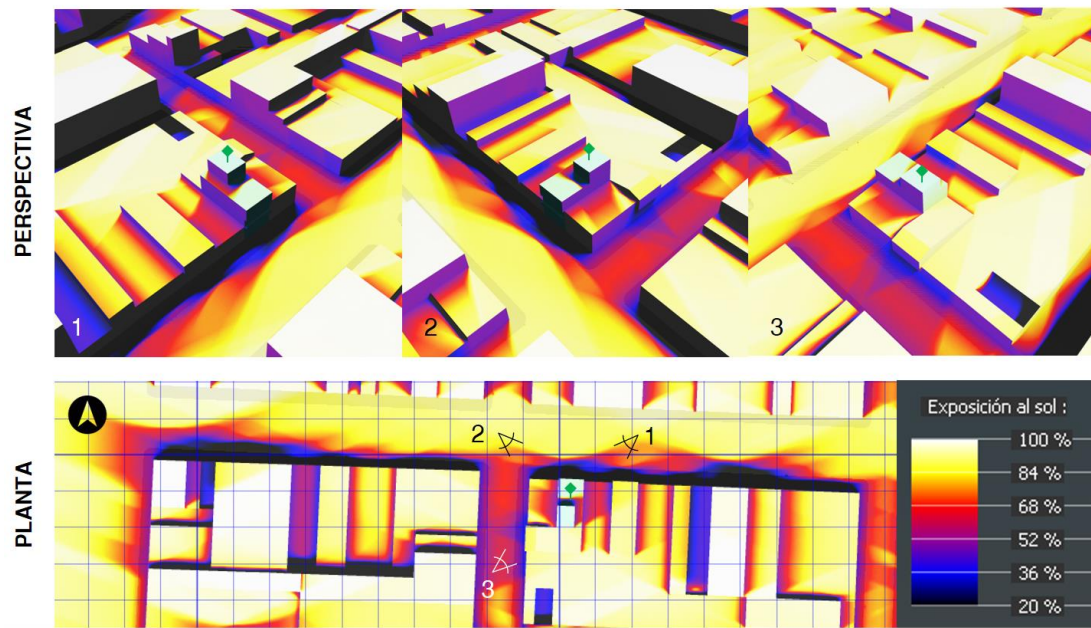


Figura 70. Análisis de exposición solar: Solsticio de invierno – Diciembre.
Elaboración a partir de ArchiWizard.

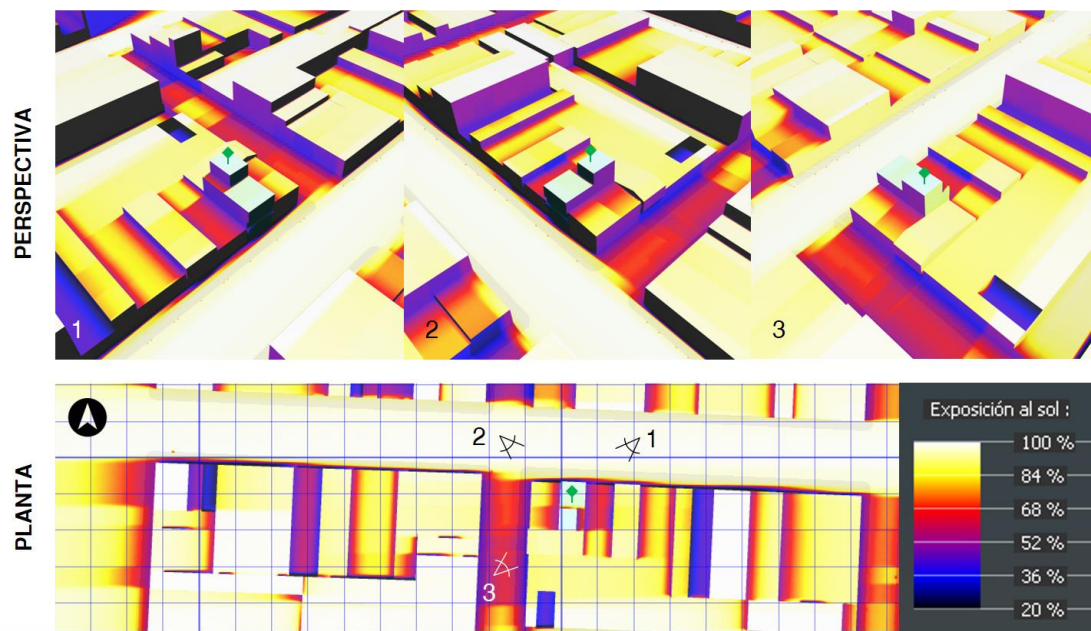


Figura 71. Análisis de exposición solar: Equinoccio de otoño – Septiembre.
Elaboración a partir de ArchiWizard.

Como conclusiones al Análisis de exposición solar podemos decir que:

- La cubierta es la que mayor exposición al sol presenta durante todo el año, con un promedio del 100% de horas sol, debido a la ausencia de sombra por edificios aledaños.
- En el solsticio de verano la fachada norte tiene un 100% de exposición solar, mientras que la fachada sur presenta una exposición del 20% debido a su sombreamiento. Las fachadas este y oeste cuentan con una exposición solar del 52% con una ligera inclinación hacia el norte.
- En el equinoccio de primavera y en el equinoccio de otoño la fachada sur se encuentra cuenta con un 100% de exposición solar, siendo la más afectada durante casi todo el año, mientras que la fachada norte presenta una exposición del 20% durante el mismo periodo, debido a su sombreamiento. Las fachadas este y oeste cuentan con una exposición del 52% de forma casi perpendicular al norte.
- En el solsticio de invierno la fachada sur tiene un 100% de exposición solar, mientras que la fachada norte presenta una exposición del 20% debido a su sombreamiento. Las fachadas este y oeste cuentan con una exposición solar del 52% con una ligera inclinación hacia el norte.

6.3.2.3. Análisis de ventilación

A través de la prueba de Túnel del Viento con el software FlowDesign se pueden identificar cuál es la dirección predominante del viento en caso tal de que se requiera implementar la ventilación cruzada dentro del nuevo diseño y/o mejorar las renovaciones de aire al interior. La reconstrucción de los volúmenes del sector se llevó a cabo por medio de SketchUp y la información del clima fue tomada del archivo meteorológico creado anteriormente a partir de Elements y los datos del IDEAM. Los periodos del año analizados fueron los mismos del análisis de sombreamiento y el de exposición solar.

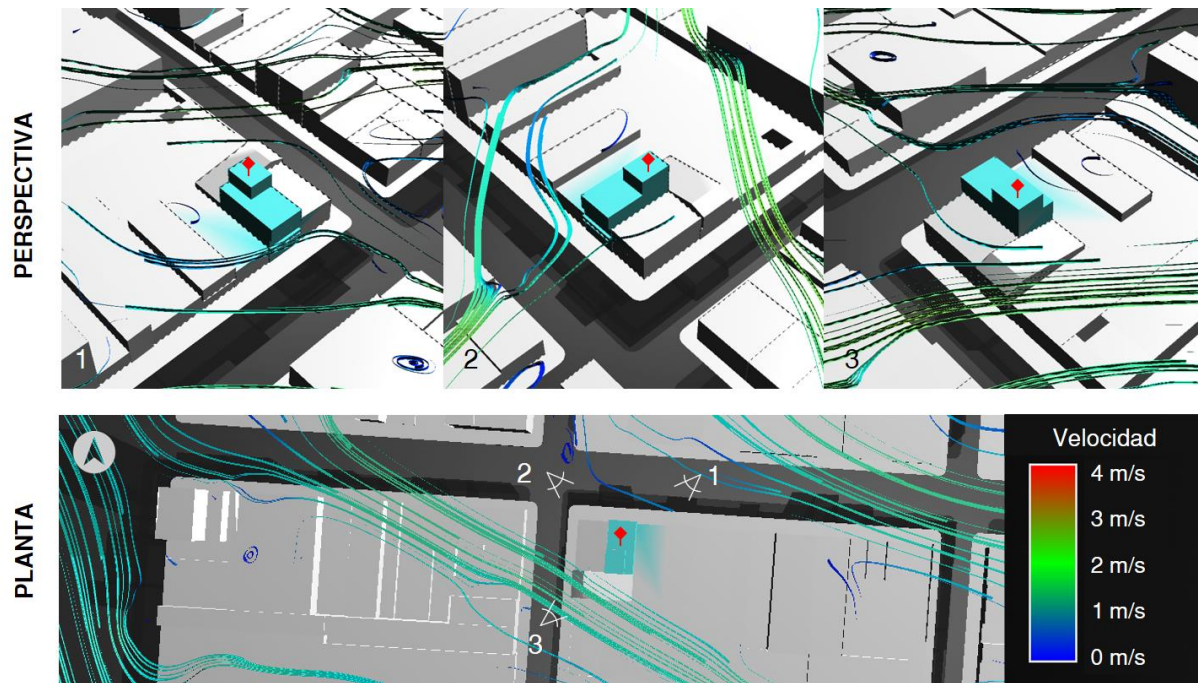


Figura 72. Análisis de ventilación: Prueba de túnel de viento.
Elaboración a partir de Flow Design.

6.3.2.4. Conclusiones del Análisis Particular

- Las corrientes de aire en el sector son bastante reducidas y su velocidad máxima aproximada no sobrepasa los 2 m/s, mientras que la media se mantiene por debajo de 1,5 m/s.
- Las aberturas de entrada para permitir el paso de la ventilación natural deberán hacerse en la fachada norte y las aberturas de salida en la fachada sur, evitando la apertura, especialmente de superficies acristaladas, en las fachadas este y oeste.
- En caso de que se requiera el uso de superficies acristaladas éstas deberán estar protegidas con aleros o cortasoles debido a la alta incidencia solar del sitio y su humedad.
- Debido a que la fachada con mayor sobrecalentamiento, después de la cubierta, es la fachada sur, se hace necesaria la implementación de un elemento sobre la fachada que evite el sobrecalentamiento sobre toda la superficie.

6.4. Análisis del edificio

Como primera instancia se debe hacer una descripción general del edificio donde se expongan: área, número de pisos, condiciones y uso actual, sistema constructivo, orientación y accesibilidad.

Para llevar a cabo el análisis, el edificio debe dividirse por zonas según se indica en el apartado “Definición del edificio” de la metodología AEE. Cada una de estas zonas está compuesta por diferentes espacios, cada uno con una serie de características: nombre, número de espacios iguales para esa zona, área, volumen y orientación.

Posteriormente, se deben definir los datos constructivos del edificio: los materiales, su conductividad térmica y densidad, desglosados para cada uno de los elementos constructivos del edificio, como son muros exteriores, particiones, cubiertas y superficies acristaladas.

6.4.1. Características generales del edificio

El edificio objeto de estudio se encuentra en un predio con área de ocupación de 97,65 m². Consta de 3 plantas y un altillo con un área construida total de 327,54 m²: 92,65 m² en la primera planta, 97,11 m² en la segunda planta, 104,36 m² en la tercera planta y 28,42 m² en el altillo. El sistema constructivo del Hotel es de pórtico con vigas y columnas en concreto reforzado.

La fachada principal y de acceso del edificio tiene orientación Norte y, fachada que recibe menor radiación solar a lo largo del año, comparada con la fachada sur. Para realizar el estudio se divide el edificio en zonas y así facilitar el análisis del mismo al llevar a cabo las simulaciones. De esta forma, los espacios de la primera planta del edificio quedan divididos en tres grandes zonas (habitaciones, recepción y servicios), la segunda planta es ocupada solo por habitaciones, la tercera planta se divide en dos zonas de habitaciones y servicios, y el altillo en una sola zona que abarca una habitación múltiple, como se puede apreciar en la Tabla 42.

Tabla 25. Zonas del Hotel Mi California.

Plantas	Zonas	Sub Zonas - Espacios	Orientación	Área (m ²)
Primera Planta	Zona 1 (P1 - Habitaciones)	P1 – Hab 101 + WC	NW	8,98
		P1 – Hab 102 + WC	W	9,24
		P1 – Hab 103 + WC	SW	8,62
		P1 – Hab 104 + WC	SE	12,17
		P1 – Hab 105 + WC	E	11,81
	Zona 2 (P1 – Recepción)	P1 – Hall de acceso	N	5,86
		P1 – Sala de espera	NW	6,32
		P1 – Recepción	NE	2,87
		P1 – Baño auxiliar	NE	1,81
	Zona 3 (P1 – Servicios)	P1 – Patio de ropas	SW	5,87
		P1 – Bodega	S	0,84
Segunda Planta	Zona 4 (P2 - Habitaciones)	P2 – Hab 201 + WC	W	8,19
		P2 – Hab 202 + WC	W	9,27
		P2 – Hab 203 + WC	SW	7,07
		P2 – Hab 204 + WC	SE	11,52
		P2 – Hab 205 + WC	E	10,18
		P2 – Hab 206 + WC	N	7,22
		P2 – Hab 207 + WC	NW	8,39
Tercera Planta	Zona 5 (P3 – Habitaciones)	P3 – Hab 301 + WC	NW	11,99
		P3 – Hab 302 + WC	W	11,39
		P3 – Hab 303 + WC	SW	12,91
		P3 – Hab 304 + WC	SE	12,22
		P3 – Hab 305 + WC	E	12,08
	Zona 6 (P3 – Servicios)	P3 – Sala de estar	N	5,26
Cuarta Planta	Zona 7 (P4 – Hab)	P3 – Bodega	NE	3,84
		P4 – Hab 401 + WC	SW	22,42

El edificio actualmente se encuentra en buenas condiciones, aunque presenta problemas hidrosanitarios y de sobrecalentamiento, según indicaron los usuarios. Debido al área reducida del predio, éste no cuenta con parqueadero propio ni zona de lavandería aparte del patio de servicios. Sin embargo, para suplir estos servicios complementarios el hotel cuenta con diversas alianzas con empresas que prestan estos servicios fuera de las instalaciones. En cuanto a la accesibilidad el hotel se encuentra ubicado a nivel del andén pero no cuenta con el 2% de sus habitaciones habilitadas para personas con discapacidad reducida según la norma.

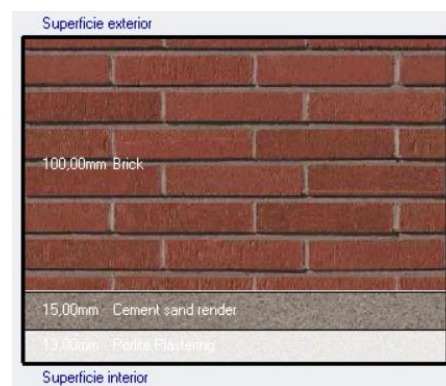
6.4.2. Características constructivas del edificio

Para este apartado se organiza la estructura del edificio en muros exteriores, particiones, cubierta y superficies acristaladas, con el fin de facilitar el ingreso de los datos constructivos al programa de modelado y simulación. La ubicación de los elementos constructivos en fachada se pueden encontrar en la Figura 56 al final de este capítulo.

A continuación se desglosan los distintos elementos constructivos del edificio, detallando el grosor, la densidad y las propiedades térmicas para cada uno de sus componentes. Cada elemento se desglosa en diferentes capas de material, comenzando desde afuera hacia adentro. A partir de estos datos se calcula la transmitancia térmica, o valor de U, cuya unidad de medida es $\text{W/m}^2 \text{C}$, y una densidad superficial en kg/m^3 . Los datos presentados a continuación fueron tomados de la base de datos para cerramientos del software Design Builder.

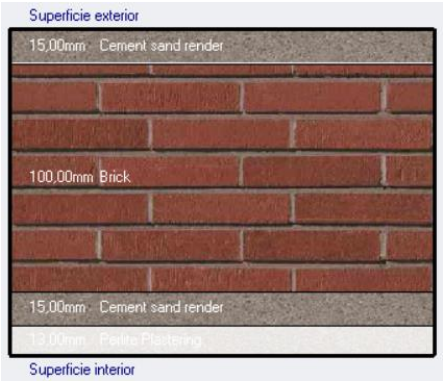
6.4.2.1. Muros Exteriores: Tipo I, Tipo II, Tipo III y Tipo IV

Tabla 26. Muro Exterior Tipo I: Ladrillo macizo para fachada con revestimiento interior.



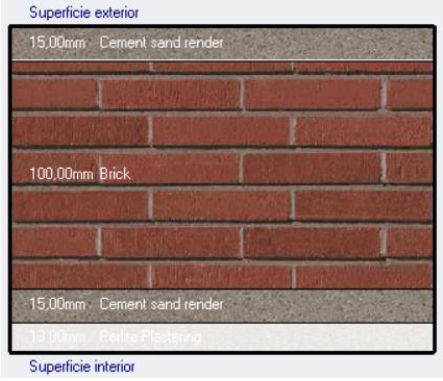
MATERIAL	GROSOR (M)	DENSIDAD (kg/m^3)	CONDUCTIVIDAD ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)
Ladrillo macizo	0,100	1920	0,72
Mortero	0,015	1800	1,00
Estuco	0,013	400	0,08
TOTAL	0,128 m	4120 kg/m^3	$U = 2,05 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Tabla 27. Muro Exterior Tipo II: Ladrillo macizo con mortero a la vista y revestimiento interior.



MATERIAL	GROSOR (M)	DENSIDAD (kg/m ³)	CONDUCTIVIDAD (W/m·K)
Mortero	0,015	1800	1,00
Ladrillo macizo	0,100	1920	0,72
Mortero	0,015	1800	1,00
Estuco	0,013	400	0,08
TOTAL	0,143 m	5920 kg/m ³	U = 1,99 W/m ² ·K

Tabla 28. Muro Exterior Tipo III: Ladrillo hueco con mortero a la vista y revestimiento interior.

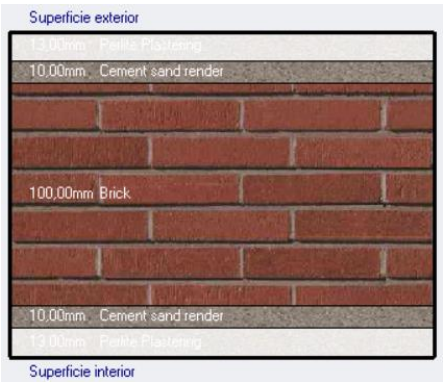


MATERIAL	GROSOR (M)	DENSIDAD (kg/m ³)	CONDUCTIVIDAD (W/m·K)
Mortero	0,015	1800	1,00
Ladrillo hueco	0,100	1000	0,30
Mortero	0,015	1800	1,00
Estuco	0,013	400	0,08
TOTAL	0,143 m	5000 kg/m ³	U = 1,43 W/m ² ·K

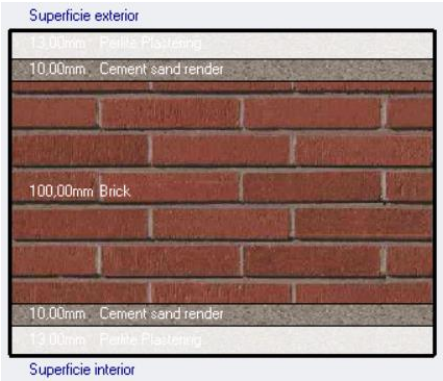
Tabla 29. *Muro Exterior Tipo IV: Ladrillo macizo para fachada sin revestimiento interior.*


MATERIAL	GROSOR (M)	DENSIDAD (kg/m ³)	CONDUCTIVIDAD (W/m·K)
Ladrillo macizo	0,100	1920	0,72
TOTAL	0,100 m	1920 kg/m ³	U = 3,23 W/m ² ·K

6.4.2.2. Particiones interiores: Tipo I y Tipo II

Tabla 30. *Partición interior Tipo I: Ladrillo macizo con revestimiento interior y exterior.*


MATERIAL	GROSOR (M)	DENSIDAD (kg/m ³)	CONDUCTIVIDAD (W/m·K)
Estuco	0,013	400	0,08
Mortero	0,015	1800	1,00
Ladrillo macizo	0,100	1920	0,72
Mortero	0,015	1800	1,00
Estuco	0,013	400	0,08
TOTAL	0,156 m	6320 kg/m ³	U = 1,34 W/m ² ·K

Tabla 31. *Partición interior Tipo II: Ladrillo hueco con revestimiento interior y exterior.*


MATERIAL	GROSOR (M)	DENSIDAD (kg/m ³)	CONDUCTIVIDAD (W/m·K)
Estuco	0,013	400	0,08
Mortero	0,015	1800	1,00
Ladrillo hueco	0,100	1000	0,30
Mortero	0,015	1800	1,00
Estuco	0,013	400	0,08
TOTAL	0,156 m	5400 kg/m ³	U = 1,06 W/m ² ·K

6.4.2.3. Placas Tipo I y Tipo II

Tabla 32. *Placa Tipo I: Sobre el terreno sin cimientos.*


MATERIAL	GROSOR (M)	DENSIDAD (kg/m ³)	CONDUCTIVIDAD (W/m·K)
Grava	0,070	1200	0,41
Placa de concreto	0,100	2000	1,13
Cerámica	0,007	2500	1,40
TOTAL	0,177 m	5700 kg/m ³	U = 2,10 W/m ² ·K

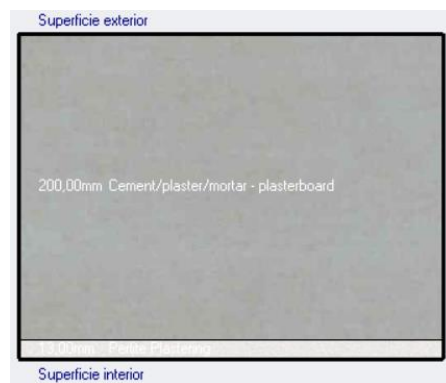
Tabla 33. *Placa Tipo II: De entrepiso.*


MATERIAL	GROSOR (M)	DENSIDAD (kg/m ³)	CONDUCTIVIDAD (W/m·K)
Estuco	0,013	400	0,08
Placa de concreto	0,300	2000	1,13
Cerámica	0,007	2500	1,40
TOTAL	0,320 m	4900 kg/m ³	U = 1,55 W/m ² ·K

6.4.2.4. Cubierta Tipo I y Tipo II

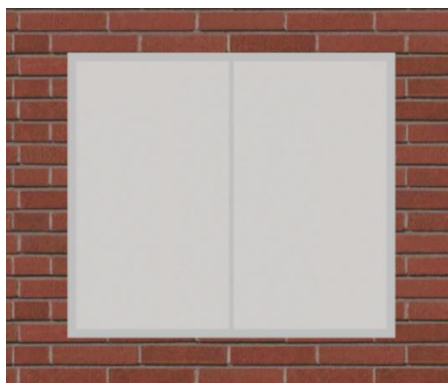
Tabla 34. *Cubierta Tipo I: Expuesta inclinada - Tejas de asbesto cemento.*


MATERIAL	GROSOR (M)	DENSIDAD (kg/m ³)	CONDUCTIVIDAD (W/m·K)
Teja de Asbesto cemento	0,005	1900	0,55
TOTAL	0,005 m	1900 kg/m ³	U = 6,70 W/m ² ·K

Tabla 35. *Cubierta Tipo II: Semiexpuesta – Cieloraso bajo cubierta Tipo I.*

MATERIAL	GROSOR (M)	DENSIDAD (kg/m ³)	CONDUCTIVIDAD (W/m·K)
Placa drywall	0,200	950	0,16
Estuco	0,013	400	0,08
TOTAL	0,213 m	1350 kg/m ³	U = 0,64 W/m ² ·K

6.4.2.5. Ventanas

Tabla 36. *Ventana Tipo I: Vidrio genérico de 3 mm.*

MATERIAL	GROSOR (M)	TRANSMITANCIA SOLAR	CONDUCTIVIDAD (W/m·K)
Vidrio genérico	0,003	0,83	0,9
TOTAL	0,003 m	U = 5,89 W/m ² ·K	

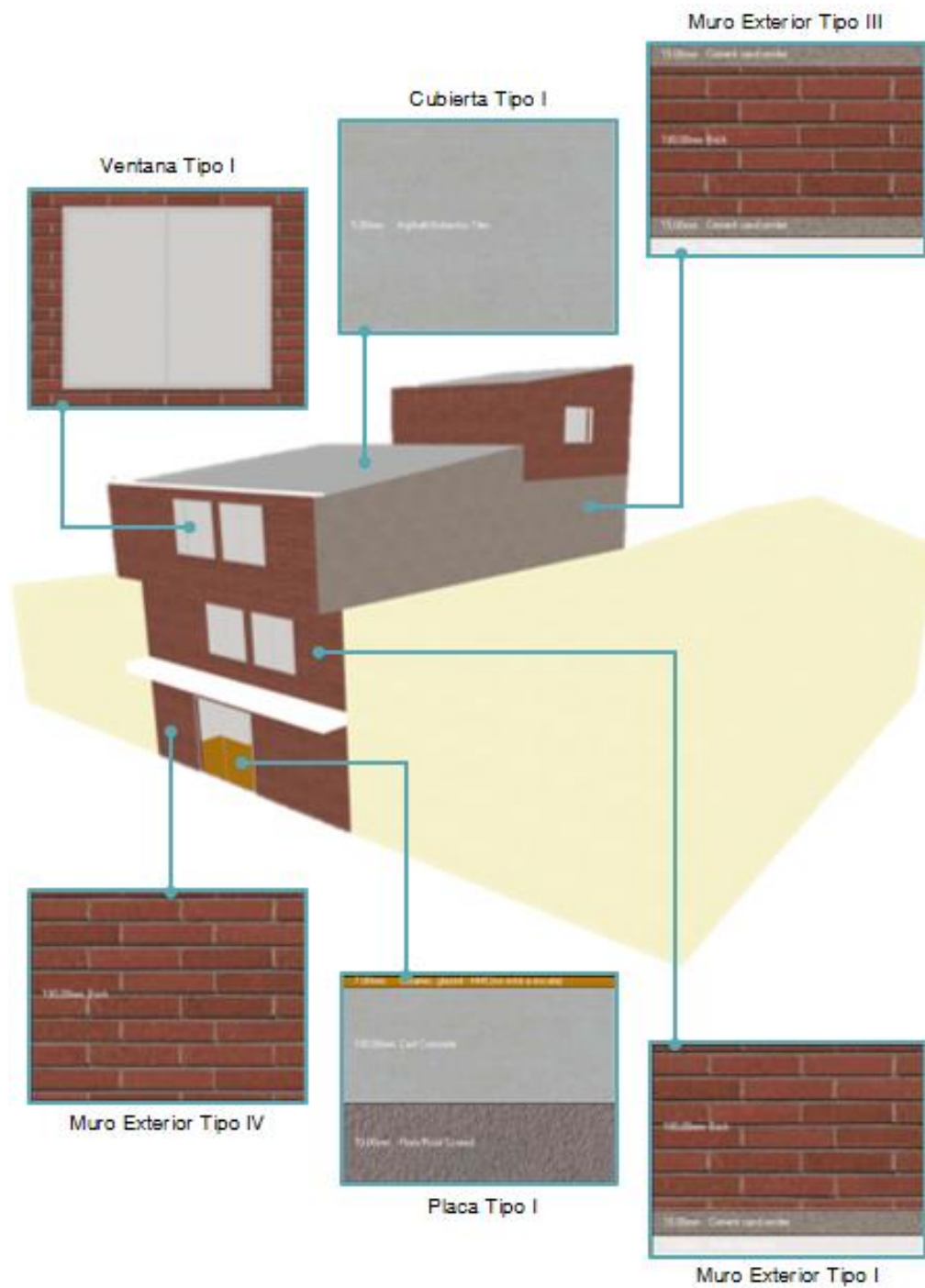
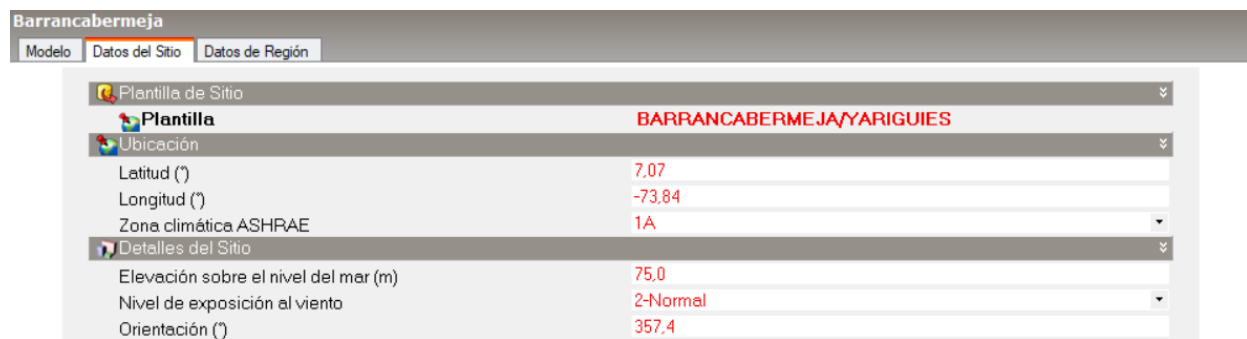


Figura 73. Ubicación de los elementos constructivos el el Hotel existente.
Elaborado a partir de Design Builder.

6.5. Línea base: Modelado 3D, simulación y análisis de resultados

6.5.1. Modelado 3D del edificio actual

En esta etapa se comienza a elaborar el modelado 3D del edificio por medio del software Design Builder para llevar a cabo las respectivas simulaciones sobre balance térmico, ganancias térmicas, ventilación, temperatura y confort. Como primera instancia previo a la simulación se debe introducir en el programa el archivo meteorológico creado con el software Elements y verificar la información respectiva sobre la ubicación y los detalles del sitio (Ver Figura 57).



Barrancabermeja	
Modelo Datos del Sitio Datos de Región	
Plantilla de Sitio	
Plantilla	BARRANCABERMEJA/YARIGUIES
Ubicación	
Latitud (°)	7.07
Longitud (°)	-73.84
Zona climática ASHRAE	1A
Detalles del Sitio	
Elevación sobre el nivel del mar (m)	75.0
Nivel de exposición al viento	2-Normal
Orientación (°)	357.4

Figura 74. Configuración de los Datos del Sitio en Design Builder.

Tomando como base las tablas de información constructiva y de zonificación realizadas en el apartado anterior se diferencian los espacios con sus respectivos materiales a través de particiones internas, creando así las zonas de cada planta. Estas zonas tendrán una actividad y características constructivas específicas, establecidas por medio de las plantillas del software para estandarizar los valores de ocupación, tasa metabólica y arropamiento (Ver Figura 58) y los materiales de muros, particiones, placas y cubierta a través de las plantillas pre creadas en la pestaña de Cerramientos, acorde a los datos constructivos clasificados en el apartado anterior (Ver Figura 59).

Las diferentes zonas de ocupación en planta, después de haber creado las particiones interiores, se muestran en la Figura 60.

Barrancabermeja, Hotel Mi California

Modelo **Actividad** Cerramientos Aberturas Iluminación HVAC Generación Opciones de Resultados CFD

Plantilla de Actividad

Plantilla **Circulaciones HMC**

Sector C1 Hotels

Multiplicador de zona 1

☒ Incluir zona en cálculos térmicos

☒ Incluir zona en cálculos de luz diurna con Radiance

Áreas de Suelo y Volúmenes

Ocupación

Densidad de ocupación (personas/m²) 0.1147

Inicio 0:00 Final 24:00

Días por semana 7.0

Condiciones Metabólicas

Tasa metabólica Standing/walking

Factor (Hombre=1.00, Mujer=0.85, Niño=0.75) 0.90

Tasa de generación de CO2 (m³/s-W) 0.0000000382

Vestimenta

Vestimenta en invierno (clo) 1.00

Vestimenta en verano (clo) 0.50

Figura 75. Configuración de la Plantilla de Actividad para el Hotel Actual.

Barrancabermeja, Hotel Mi California

Modelo **Actividad** **Cerramientos** Aberturas Iluminación HVAC Generación Opciones de Resultados CFD

Plantilla de Cerramientos

Plantilla **Project construction template**

Cerramientos

Muros exteriores **Project wall - HMC1 Mortero**

Muros enterrados Project below grade wall

Cubiertas planas **Project flat roof - HMC**

Cubiertas inclinadas (con ocupación) Project pitched roof

Cubiertas inclinadas (sin ocupación) **Project unoccupied pitched roof - HMC**

Particiones **Project partition - HMC1**

Semi-Expuestos

Muros semi-expuestos Project semi-exposed wall

Techos semi-expuestos **Project semi-exposed ceiling - HMC**

Suelos semi-expuestos Project semi-exposed floor

Suelos

Suelos sobre terreno **Project ground floor - HMC**

Suelos exteriores **Project external floor - HMC**

Suelos interiores **Project internal floor - HMC**

Sub-superficies

Muros Project wall sub-surface construction

Interiores Project internal wall sub-surface construction

Cubiertas Project roof sub-surface construction

Puertas exteriores Project external door

Puertas interiores **Project internal door - HMC**

Figura 76. Configuración de la Plantilla de Cerramientos para el Hotel Actual.

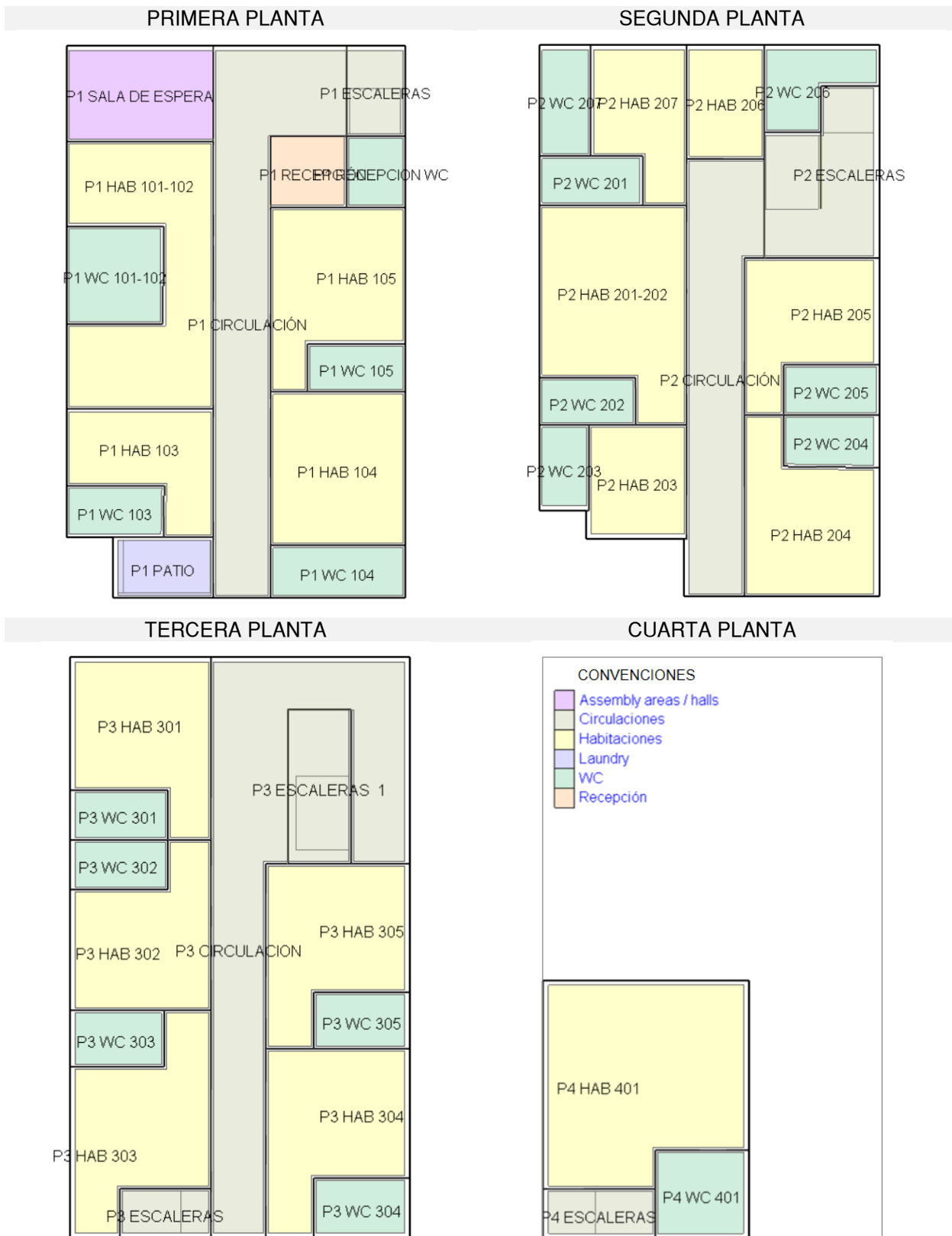


Figura 77. Zonificación del Hotel Mi California en Design Builder.

6.5.2. Simulaciones Térmicas

Previo a la ejecución de las simulaciones térmicas del Hotel se deben configurar las ganancias internas y las ganancias por HVAC. Para configurar las ganancias internas con el fin de que éstas sean las mismas en el edificio existente y en la propuesta, se toma la decisión de desactivar las ganancias por equipos para todo el edificio en la pestaña de Actividad (Ver Figura 61), excepto las ganancias por ocupación, y la iluminación en su respectiva pestaña (Ver Figura 62).

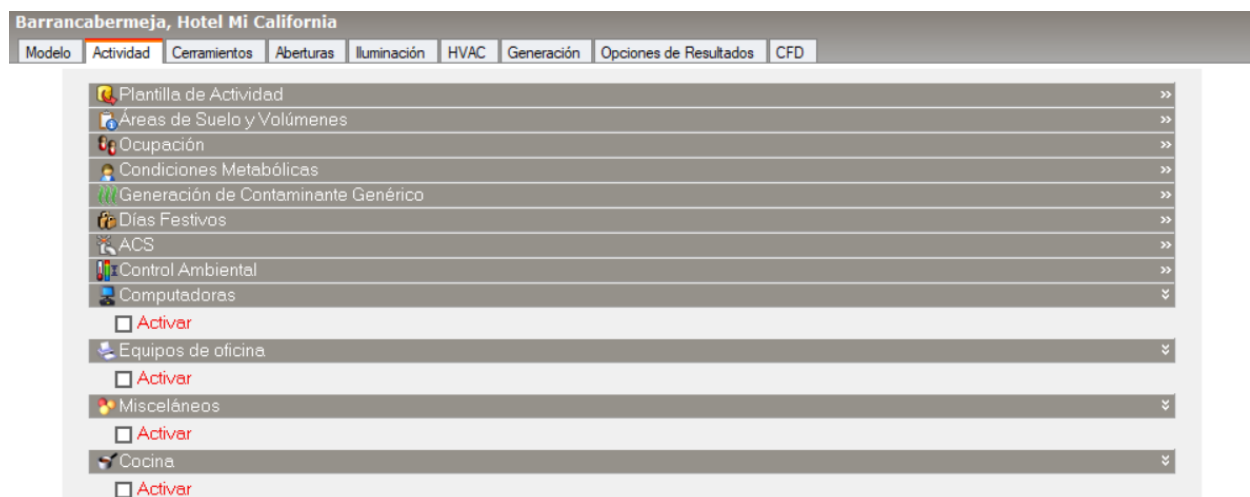


Figura 78. Configuración de las Ganancias Internas para el Hotel Actual en la Plantilla de Actividad.

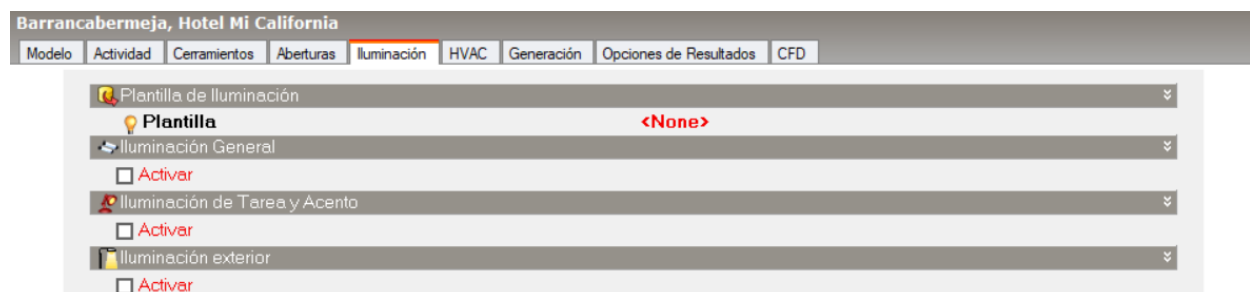


Figura 79. Configuración de las Ganancias Internas para el Hotel Actual en la pestaña de Iluminación.

La ventilación mecánica y la refrigeración se desactivan también, con el fin de evaluar el edificio actual inicialmente en condiciones pasivas (Ver Figura 63). La ventilación natural se activa y se configura de forma calculada en las opciones del modelo con 5 ren/h por defecto como valor estándar para la infiltración del aire en todo el edificio.

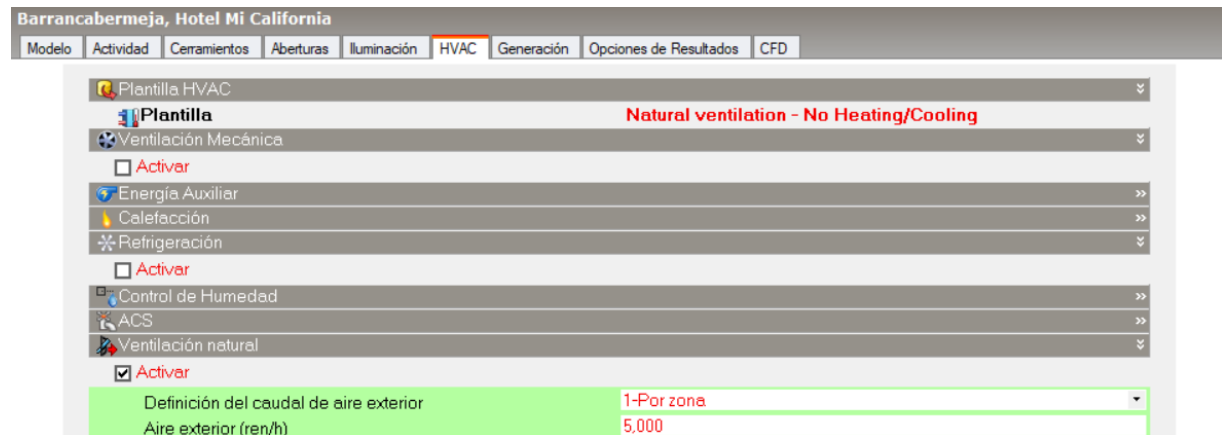


Figura 80. Configuración de la Ventilación Natural para el Hotel Actual en la pestaña de HVAC.

Para obtener los resultados de temperatura radiante y temperatura operativa que serán comparados con los valores de PMV de Fanger, se deben habilitar la casilla “Ambiental” en los Resultados con Gráficas y “Fanger” en el menú de Confort y Ambiente de la pestaña Opciones de Resultados (Ver Figura 64). Así mismo, la “Transferencia de calor en superficies” es otro valor a considerar para evaluar las condiciones de los materiales en el edificio, que a su vez va de la mano con los valores de “Ganancias internas y solares”. Finalmente, se selecciona la opción de “Distribución de temperaturas” con el fin de conocer el comportamiento de la temperatura interior en cada espacio durante todo el periodo seleccionado.

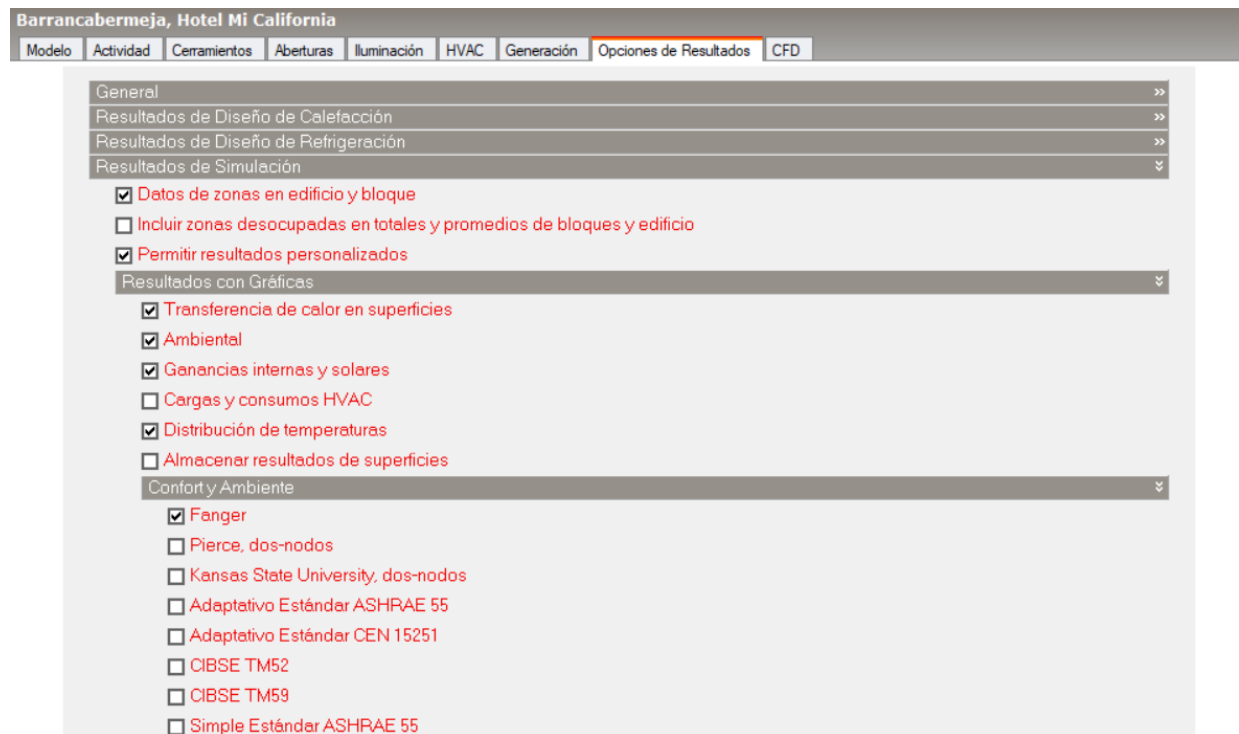


Figura 81. Configuración de las opciones de resultados para las simulaciones térmicas.

Una vez realizadas todas las configuraciones en el software se puede dar inicio a las simulaciones térmicas. Los periodos a evaluar serán una semana de verano, que abarca desde el 2 hasta el 8 de Febrero, y una semana de invierno o periodo de altas lluvias, desde el 5 hasta el 11 de Octubre. Desde la Figura 65 hasta la Figura 68 se muestran las gráficas generales del edificio para Temperatura, Confort y Ganancias térmicas en la semana de verano e invierno. El desglose por zonas para Temperatura, Confort y Distribución de temperaturas se encuentra en la sección de Apéndices, del 7 al 13 para las Gráficas de Confort y Temperatura en las semanas de verano e invierno, y del Apéndice 14 al 20 para las Gráficas de Distribución de Temperatura Operativa en las semanas de verano e invierno.

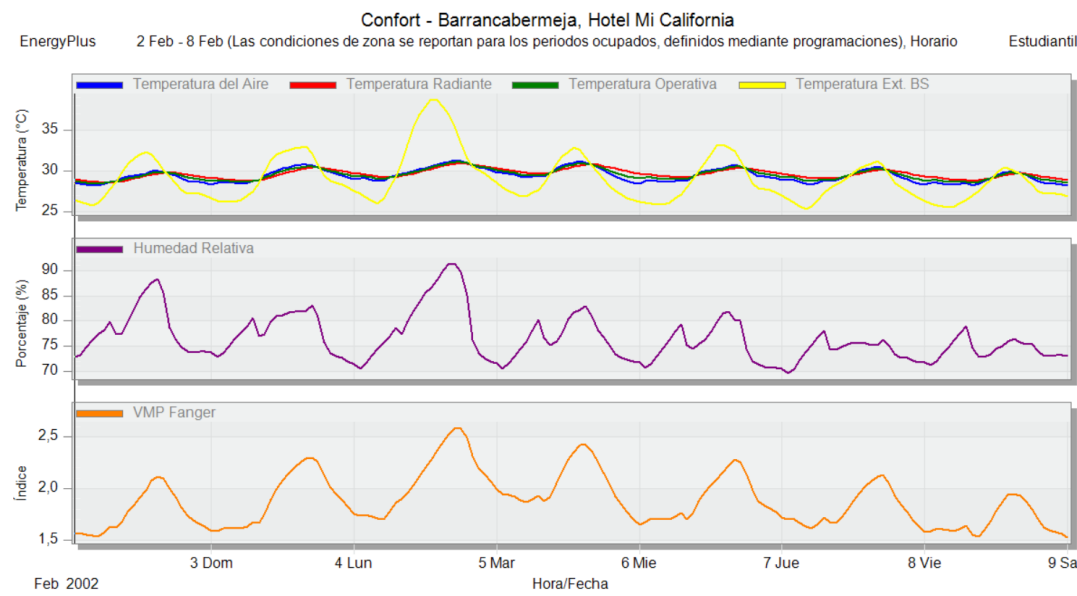


Figura 82. Gráficas horarias medias de Temperatura y Confort para el Hotel actual en la semana de verano.

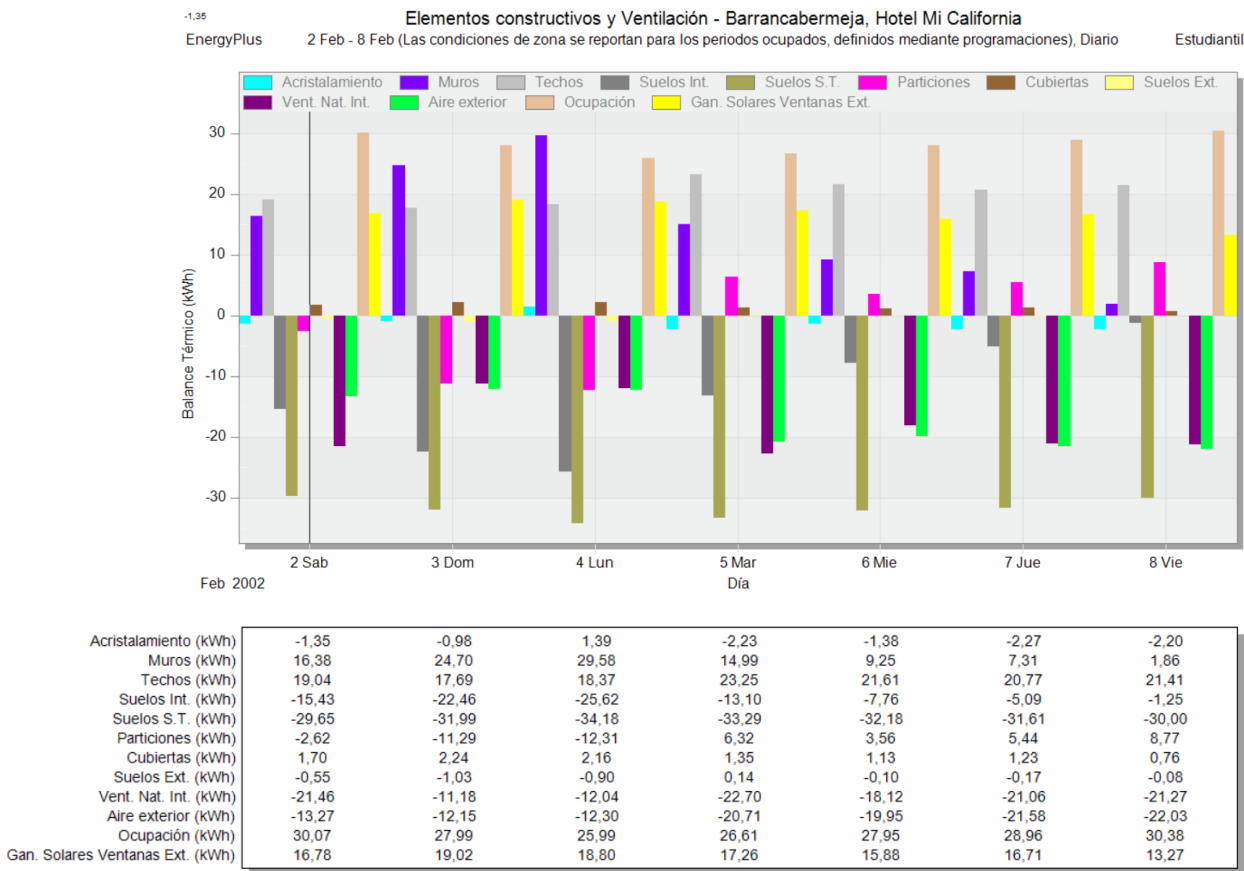


Figura 83. Ganancias térmicas diarias medias para el Hotel actual en la semana de verano.

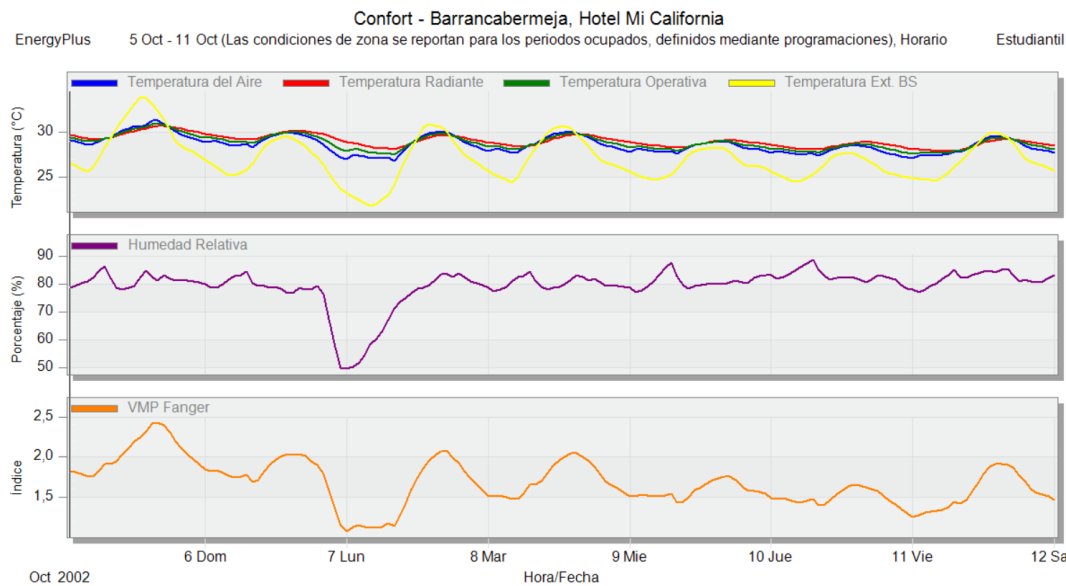


Figura 84. Gráficas horarias medias de Temperatura y Confort para el Hotel actual en la semana de invierno.

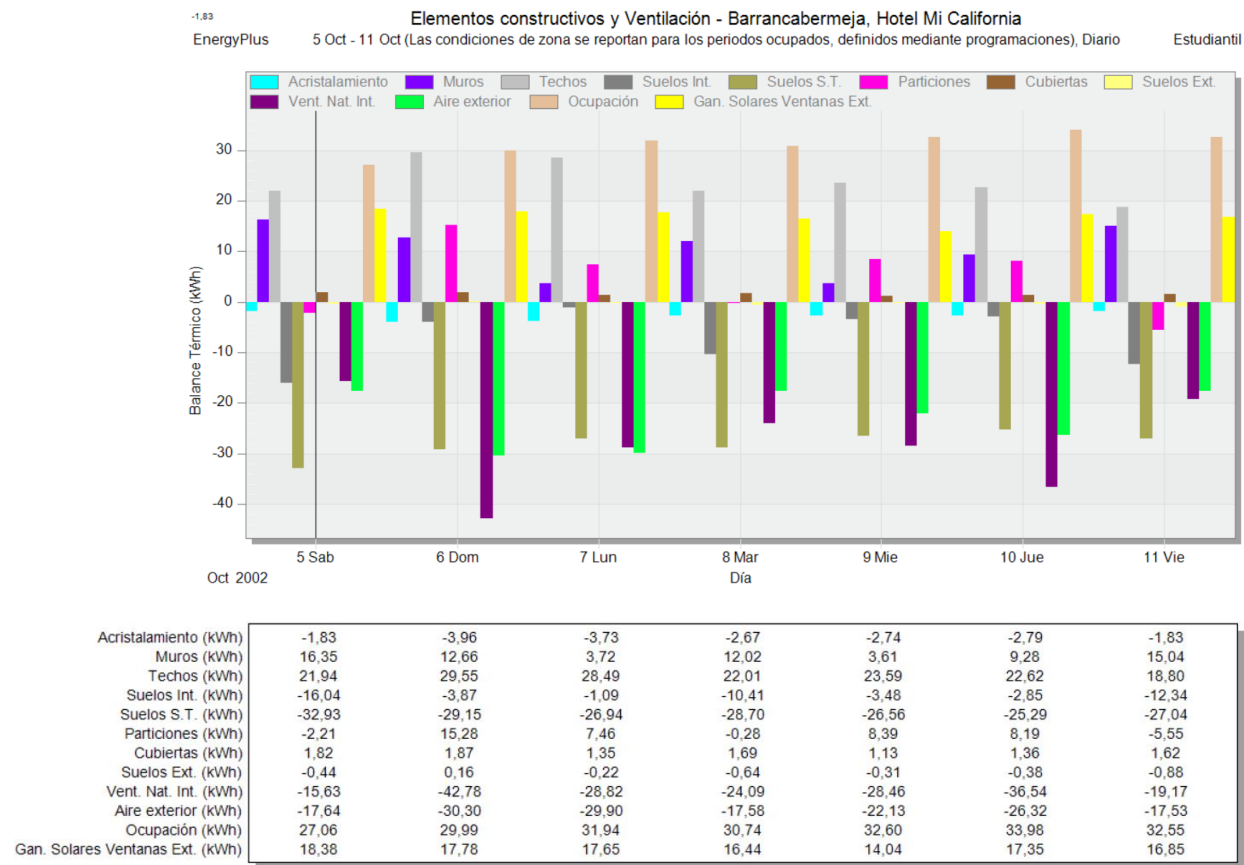


Figura 85. Ganancias térmicas diarias medias para el hotel actual en la semana de invierno.

6.5.3. Análisis de Resultados

- En la Figura 65 se puede apreciar que la temperatura operativa para todo el edificio en la semana de verano se mantiene entre los 29°C - 31°C, con humedades entre 70% - 90%. El PMV se encuentra por encima de 1,5, una unidad por encima del margen de confort de -0,5 a 0,5, dando como resultado un PPD entre 55% - 99% según la ISO-7730. En la semana de invierno la temperatura operativa para todo el edificio fluctúa entre 28°C - 30°C, con humedades entre 60% - 90%. El PMV se encuentra por encima de 1,0, media unidad por encima del margen de confort, dando como resultado un PPD entre 25% - 99%.
- En la Figura 66 se puede apreciar que en la semana de verano los muros, las cubiertas y las ganancias solares por ventanas representan la mayor parte de las ganancias internas del edificio, y que a su vez, las placas interiores, el suelo sobre el terreno y la ventilación natural ayudan con la reducción de las mismas. En la semana invierno los muros presentan una menor ganancia térmica debido a las lluvias (Figura 68).
- En los Apéndices 7 y 8 se puede apreciar que la primera planta cuenta con un mejor aislamiento que las demás plantas del edificio, logrando unos rangos de temperatura operativa entre 27°C - 30°C en la semana de verano y entre 26°C - 29°C en la semana de invierno, esto ocurre gracias al enfriamiento conductivo con el terreno y la protección de sus medianeras con los edificios aledaños.
- A medida que el edificio crece en altura va aumentando su exposición solar y, por lo tanto, su temperatura radiante y operativa. Esto se puede evidenciar en los Apéndices 9 y 10, ya que el área Este del edificio aumenta dos grados, ubicándose entre los 29°C - 30°C, mientras que el área Oeste se sigue manteniendo entre los 27°C - 30°C en la semana de verano.

- En la tercera planta (Apéndices 11 y 12) la temperatura operativa fluctúa entre los 30°C - 32°C en la semana de verano y entre los 28°C - 32°C en la semana de invierno. A este punto podemos identificar que los materiales de la fachada tienen una alta absorción térmica debido a que las temperaturas radiante y operativa no disminuyen de manera significativa durante la noche.
- La cuarta planta o altillo (Apéndice 13) tiene todas sus fachadas expuestas, además de dos ventanas ubicadas en la fachada Este y Oeste, lo que conlleva a unas temperaturas radiantes muy elevadas, y por ende, unas temperaturas operativas entre 29°C - 35°C en la semana de verano y entre 27°C - 33°C en la semana de invierno.
- En las gráficas de distribución de temperatura para la primera planta (Apéndices 14 y 15) hay un mayor número de horas entre los 27°C - 28°C en la semana de verano y entre los 26°C y 27°C en la semana de invierno. En las gráficas de distribución de temperatura para la segunda planta (Apéndices 16 y 17) hay un mayor número de horas entre los 28°C - 30°C en la semana de verano y entre los 27°C - 29°C en la semana de invierno.
- En las gráficas de distribución de temperatura para la tercera planta (Apéndices 18 y 19) hay un mayor número de horas entre los 30°C - 31°C en la semana de verano y entre los 29°C - 30°C en la semana de invierno, incrementando dos grados que la planta inferior. Y finalmente, la cuarta planta o altillo (Apéndice 20) tiene un mayor número de horas entre los 29°C - 32°C en la semana de verano y entre 29°C - 31°C en la semana de invierno, con un incremento total de 4 grados a partir de la primera planta.

6.6. Diseño de la propuesta

Para poder desarrollar una nueva propuesta que contrarreste los problemas identificados se deben tener en cuenta todos los puntos analizados anteriormente, desde las estrategias bioclimáticas más factibles para el proyecto hasta la elección de los materiales.

6.6.1. Esquema Básico

Como primera instancia se consideran las estrategias bioclimáticas con una mayor factibilidad debido al clima y a las condiciones en las que se encuentra el lote. La arquitectura vernácula para clima cálido está caracterizada por su ligereza y permeabilidad en las fachadas, por lo que será necesario generar grandes aperturas para el ingreso de ventilación natural y, a su vez, estas aberturas deberán estar sombreadas para evitar el sobrecalentamiento.

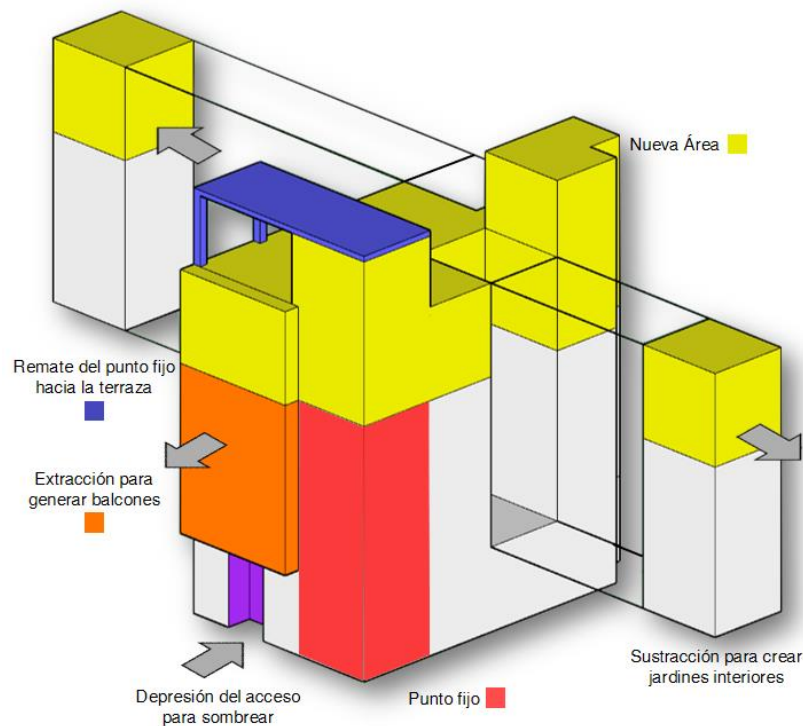


Figura 86. Composición formal de la Nueva Propuesta.

Para lograr esto, formalmente se generan dos vanos continuos en el edificio, uno al oeste en la mitad de la fachada, con orientación hacia los vientos, y otro en la esquina sureste del lote, para permitir la salida del aire una vez finalizado su recorrido por el interior del edificio. El área que aparentemente se ha perdido al sustraer ambos bloques será repuesta en pisos superiores como nueva área para habitaciones y servicios complementarios en el atillo (Ver Figura 69).

El punto fijo que antes estaba ubicado en la esquina noreste se cambiará a la esquina noroeste con el fin de generar otro espacio continuo que permita el flujo del aire al interior y salga hacia arriba del edificio rematando en una zona de la cubierta que estará cubierta para su uso común.

En la fachada frontal se extraen bloques a partir de la segunda planta para generar balcones en las habitaciones y en la circulación central con el fin de permitir el ingreso de ventilación natural e iluminar la llegada de las escaleras a cada planta.

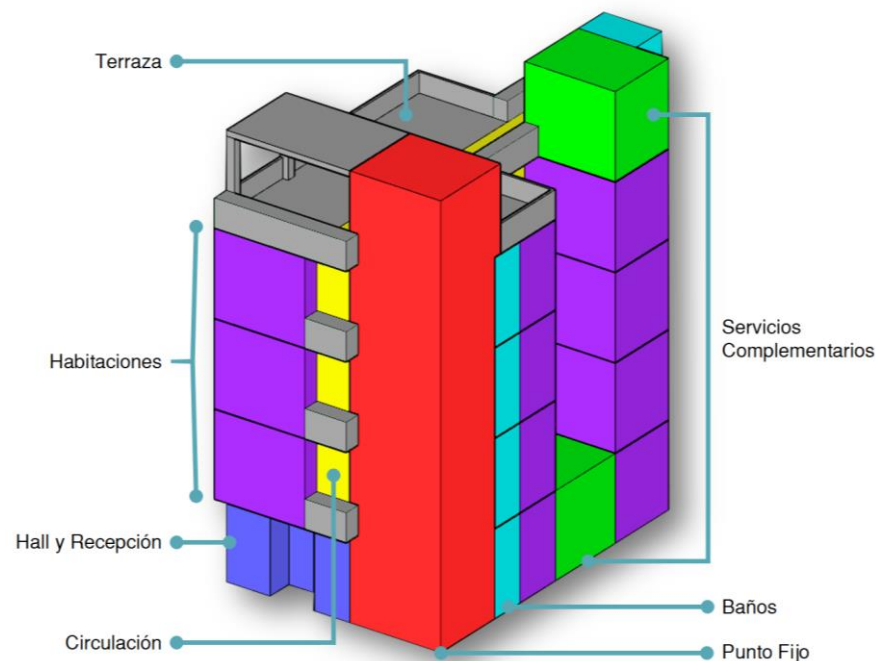


Figura 87. Zonificación de la nueva propuesta.

Debido al uso requerido de puertas de vidrio para el acceso de los hoteles, la zona correspondiente al acceso principal se deprime para generar un retroceso que permita sombrear el espacio respectivo de llegada, sala de espera y check in, con el fin de disminuir la incidencia solar directa sobre zonas de estancia constante como son la recepción y el lobby.

En la Figura 70 se puede apreciar la zonificación de la nueva propuesta, pensada para tres tipos de planta diferente: la primera planta donde se encuentra la zona administrativa, tres habitaciones (una habilitada para personas con movilidad reducida) y dos jardines interiores; una planta tipo con cuatro habitaciones que se repiten en la segunda, tercera y cuarta planta, así como los cuartos de baño para facilitar el flujo de las instalaciones sanitarias; y la última planta que está conformada por el altillo, el remate del punto fijo y una terraza pensada para uso múltiple como pueden ser: terraza-bar, zonas de estar, mirador y reuniones al aire libre.

Una vez realizadas las modificaciones formales para facilitar la adopción de las estrategias seleccionadas, se pueden aplicar otras estrategias enfocadas en la materialidad y la implementación de elementos constructivos que conformen la piel del edificio. Los referentes seleccionados se encuentran ilustrados en la Figura 71.

Las protecciones solares y la fachada ventilada jugarán un papel muy importante como estrategia preventiva contra el sobrecalentamiento, por lo que se ubicarán cortasoles de madera en las fachadas correspondientes al vano del punto fijo y de los jardines interiores, y fachada ventilada reflectiva en todos los muros expuestos. Estos últimos estarán protegidos además con una cubierta retráctil en tela impermeable para evitar el sobrecalentamiento en la circulación durante las horas del mediodía. Así mismo, la fachada principal contará con persianas abatibles en madera para ofrecer a los usuarios la autonomía de estas, permitiendo el paso de luz cuando sea necesario y protegiendo al mismo tiempo los espacios de su incidencia solar directa.

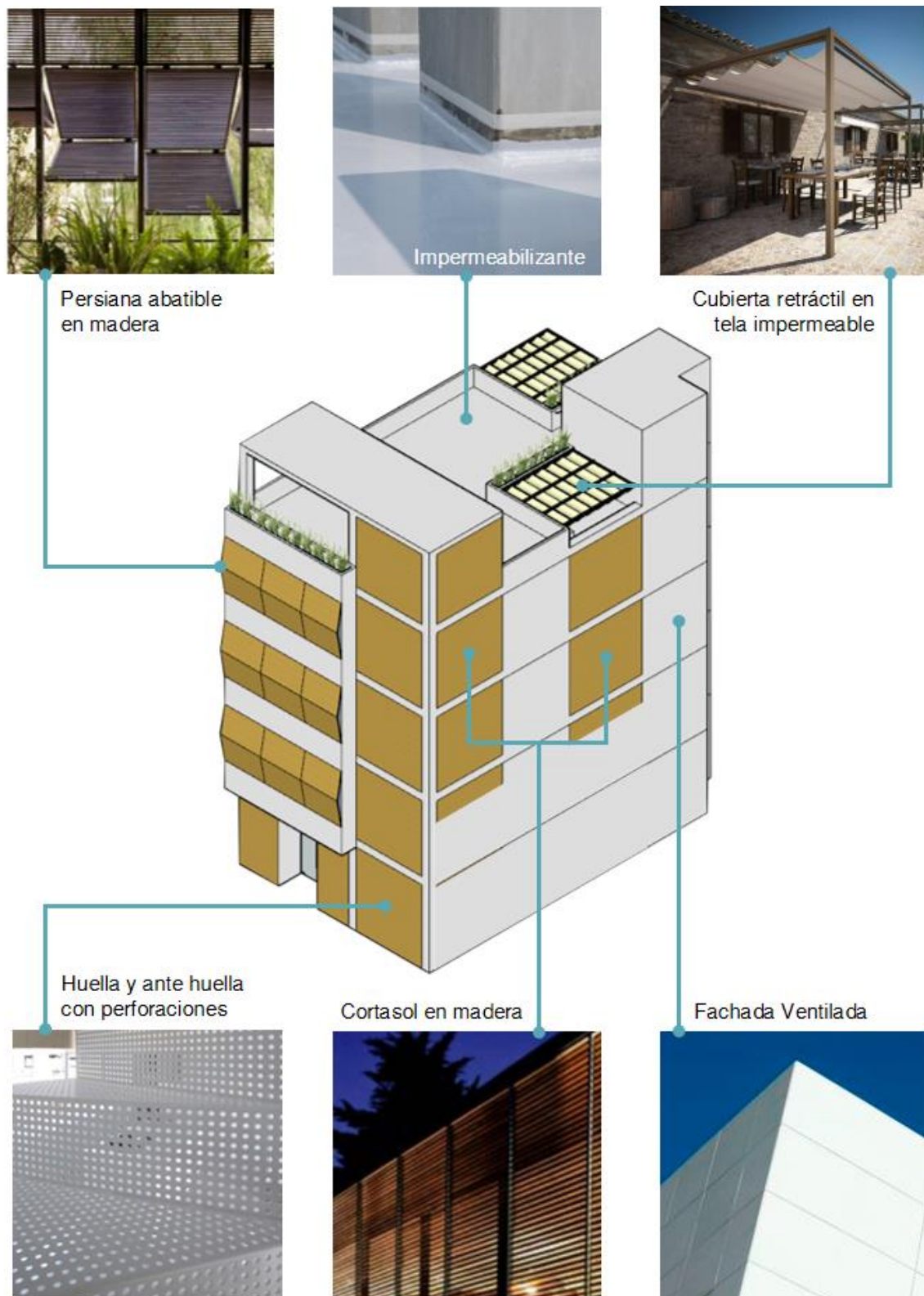


Figura 88. Referentes constructivos para la Nueva Propuesta.

En comparación con el edificio existente, el área total construida es de 294,3 m², 33,24 m² menos que el edificio inicial a pesar de que se incrementó el número de plantas. Las zonas que conforman la nueva propuesta se encuentran expuestas a continuación:

Tabla 37. Zonas de la Nueva Propuesta.

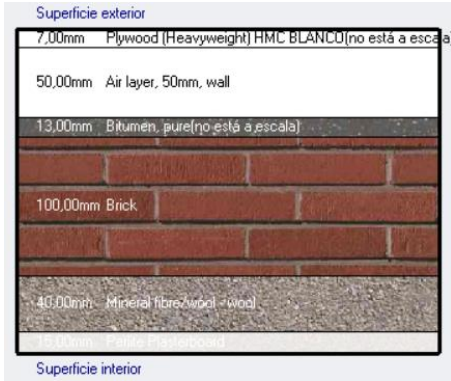
Plantas	Zonas	Sub Zonas - Espacios	Orientación	Área (m ²)
Primera Planta	Zona 1 (P1 - Habitaciones)	P1 – Hab 101 + WC	W	8,64
		P1 – Hab 102 + WC	SW	10,20
		P1 – Hab 103 PMR + WC	E	16,23
	Zona 2 (P1 – Recepción)	P1 – Hall de acceso	NE	6,87
		P1 – Recepción	NE	2,62
		P1 – Baño auxiliar	NE	1,72
	Zona 3 (P1 – Servicios)	P1 – Jardín Interior 1	W	9,57
		P1 – Jardín Interior 2	SE	9,76
Planta Tipo (Segunda, Tercera y Cuarta Planta)	Zona 4 (PT - Habitaciones)	PT – Hab T01 + WC	W	8,64
		PT – Hab T02 + WC	SW	10,20
		PT – Hab T03 + WC	E	16,08
		PT – Hab T04 + WC	NE	12,23
Quinta Planta	Zona 5 (P5 – Servicios)	P5 – Lavandería	SW	7,76
		P5 – WC	SW	2,24

6.6.2. Características constructivas de la Nueva Propuesta

En este apartado, de igual manera en la que se desarrolló la caracterización de los materiales en el edificio existente, se organizan los elementos constructivos que se implementarán en el software de modelado y simulación, en muros exteriores, particiones (Ver Tabla 48), cubierta y superficies acristaladas. En las siguientes tablas se encuentran desglosados los distintos elementos constructivos planteados para la nueva propuesta, detallando el grosor, la densidad y las propiedades térmicas para cada uno de sus componentes. Los datos presentados a continuación fueron tomados de la base de datos para cerramientos del software Design Builder.

6.6.2.1. Muro Exterior Tipo V

Tabla 38. Muro Exterior Tipo V: Ladrillo hueco y fachada con cámara de aire ventilada.



MATERIAL	GROSOR (M)	DENSIDAD (kg/m ³)	CONDUCTIVIDAD (W/m·K)
Revestimiento exterior madera	0,007	700	0,15
Cámara de aire	0,050	R térmica = 0,24 m ² .K/W	
Impermeabilizante	0,013	1050	0,17
Ladrillo hueco	0,010	1000	0,30
Aislamiento en fibra mineral	0,040	140	0,03
Estuco	0,013	400	0,08
TOTAL	0,133 m	3290 kg/m³	U = 0,73 W/m²·K

Plantillas de cerramientos

General Muros Cubiertas/Suelos/Losas/Techos Puertas Estanqueidad Masa térmica **Cámara ventilada**

Cámara ventilada

☒ Añadir hoja exterior

Fracción de área de perforaciones	0.02
Emisividad de la hoja exterior	0.90
Absortancia solar de la hoja exterior	0.15
Escala de altura para efecto chimenea (m)	0.05
Espesor efectivo de la cámara (m)	0.05
Ratio entre área total y proyectada	1.00
Rugosidad de la hoja exterior	3-Ligéramente rugoso
Efectividad de las perforaciones	0.10
Coeficiente de descarga de las perforaciones	0.50

Figura 89. Configuración de los parámetros de la cámara ventilada en la plantilla de cerramientos de la nueva propuesta.

6.6.2.2. Placas Tipo III y Tipo IV

Tabla 39. Placa Tipo III: Sobre el terreno sin cimientos – cerámica clara.



MATERIAL	GROSOR (M)	DENSIDAD (kg/m ³)	CONDUCTIVIDAD (W/m·K)
Grava	0,070	1200	0,41
Placa de concreto	0,100	2000	1,13
Cerámica	0,007	2500	1,40
TOTAL	0,177 m	5700 kg/m ³	U = 2,10 W/m ² ·K

Tabla 40. Placa Tipo IV: De entepiso con cerámica clara.



MATERIAL	GROSOR (M)	DENSIDAD (kg/m ³)	CONDUCTIVIDAD (W/m·K)
Estuco	0,013	400	0,08
Placa de concreto	0,300	2000	1,13
Cerámica	0,007	2500	1,40
TOTAL	0,320 m	4900 kg/m ³	U = 1,55 W/m ² ·K

6.6.2.3. Cubiertas Tipo III y Tipo IV

Tabla 41. Cubierta Tipo III. Plana transitable con cámara de aire ventilada.

Superficie exterior

50,00mm Cement/plaster/mortar - cement

100,00mm Air gap 100mm (downwards)

12,00mm Asphalt - reflective coat(no está a escala)

250,00mm Cast Concrete

12,00mm Portland cement concrete (no está a escala)

Superficie interior

MATERIAL	GROSOR (M)	DENSIDAD (kg/m³)	CONDUCTIVIDAD (W/m·K)
Tarima de cemento	0,050	1860	0,72
Cámara de aire	0,100	R térmica = 0,24 m².K/W	
Aislante asfáltico	0,012	2300	1,20
Placa de concreto	0,250	2000	1,13
Estuco	0,013	400	0,08
TOTAL	0,42 m	6560 kg/m³	U = 1,21 W/m²·K

Tabla 42. Cubierta Tipo IV. Cubierta retraíble de textil impermeable.

Superficie exterior

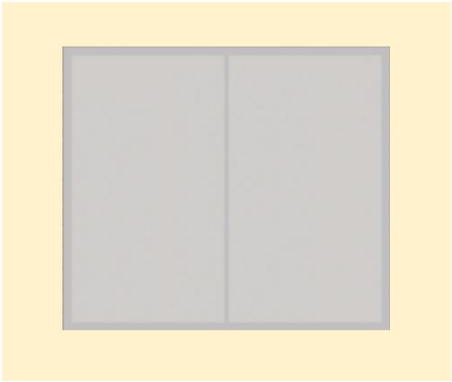
20,00mm Furniture textile

Superficie interior

MATERIAL	GROSOR (M)	RESISTENCIA (m2.K/W)	VALOR DE U (W/m²·K)
Textil impermeable	0,020	0,29	3,44
TOTAL	0,20 m	0,29 m².K/W	3,44 W/m²·K

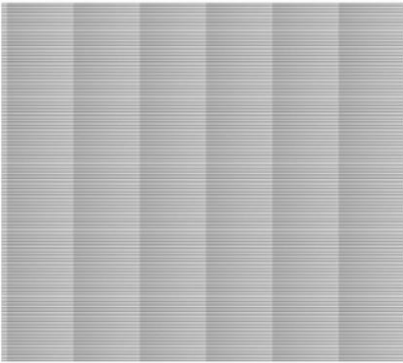
6.6.2.4. Ventanas Tipo II y Tipo III

Tabla 43. Ventana Tipo II: Doble vidrio con cámara de aire.



MATERIAL	GROSOR (M)	TRANSMITANCIA SOLAR	CONDUCTIVIDAD (W/m·K)
Vidrio genérico	0,006	0,66	0,90
Gas estándar	0,006	-	-
Vidrio genérico	0,006	0,66	0,90
TOTAL	0,018 m	U = 2,76 W/m²·K	

Tabla 44. Ventana Tipo III: Protecciones solares tipo rejilla.



CARACTERÍSTICA	GROSOR (M)	DENSIDAD (kg/m³)	ABSORTANCIA TÉRMICA	CONDUCTIVIDAD (W/m·K)
VALOR POR DEFECTO	0,02 m	120 kg/m3	0,9	0,1 W/m·K

6.7. Análisis Comparativo: Modelado 3D, Simulación y Comparación

6.7.1. Modelado 3D de la Nueva Propuesta

Una vez definido el diseño de la nueva propuesta y sus elementos constructivos se comienza a elaborar el modelado 3D en el software Design Builder para llevar a cabo las respectivas simulaciones sobre temperatura, confort, balance térmico, ganancias y ventilación natural. La plantilla del clima será la misma implementada durante las simulaciones del edificio actual para tener un ambiente controlado con el que se pueda llevar a cabo la comparación de los resultados. La información constructiva de los nuevos materiales a implementar deberá configurarse en la plantilla de cerramientos de la nueva propuesta (Ver Figura 73).

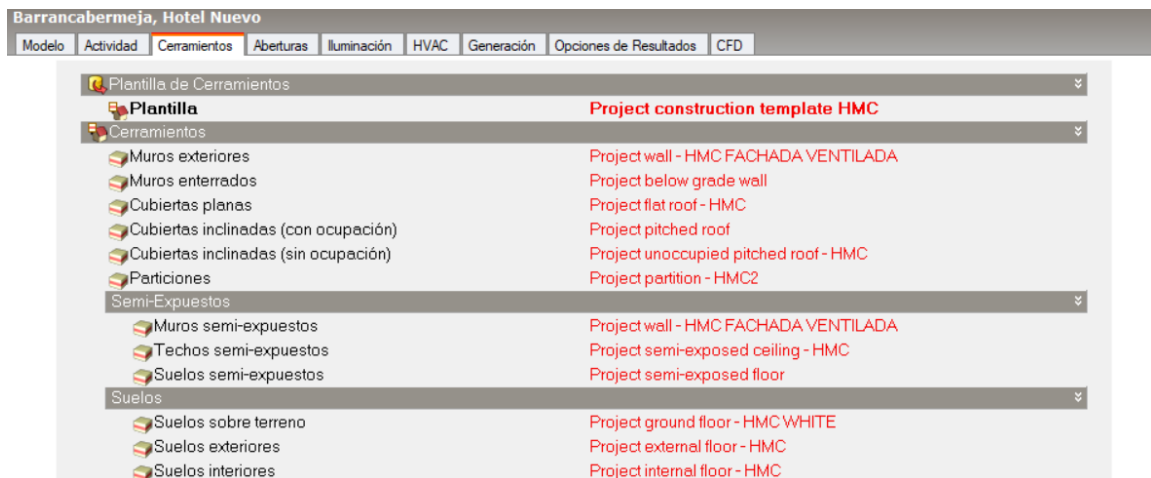


Figura 90. Configuración de la Plantilla de Cerramientos para la Nueva Propuesta.

Las zonas serán diferenciadas a partir de las particiones interiores, teniendo en cuenta además de modificar en las opciones del modelo todos aquellos espacios que se clasifican como semi-exteriores, pues su comportamiento térmico será diferente. Las diferentes zonas de ocupación en planta se muestran en la Figura 60.

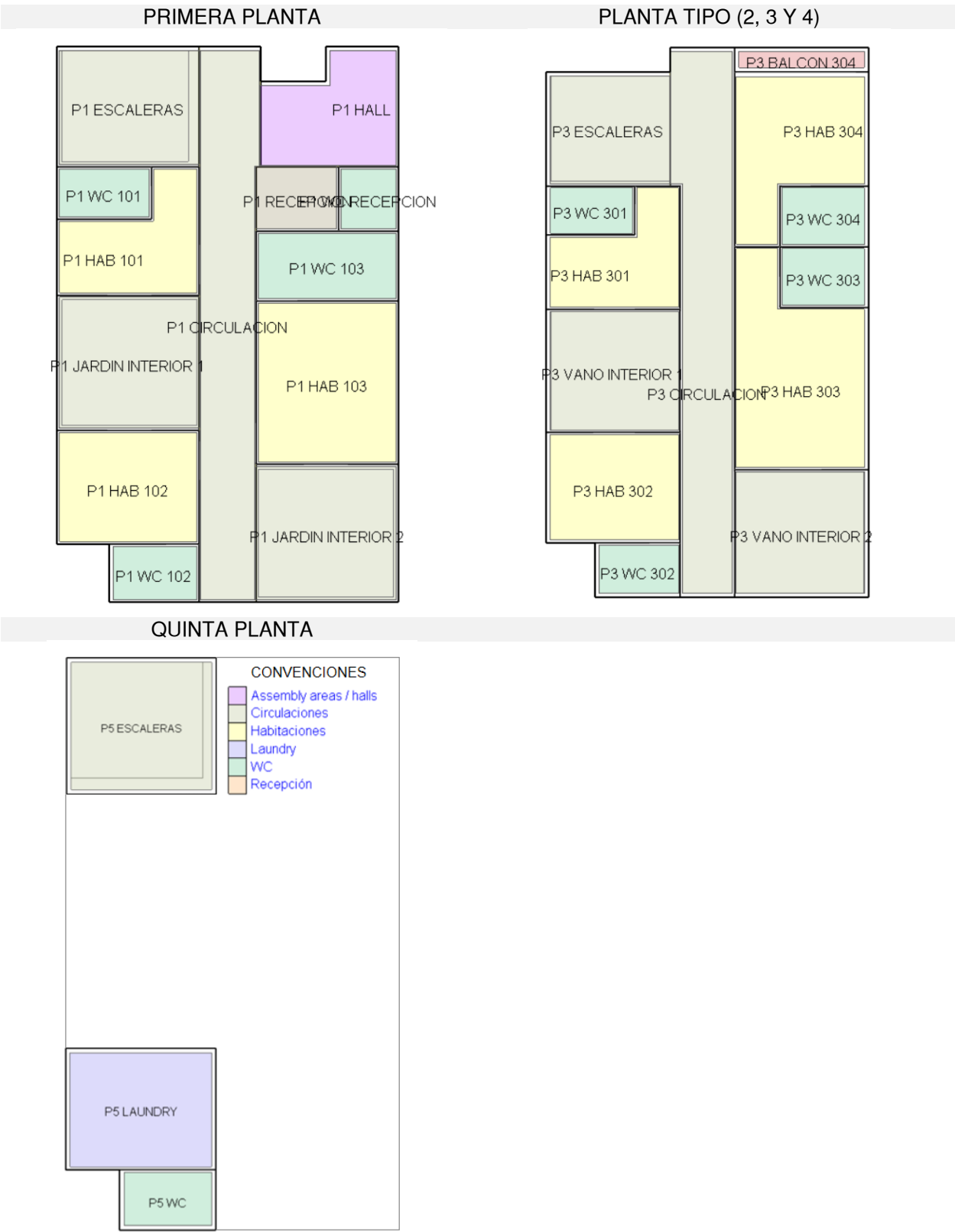


Figura 91. Zonificación de la Nueva Propuesta en Design Builder.

6.7.2. Simulaciones Térmicas

Nuevamente, antes de iniciar las simulaciones térmicas para la nueva propuesta, se deben configurar las ganancias internas y las ganancias por HVAC para todo el edificio. De esta manera, los equipos de computadoras, equipos de oficina, misceláneos y cocina, así como la iluminación y cualquier sistema de ventilación mecánica se desactivan con el fin de que los consumos sean similares para los dos edificios.

La ventilación natural es activada y configurada de forma calculada en las opciones del modelo con 5 ren/h como valor estándar para la infiltración del aire en todo el edificio. La opción de ventilación natural calculada permite hacer efectivo el flujo constante del aire en la fachada ventilada, así como también su flujo a través de los elementos de sombreamiento en el vano de la escalera y en los jardines interiores, esto debido a la complejidad que tienen dichos elementos arquitectónicos en el software de simulación.

La configuración en la pestaña de opciones de resultados será la misma seleccionada en el edificio actual, siendo esta la responsable de la consecución de las gráficas de temperatura operativa, temperatura radiante, temperatura del bulbo seco y temperatura exterior; el PMV de Fanger, las ganancias internas y solares para todo el edificio, y la distribución de temperatura operativa por espacio interior durante todo el periodo seleccionado.

Una vez realizadas todas las configuraciones se puede dar inicio a las simulaciones térmicas de la nueva propuesta. Los periodos a evaluar serán los mismos periodos simulados en el edificio existente; una semana de verano, que abarca desde el 2 hasta el 8 de Febrero, y una semana de invierno o periodo de altas lluvias, desde el 5 hasta el 11 de Octubre. En las siguientes figuras se muestran las gráficas generales del edificio para Temperatura, Confort y Ganancias térmicas en la semana de verano e invierno.

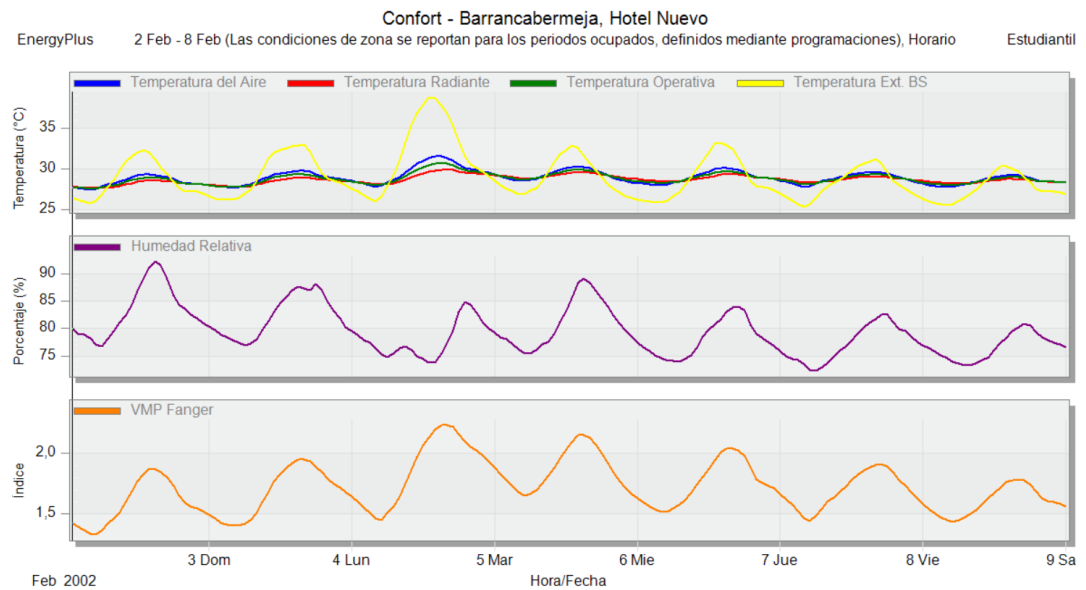


Figura 92. Gráficas horarias medias de Temperatura y Confort para la nueva propuesta en la semana de verano.

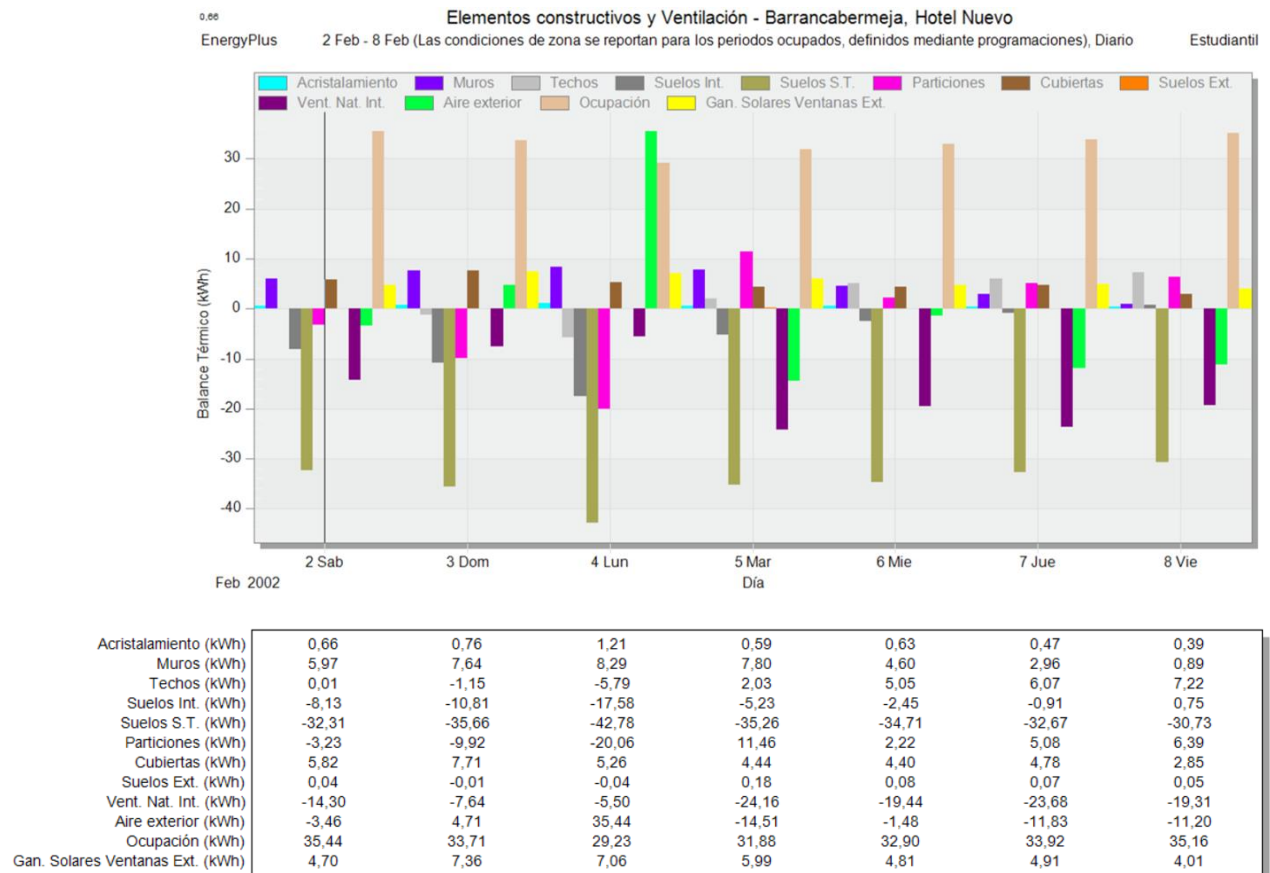


Figura 93. Ganancias térmicas diarias medias para la nueva propuesta en la semana de verano.

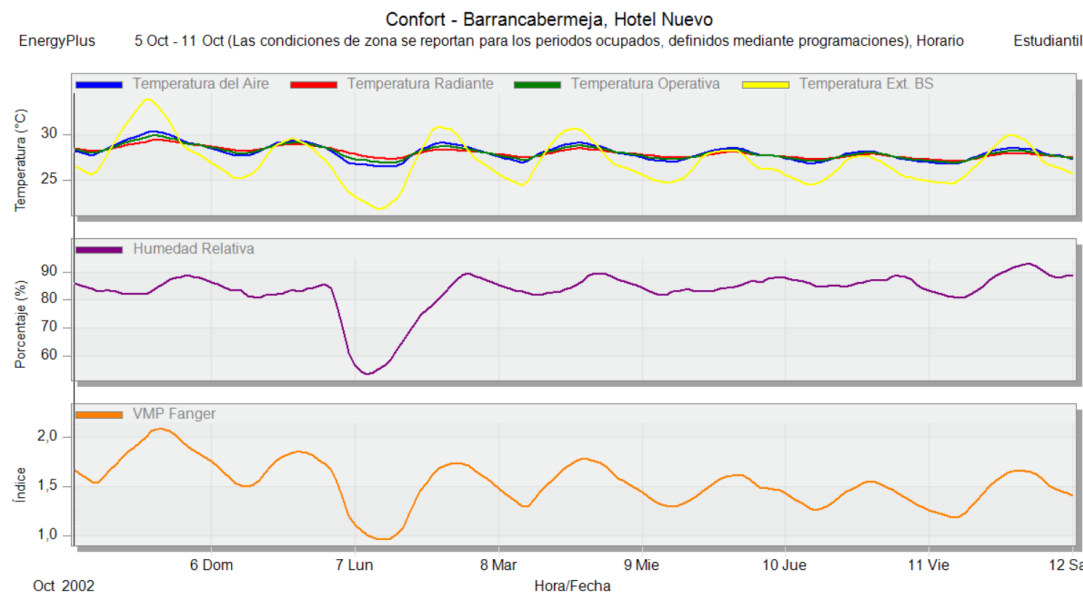


Figura 94. Gráficas horarias de Temperatura y Confort para la nueva propuesta en la semana de invierno.

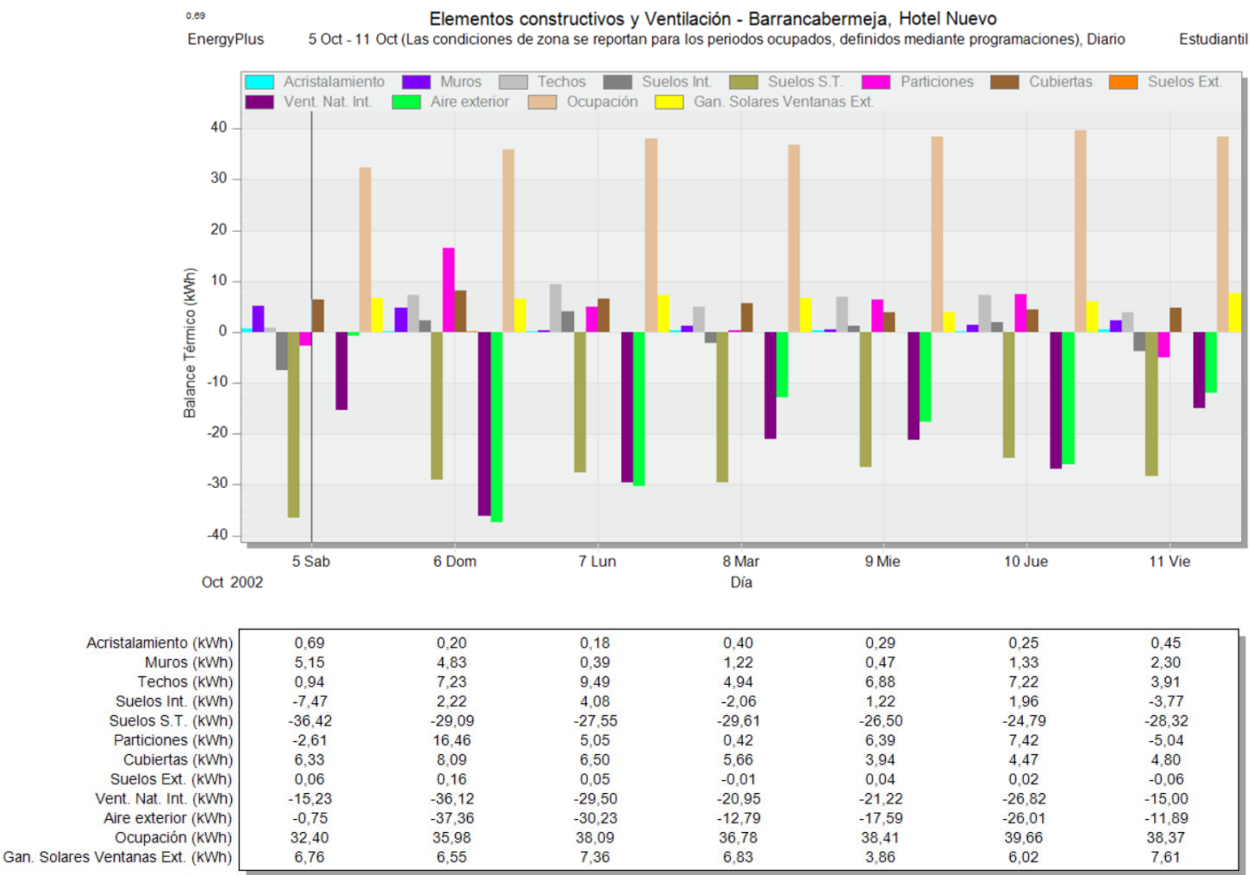


Figura 95. Ganancias térmicas diarias medias para la nueva propuesta en la semana de invierno.

6.7.3. Comparación de Resultados

- En la semana de verano la temperatura operativa para todo el edificio se ubica entre los 28°C - 30°C, con humedades entre 75%-90% (Ver Figura 75), disminuyendo un grado en comparación con el edificio existente (Ver Figura 65). El PMV se encuentra por encima de 1,3, acercándose dos décimas al margen de confort de -0,5 a 0,5, dando como resultado un PPD entre 40% - 85% según la ISO-7730. En la semana de invierno la temperatura operativa para todo el edificio se ubica entre 27°C - 29°C, con humedades entre 55% - 90% (Ver Figura 77), disminuyendo un grado en comparación con el edificio existente (Ver Figura 67). El PMV se encuentra por encima de 1,0, media unidad por encima del margen de confort, dando como resultado un PPD de 25% -80%.
- En la Figura 76 se puede apreciar que en la semana de verano las ganancias conductivas por muros, cubiertas y las ganancias solares por ventanería se encuentran cerca de los 12 kWh, 18 kWh por debajo del balance térmico del edificio existente (Ver Figura 66). Por otra parte, las principales pérdidas de calor se llevan a cabo a través del suelo sobre el terreno y la ventilación natural. En la semana de invierno (Ver Figura 78) las ganancias internas por elementos constructivos se encuentran cerca de los 10 kWh, 20 kWh por debajo del balance térmico del edificio existente (Ver Figura 68), siendo la ocupación la principal fuente de ganancia interna.
- En los Apéndices 21 y 22 se puede apreciar que la primera planta cuenta con un mejor aislamiento que las demás plantas del edificio, logrando promedios de temperatura operativa entre 26°C - 29°C en la semana de verano y entre 25°C - 29°C en la semana de invierno, 1°C menos que el hotel actual (Ver Apéndices 7 y 8).

- A medida que el edificio crece en altura y aumenta su exposición solar la temperatura radiante y operativa se ven directamente afectadas. Sin embargo, y en contraparte con el edificio existente, las fluctuaciones de temperatura entre la semana de verano e invierno son considerablemente reducidas debido a la fachada ventilada y el aislante interior. En la semana de verano para la segunda planta las fluctuaciones rondan los 29°C y en la semana de invierno rondan los 28°C (Ver Apéndices 23 y 24), 1°C menos que en el hotel actual (Ver Apéndices 9 y 10).
- Así mismo, en la tercera y cuarta planta el aislamiento en fachada y en cubierta hace constante la temperatura operativa de ambas plantas. Durante la semana de verano la temperatura operativa ronda entre los 30°C y 29°C durante la semana de invierno (Ver Apéndices 25 y 26 para tercera planta y Apéndices 27 y 28 para cuarta planta), disminuyendo hasta 2°C en la tercera planta y 3°C en la cuarta planta (Ver Apéndices 11 y 13).
- En la quinta planta o altillo el comportamiento de la temperatura operativa retoma fluctuaciones de hasta dos grados debido a la exposición solar de todas sus fachadas y a las ganancias por la cubierta sobre la lavandería. Durante la semana de verano la temperatura operativa se ubica entre 27°C - 31°C y durante la semana de invierno la temperatura operativa fluctúa entre 26°C - 30°C (Ver Apéndice 29). Debido a que el edificio actual no cuenta con una quinta planta se compara con la cuarta y última planta de éste, mostrando una reducción de hasta 4°C en la semana de verano y de hasta 3°C en la semana de invierno (Ver Apéndice 13).
- Al verificar el comportamiento de la temperatura operativa según las gráficas de distribución de temperatura para la primera planta se puede observar que hay un mayor número de horas entre 26°C - 27°C en la semana de verano (Ver Apéndice 30) y entre 25°C - 26°C en la semana de invierno (Ver Apéndice 31); en la segunda planta (Apéndices 32 y 33) hay un mayor número de horas entre los 28°C - 29°C en la semana de verano y se mantiene sobre los 28°C en la semana de invierno; en la tercera y cuarta planta la temperatura operativa se mantiene

en 29°C en la semana de verano y en 28°C en la semana de invierno (Ver Apéndices del 34 al 37); y en la quinta planta o atillo de servicios la temperatura operativa fluctúa entre 28°C - 29°C en la semana de verano y entre 26°C - 28°C en la semana de invierno (Apéndice 38), mostrando una disminución total entre 1°C - 3°C comparado con el edificio existente.

7. Conclusiones

- La nueva propuesta (Ver Figuras 75 y 77) demuestra ser más confortable que el edificio actual (Ver Figuras 65 y 67), esto es demostrable gracias a los datos gráficos de PMV (Voto medio estimado) obtenidos en las gráficas de temperatura y confort, consiguiendo que algunos espacios se acerquen a 1,0 de PMV y un porcentaje del 30% de personas insatisfechas (PPD), pero no se consigue disminuir lo suficiente para cumplir con el estándar del Método Fanger de -0,5 y 0,5 (Ver Tabla 3), valores correspondientes a una sensación térmica ligeramente fría y ligeramente caliente respectivamente.
- Según Baruch Givoni los usuarios nativos son capaces de alcanzar un mejor nivel de confort en base a su adaptabilidad siempre y cuando el aire se mantenga en constante movimiento con una velocidad aproximada de 1 m/s la cual puede ser forzada por un sistema de ventilación mecánica. Este es el caso del clima cálido húmedo extremo con temperaturas de 30°C o superiores en días muy soleados, y un promedio de 80% - 90% de humedad, donde el uso de ventilación mecánica y/o deshumidificación serán necesarias para alcanzar mejores niveles de confort. A pesar de esto, en la nueva propuesta el porcentaje de personas insatisfechas disminuirá gracias al uso de las estrategias bioclimáticas descritas a nivel arquitectónico, por lo que el uso de sistemas mecánicos o de refrigeración disminuirá de igual manera.
- Respecto al balance térmico, la nueva propuesta presenta un menor índice de absorción de calor gracias a sus superficies aislantes en fachada y en cubierta (Ver Figuras 76 y 78), consiguiendo una disminución de las ganancias a través de la envolvente de hasta 20 kWh en comparación con el edificio actual (Ver Figuras 66 y 68). El balance térmico se consigue especialmente en las habitaciones ubicadas en la tercera y cuarta planta, cuyas curvas de

temperatura son relativamente constantes a lo largo del día, generando espacios con poco intercambio de calor con el exterior, un ambiente ideal al momento de implementar sistemas mecánicos de climatización.

- Las gráficas de confort y temperatura, y las gráficas de distribución de temperatura evidencian una disminución de entre 1°C - 4°C en la temperatura operativa, especialmente en las últimas plantas del edificio, esto gracias al aislamiento que ofrece la fachada ventilada en las fachadas Este y Oeste, así como la impermeabilización y uso de una tarima en concreto con cámara de aire en la cubierta, disminuyendo el sobrecalentamiento de manera considerable.
- Gracias a este análisis comparativo se puede considerar válida y pertinente la aplicación de diversas estrategias arquitectónicas de diseño bioclimático como primera medida para disminuir el uso y la implementación de sistemas mecánicos de condicionamiento del aire en los procesos de renovación de edificaciones existentes o en la proyección de nuevos edificios.

8. Referencias Bibliográficas

- Acosta, D. (2009) Arquitectura y construcción sostenibles: Conceptos, Problemas y Estrategias. Dearq, 4 (July): pp. 14-23. Recuperado de: <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/abs/10.18389/dearq4.2009.02#readcube-epdf>
- American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineer. Handbook of Fundamentals, Atlanta, ASHRAE, 1966.
- American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineer. Ventilación para una Calidad Aceptable del Aire Interior, Atlanta, ASHRAE, 2007.
- Autodesk (2019). Flow Design. México: Autodesk Educación. Recuperado de: <https://www.autodesk.mx/education/free-software/flow-design>
- Bedoya, C., Neila, J. (1997). Técnicas arquitectónicas y constructivas de acondicionamiento ambiental.
- Big Ladder (2019). Elements. Big Ladder Software LLC. Recuperado de: <https://bigladdersoftware.com/projects/elements/>
- CIBSE AM11, Building Performance Modelling, Chartered Institution of Building Services Engineers [CIBSE]. Londres, Reino Unido. Julio del 2015.
- CIBSE TM54, Evaluating Operational Energy Performance of Buildings at the Design Stage, Chartered Institution of Building Services Engineers [CIBSE]. Londres, Reino Unido. Octubre del 2013.
- Chávez, F. (2002). Zona Variable de Confort Térmico (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España. Recuperado de: <https://www.tesisenred.net/handle/10803/6104>

- Design Builder Lat (2018). Características de Design Builder. México. Recuperado de:
<https://www.designbuilder-lat.com/caracteristicas/descripcion-general>
- EADIC (15 de noviembre de 2013). Arquitectura Bioclimática. Recuperado de:
<https://es.slideshare.net/EADIC/arquitectura-bioclimatica-28282693>
- Galiano, A. (2013). Análisis comparado de las metodologías de evaluación y certificación del comportamiento energético de los edificios en la Unión Europea (Tesis doctoral). Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante. Recuperado de:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=63897>
- Garzón, B. (2007). Arquitectura Bioclimática (1ª. Edición). Buenos Aires, Argentina: Nobuko.
- GRAITEC ArchiWIZARD (2019). Optimización energética y medioambiental. Francia: GRAITEC. Recuperado de: <https://fr.graitec.com/archiwizard/>
- Gutiérrez, C. (12 de diciembre del 2010). Ecotect: Software de Diseño de Construcción Sustentable. ArchDaily Colombia. Recuperado de: <https://www.archdaily.co/co/02-62481/ecotect-software-de-diseno-de-construccion-sustentable>
- Heywood, H. (2012). 101 Reglas Básicas para una Arquitectura de bajo Consumo Energético. Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili.
- International Energy Agency, IEA (2017). Reporte de Situación Global 2017, Estadísticas y balances energéticos mundiales. IEA / OCDE, París. Recuperado de:
www.iea.org/statistics
- Living Building Challenge (2016). Pittsburgh, EE.UU.: Green Building Alliance. Recuperado de:
<https://www.go-gba.org/resources/building-product-certifications/living-building-challenge/>

- Murray, M. (s.f.). Climate Consultant. Universidad de California, Los Ángeles: Energy Design Tools. Recuperado de: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>
- Neila, F. J. (2004). Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible. Madrid, España: Munilla-Lería.
- NSR-10, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [AIS]. Bogotá, Colombia. 19 de marzo del 2010.
- NTC 4140, Accesibilidad de las Personas al Medio Físico, Edificios, Pasillos y Corredores, Características Generales, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. Bogotá, Colombia. 23 de febrero del 2005.
- NTC 4145, Accesibilidad de las Personas al Medio Físico, Edificios, Escaleras, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. Bogotá, Colombia. 31 de mayo del 2004.
- NTC 4349, Accesibilidad de las Personas al Medio Físico, Edificios, Ascensores, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. Bogotá, Colombia. 18 de marzo de 1998.
- NTS-TS 002, Establecimientos de Alojamiento y Hospedaje, Requerimientos de Sostenibilidad, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. Bogotá, Colombia. 5 de noviembre del 2014.
- NTSH 006, Clasificación de Establecimientos de Alojamiento y Hospedaje, Categorización por Estrellas de Hoteles, Requisitos, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. Bogotá, Colombia. 27 de agosto del 2009.
- Oficina Española de Cambio Climático, OECC (2014). El Plan PIMA SOL, procedimiento. Guía para técnicos de construcción e instalaciones. Recuperado de:

https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/planes-y-estrategias/Plan-PIMA-SOL-Procedimiento_tcm30-70376.pdf

Palette 2030 (s.f). Enfriamiento Vegetativo. Recuperado de:

<http://www.2030palette.org/vegetative-cooling/>

Palette 2030 (s.f). Fachadas. Recuperado de: <http://www.2030palette.org/building-facades/>

Palette 2030 (s.f). Forma para Enfriamiento. Recuperado de: <http://www.2030palette.org/form-for-cooling/>

Palette 2030 (s.f). Sombreado: Fachada Solar. Recuperado de: <http://www.2030palette.org/solar-shading/>

Palette 2030 (s.f). Ventilación Cruzada. Recuperado de: <http://www.2030palette.org/cross-ventilation/>

Palette 2030 (s.f). Ventilación Inducida. Recuperado de: <http://www.2030palette.org/stack-ventilation/>

Palette 2030 (s.f). Ventilación Nocturna. Recuperado de: <http://www.2030palette.org/night-vent-cooling/>

Rey, F., Velasco, E. (2006). Eficiencia energética en edificios certificación y auditorías energéticas. Madrid, España: Thompson Editores Spain.

Serra, R., Coch, H. (1995). Arquitectura y energía natural. Barcelona, España: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya.

Torres, W. (2017). Comparación de metodologías de simulación energética. Caso de estudio: Simulación térmica para centro de bienestar animal (Tesis de maestría). Universidad Católica de Colombia. Recuperado de:

https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15388/1/Comparacion%20de%20Metodologias%20de%20Simulacion_Walter%20Torres.pdf

UNE-EN ISO 13786:2011, Prestaciones térmicas de los productos y componentes para edificación. Características térmicas dinámicas. Métodos de cálculo, Asociación Española de Normalización y Certificación [AENOR]. Madrid, España. 6 de Abril del 2011.

UNE-EN ISO 13790:2011, Eficiencia energética de los edificios. Cálculo del consumo de energía para calefacción y refrigeración de espacios, Asociación Española de Normalización y Certificación [AENOR]. Madrid, España. 2 de Noviembre del 2011.

UNE-EN 15217:2012, Eficiencia energética de los edificios. Métodos para expresar la eficiencia energética y para la certificación energética de los edificios, Asociación Española de Normalización y Certificación [AENOR]. Madrid, España. 16 de mayo del 2012.

UNE-EN ISO 7730:2006, Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local, Asociación Española de Normalización y Certificación [AENOR]. Madrid, España. 25 de Octubre de 2006.

World Commission on Environment and Development, WCED. (1987) Our Common Future. Recuperado de: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>