



Propuesta de criterios bioclimáticos para el diseño urbano en ciudades con climas tropicales

Caso de estudio:
Barranquilla, Colombia.

Kevin Therán Nieto

Juliana Manjarres De León

Agosto 2019

Universidad de la Costa

Propuesta de criterios bioclimáticos para el diseño urbano en ciudades con climas tropicales. Caso de estudio: Barranquilla, Colombia

Trabajo de grado para obtener el título de arquitecto

Estudiantes

Kevin Rafael Therán Nieto

Juliana Manjarres De León

Asesores

PhD. Lizeth Rodríguez Potes

Msc. Stephania Mouthon Celedón

Msc. Dalmiro García

Corporación Universidad de la Costa, CUC

Barranquilla, Colombia

2019

Resumen

Este proyecto de grado tiene por objetivo principal la formulación de una propuesta de criterios bioclimáticos para el diseño urbano en ciudades tropicales, tomando como caso de estudio la ciudad de Barranquilla, Colombia. Una propuesta de criterios bioclimáticos de diseño urbano cuya premisa esté encaminada al confort térmico urbano de los individuos en ciudades con climas tropicales. La investigación es aplicada y exploratoria, estructurada en tres fases. La primera fase inicia con la revisión de proyectos y estudios relacionados al tema: urbanismo bioclimático, diseño urbano y confort térmico urbano a partir de los efectos del microclima de una ciudad. La segunda fase comprende la realización de simulaciones virtuales de ciertos espacios seleccionados en la ciudad de Barranquilla, como caso de estudio. Espacios que reúnan ciertas condiciones y parámetros de caracterización relevantes en el diseño urbano. Este proceso de simulaciones buscará un acercamiento a la importancia del uso adecuado del microclima en el diseño urbano, estableciendo la relación de estos parámetros con las condiciones urbanas de una ciudad. La tercera y última fase es la formulación de la propuesta de criterios bioclimáticos para el diseño urbano en ciudades con climas tropicales.

Palabras clave: microclima, bioclimático, diseño urbano, confort térmico

Abstract

The main objective of this capstone project is to formulate a proposal for bioclimatic criteria for urban design in cities with tropical climates, taking the city of Barranquilla, Colombia as a case study. A proposal of bioclimatic criteria of urban design whose premise is aimed at the urban thermal comfort of individuals in cities with tropical climates. The research is applied and exploratory, structured in three phases. The first phase begins with the review of projects and studies related to the topic: bioclimatic urbanism, urban design and urban thermal comfort from the effects of the microclimate of a city. The second phase includes the realization of virtual simulations of certain selected spaces in the city of Barranquilla, as a case study. Spaces that meet certain conditions and relevant characterization parameters in urban design. This simulation process will seek an approach to the importance of the proper use of the microclimate in urban design, establishing the relationship of these parameters with the urban conditions of a city. The third and final phase is the formulation of the proposal of bioclimatic criteria for urban design in cities with tropical climates.

Keywords: microclimate, bioclimatic, urban design, thermal confort

Contenido

Lista de tablas y figuras.....	11
Introducción.....	43
1. Planteamiento del problema	48
1.2 Pregunta de la investigación¿Cuáles son las tipologías de diseño urbano que en combinación con los parámetros microclimáticos inciden en el confort térmico de espacios urbanos en ciudades con climas cálidos y/o tropicales?.....	58
2. Objetivos	58
2.1 Objetivo general	58
2.2 Objetivos específicos	58
3. Marco referencial.....	59
3.1 Planificación y diseño urbano	59
3.2 Microclima urbano	63
3.2.1 Isla de calor.....	66
3.2.2 Morfología urbana: Cañón urbano y zonas climáticas locales	69
3.2.3 Parámetros microclimáticos.....	74
3.2.4 Vegetación urbana.....	85
3.3 Confort térmico en espacios urbanos.....	89
3.4 Microclima y forma urbana de Barranquilla.....	94
3. 4.1 Ubicación geográfica y clima de Barranquilla	94

3. 4.2 Forma urbana y microclima de Barranquilla	104
4. Estado del arte	111
4.1 Morfología y microclima urbano. Caso de estudio: Valparaiso, Barcelona, España	111
4.2 El microclima urbano en los espacios abiertos	114
4.3 Arquitectura y urbanismo, aproximación bioclimática	116
4.4 Las condiciones microclimáticas en algunos espacios exteriores cubiertos	118
5. Diseño metodológico	121
5.1 Protocolo de la investigación: Simulaciones microclimáticas	129
6. Resultados	137
6.1 Mediciones microclimáticas: Análisis de la influencia de los parámetros microclimáticos sobre la percepción de confort térmico	137
6.2 Análisis de simulaciones virtuales: Incidencia de sombra (%), radiación solar acumulada y Sky View Factor (SVF).....	152
6.2.1 Espacio urbano con tejido compacto y de gran altura (LCZ 1 Compacto de gran altura) con relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur (NS):.....	152
6.2.2 Espacio urbano con tejido compacto y de gran altura (LCZ 1 Compacto de gran altura) con relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste (EO):	167
6.2.3 Espacio urbano con tejido compacto y de gran altura (LCZ 1 Compacto de gran altura) con relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste (NESO):.....	181
6.2.4 Espacio urbano con tejido compacto y de gran altura (LCZ 1 Compacto de gran altura) con relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste (NOSE):.....	194

- 6.2.5 Espacio urbano con tejido compacto y de baja altura (LCZ 3 Compacto de baja altura) con relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur (NS): 207
- 6.2.6 Espacio urbano con tejido compacto y de baja altura (LCZ 3 Compacto de baja altura) con relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste (EO): 219
- 6.2.7 Espacio urbano con tejido compacto y de baja altura (LCZ 3 Compacto de baja altura) con relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste (NOSE):..... 230
- 6.2.8 Espacio urbano con tejido compacto y de baja altura (LCZ 3 Compacto de baja altura) con relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste (NESO):..... 242
- 6.2.9 Espacio urbano con tejido abierto y de baja altura (LCZ 6 Abierto de baja altura) con relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur (NS): 252
- 6.2.10 Espacio urbano con tejido abierto y de baja altura (LCZ 6 Abierto de baja altura) con relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste (EO): 261
- 6.2.11 Espacio urbano con tejido abierto y de baja altura (LCZ 6 Abierto de baja altura) con relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste (NESO):..... 269
- 6.2.12 Espacio urbano con tejido abierto y de baja altura (LCZ 6 Abierto de baja altura) con relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste (NESO):..... 277
- 6.2.13 Espacio urbano con tejido abierto y de gran altura (LCZ 4 Abierto de gran altura) con relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur (NS): 285
- 6.2.14 Espacio urbano con tejido abierto y de gran altura (LCZ 4 Abierto de gran altura) con relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste (EO): 292
- 6.2.15 Espacio urbano con tejido abierto y de gran altura (LCZ 4 Abierto de gran altura) con relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste (NESO): 299

6.2.16 Espacio urbano con tejido abierto y de gran altura (LCZ 4 Abierto de gran altura) con relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste (NOSE):.....	306
6.3 Análisis de temperatura de confort para espacios urbanos en la ciudad de Barranquilla	313
6.4 Análisis de simulaciones virtuales de viento	314
6.4.1 Espacio urbano con tejido compacto de gran altura (LCZ 1) relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur:.....	315
6.4.2 Espacio urbano con tejido compacto de gran altura (LCZ 1) relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste:.....	315
6.4.3 Espacio urbano con tejido compacto de gran altura (LCZ 1) relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste:.....	316
6.4.4 Espacio urbano con tejido compacto de gran altura (LCZ 1) relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste:	317
6.4.5 Espacio urbano con tejido compacto de baja altura (LCZ 3) relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur:.....	318
6.4.6 Espacio urbano con tejido compacto de baja altura (LCZ 3) relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste:.....	319
6.4.7 Espacio urbano con tejido compacto de baja altura (LCZ 3) relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste:.....	319
6.4.8 Espacio urbano con tejido compacto de baja altura (LCZ 3) relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste:.....	320

6.4.9 Espacio urbano con tejido abierto de gran altura (LCZ 4) relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur:.....	321
6.4.10 Espacio urbano con tejido abierto de gran altura (LCZ 4) relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste:.....	321
6.4.11 Espacio urbano con tejido abierto de gran altura (LCZ 4) relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste:.....	322
6.4.12 Espacio urbano con tejido abierto de gran altura (LCZ 4) relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste:	323
6.4.13 Espacio urbano con tejido abierto de baja altura (LCZ 6) relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur:.....	323
6.4.14 Espacio urbano con tejido abierto de baja altura (LCZ 6) relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste:.....	324
6.4.15 Espacio urbano con tejido abierto de baja altura (LCZ 6) relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste:.....	325
6.4.16 Espacio urbano con tejido abierto de baja altura (LCZ 6) relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste:.....	325
6.5 Propuesta de criterios bioclimáticos para el diseño urbano en ciudades con climas tropicales. Caso de estudio: Barranquilla, Colombia.	327
6.5.1 Espacios urbanos con tejido compacto y de gran altura (LCZ 1) relación H/W igual a 1:.....	328
6.5.2 Espacios urbanos con tejido abierto y de gran altura (LCZ 4) relación H/W igual a 1:.....	329

6.5.3 Espacios urbanos con tejido compacto y de baja altura (LCZ 3) relación H/W igual a 0.75:	333
6.5.4 Espacios urbanos con tejido abierto y de baja altura (LCZ 6) relación H/W igual a 0.75:	335
7. Conclusiones.....	344
Referencias	348

Lista de tablas y figuras

Tablas

Tabla 1 Interacción entre el medio urbano y natural en el microclima urbano	53
Tabla 2 Zonas climáticas locales	71
Tabla 3 Mediciones del clima 2018 en la ciudad de Barranquilla.....	96
Tabla 4 Índice UV.....	96
Tabla 5 Ficha de datos de mediciones de campo.....	123
Tabla 6 Escala de sensación térmica PMV (FANGER)	125
Tabla 7 Encuesta de percepción de confort.....	125
Tabla 8 Tipologías urbanas a modelizar	127
Tabla 9 Tipologías de espacios urbanos con arborización	128
Tabla 10 Tipos de tejido según las zonas climáticas locales (LCZ).....	128
Tabla 11 Estrategias bioclimáticas de diseño urbano	129
Tabla 12 Arborización escogida	130
Tabla 13 Tipologías de espacios urbanos.....	132
Tabla 14 Elementos analizados en el estudio de sombras en Ecotect.....	134
Tabla 15 Mediciones de parámetros microclimáticos 24 a 30 de enero del año 2019	136
Tabla 16 Promedio de mediciones de parámetros microclimáticos 2017.....	137
Tabla 17 Datos solares diarios tabulados elemento suelo del espacio bajo sombra artificial	146
Tabla 18 Datos solares diarios tabulados elemento suelo del espacio arborizado	147
Tabla 19 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 1 con h/w igual a 1 con orientación Norte-Sur.....	157

Tabla 20 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 1 con h/w igual a 1 con orientación Norte-Sur	160
Tabla 21 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 1 con h/w igual a 1 con orientación Este-Oeste.....	173
Tabla 22 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 1 con h/w igual a 1 con orientación Este-Oeste	175
Tabla 23 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 1 con h/w igual a 1 con orientación Noreste-Suroeste.....	186
Tabla 24 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 1 con h/w igual a 1 con orientación Noreste-Suroeste	188
Tabla 25 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 1 con h/w igual a 1 con orientación Noroeste-Sureste.....	200
Tabla 26 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 1 con h/w igual a 1 con orientación Noroeste-Sureste	201
Tabla 27 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 3 con h/w igual a 0.75 con orientación Norte-Sur	212
Tabla 28 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 3 con h/w igual a 0.75 con orientación Norte-Sur.....	213
Tabla 29 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 3 con h/w igual a 0.75 con orientación Este-Oeste.....	223
Tabla 30 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 3 con h/w igual a 0.75 con orientación Este-Oeste	225
Tabla 31 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 3 con h/w igual a 0.75 con orientación Noreste-Suroeste.....	235

Tabla 32 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 3 con h/w igual a 0.75 con orientación Noreste-Suroeste	236
Tabla 33 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 3 con h/w igual a 0.75 con orientación Noroeste-Sureste.....	245
Tabla 34 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 3 con h/w igual a 0.75 con orientación Noroeste-Sureste	247
Tabla 35 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 6 con h/w igual a 0.75 con orientación Norte-Sur	253
Tabla 36 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 6 con h/w igual a 0.75 con orientación Norte-Sur.....	256
Tabla 37 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 6 con h/w igual a 0.75 con orientación Este-Oeste.....	262
Tabla 38 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 6 con h/w igual a 0.75 con orientación Este-Oeste	265
Tabla 39 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 6 con h/w igual a 0.75 con orientación Noreste-Suroeste.....	270
Tabla 40 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 6 con h/w igual a 0.75 con orientación Noreste-Suroeste	272
Tabla 41 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 6 con h/w igual a 0.75 con orientación Noroeste-Sureste.....	278
Tabla 42 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 6 con h/w igual a 0.75 con orientación Noroeste-Sureste	280
Tabla 43 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 4 con h/w igual a 1 con orientación Norte-Sur.....	286

Tabla 44 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 4 con h/w igual a 1 con orientación Norte-Sur	288
Tabla 45 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 4 con h/w igual a 1 con orientación Este-Oeste.....	293
Tabla 46 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 4 con h/w igual a 1 con orientación Este-Oeste	295
Tabla 47 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 4 con h/w igual a 1 con orientación Noreste-Suroeste.....	300
Tabla 48 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 4 con h/w igual a 1 con orientación Noreste-Suroeste	302
Tabla 49 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 4 con h/w igual a 1 con orientación Noroeste-Sureste.....	307
Tabla 50 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 4 con h/w igual a 1 con orientación Noroeste-Sureste	309
Tabla 51 Temperatura de confort (°C) en la ciudad de Barranquilla.....	313
Tabla 52 Radiación incidente (Wh/m ²) en los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura (LCZ 1)	328
Tabla 53 Porcentaje de sombras (%) sobre los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura (LCZ 1)	329
Tabla 54 Radiación incidente (Wh/m ²) en los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura (LCZ 4).....	330
Tabla 55 Porcentaje de sombras (%) sobre los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura (LCZ 4).....	330

Tabla 56 Radiación incidente (Wh/m^2) en los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura (LCZ 3).....	334
Tabla 57 Porcentaje de sombras (%) sobre los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura (LCZ 3)	334
Tabla 58 Radiación incidente (Wh/m^2) en los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura (LCZ 6)	336
Tabla 59 Porcentaje de sombras (%) sobre los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura (LCZ 6)	336

Figuras

Figura 1 Modificaciones en el microclima urbano.	65
Figura 2 Perfiles de temperatura de isla de calor superficial..	67
Figura 3 Perfil de cañón urbano.....	69
Figura 4 Disminución de la velocidad del viento en zonas urbanas..	77
Figura 5 Comportamiento del viento en cañones urbanos con diferente relación de aspecto..	78
Figura 6 Interacciones radiactivas entre el cuerpo humano y el ambiente construido..	80
Figura 7 Morfología urbana y radiación solar directa incidente en el cañón urbano.	81
Figura 8 Distribuciones esquemáticas de la radiación solar según la morfología urbana (h/w)..	82
Figura 9 Morfología urbana y ángulo de obstrucción de la radiación solar directa..	83
Figura 10 Tipología de arborización.....	89
Figura 11 Intercambio de energía entre el cuerpo humano y el ambiente urbano.....	93
Figura 12 Temperatura entre los meses de enero y noviembre del año 2018.	97
Figura 13 Humedad entre los meses de enero y noviembre del año 2018.	97

Figura 14 Velocidad del viento entre los meses de enero y noviembre del año 2018.....	98
Figura 15 Rosa de viento: Enero 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019)	99
Figura 16 Rosa de viento: Febrero 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019)	99
Figura 17 Rosa de viento: Marzo 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019)	100
Figura 18 Rosa de viento: Abril 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019).....	100
Figura 19 Rosa de viento: Mayo 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019).....	101
Figura 20 Rosa de viento: Junio 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019).....	101
Figura 21 Rosa de viento: Julio 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019).....	102
Figura 22 Rosa de viento: Agosto 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019)	102
Figura 23 Rosa de viento: Septiembre 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019)	103
Figura 24 Rosa de viento: Octubre 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019)	103
Figura 25 Área urbana (%) por densidad de edificación en Barranquilla.....	104
Figura 26 Análisis de la forma urbana de Barranquilla según la variable de densidad de edificación.	105

Figura 27 Área urbana (%) según la altura del edificio en Barranquilla..	106
Figura 28 Análisis de la forma urbana de Barranquilla por variables de altura del edificio..	108
Figura 29 Intensidad teórica de la isla de calor urbano en Barranquilla. Dependiendo de la gradación de color, el mapa muestra que la mayor diferencia es entre las zonas industriales y la zona de baja vegetación ($\Delta\text{TLCZ10-LCZD}$).	109
Figura 30 Localización de la ciudad de aplicación y experimentación de la segunda fase de estudio..	122
Figura 31 Localización del sector referencia de estudio.	122
Figura 32 Espacios seleccionados para mediciones. En su orden, espacio mixto, espacio bajo sombra artificial, espacio arborizado, espacio soleado y parqueadero cubierto.	
Fuente:.....	126
Figura 33 Elementos analizados en el estudio de sombras en Ecotect según orientación y materiales de estos elementos.....	135
Figura 34 Comparación de resultados promedios por espacio: Temperatura del aire.	139
Figura 35 Comparación de resultados promedios por espacio: Humedad relativa.	139
Figura 36 Comparación de resultados promedios por espacio: Velocidad del viento.....	140
Figura 37 Comparación de datos por espacio: Temperatura del aire.....	141
Figura 38 Comparación de datos por espacio: Velocidad de viento.....	142
Figura 39 Análisis de los efectos del viento: Vista general de los espacios seleccionados..	143
Figura 40 Análisis de los efectos del viento: Zonas de alta y baja presión.....	144
Figura 41 Análisis de los efectos del viento: Espacio soleado.....	145
Figura 42 Análisis de los efectos del viento: Espacio arborizado..	145

Figura 43 Porcentaje de sombra incidente en el elemento suelo.....	148
Figura 44 Diagrama estereográfico: Sombra incidente en elemento suelo del espacio bajo sombra artificial.	149
Figura 45 Diagrama estereográfico: Sombra incidente en elemento suelo del espacio arborizado.....	150
Figura 46 Gráfica de dispersión: Sensación térmica y velocidad del viento.....	151
Figura 47 Gráfica de dispersión: Sensación térmica y temperatura del aire.	151
Figura 48 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur.....	153
Figura 49 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 10:00 a.m., vista en planta: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur.....	154
Figura 50 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur.....	155
Figura 51 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 04:00 p.m., vista en planta: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur.....	155
Figura 52 Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur..	156
Figura 53. Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 10:00 a.m., vista en planta: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur.....	157

Figura 54. Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur.	157
Figura 55 Análisis comparativo de sombra incidente por elementos del cañón urbano para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur.....	159
Figura 56 Análisis comparativo de sombra incidente por elementos del cañón urbano para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur.....	161
Figura 57 Diagrama estereográfico fachada este (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur..	163
Figura 58 Diagrama estereográfico fachada oeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur..	163
Figura 59 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur..	164
Figura 60 Diagrama estereográfico fachada este (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur..	164
Figura 61 Diagrama estereográfico fachada oeste (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur..	165

Figura 62 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur.....	166
Figura 63 Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (16 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur.....	167
Figura 64 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.. ...	168
Figura 65 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 12:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.. ...	169
Figura 66 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.. ...	170
Figura 67 Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este- Oeste.....	171
Figura 68 Análisis radiación solar acumulada (vista en planta) 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.. ..	172
Figura 69 Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este- Oeste.....	172
Figura 70 Análisis comparativo de sombra incidente por elementos del cañón urbano para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.. ..	174

Figura 71 Análisis comparativo de sombra incidente por elementos del cañón urbano para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.....	176
Figura 72 Diagrama estereográfico fachada sur (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.. ...	177
Figura 73 Diagrama estereográfico fachada norte (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.....	177
Figura 74 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.....	178
Figura 75 Diagrama estereográfico fachada sur (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.....	179
Figura 76 Diagrama estereográfico fachada norte (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.....	179
Figura 77 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.....	180
Figura 78 Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (16 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste..	181

Figura 79 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste..	182
Figura 80 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste..	183
Figura 81 Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	184
Figura 82 Análisis radiación solar acumulada (vista en planta) 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	185
Figura 83 Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	186
Figura 84 Análisis comparativo de sombra incidente por elementos del cañón urbano para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	187
Figura 85 Análisis comparativo de sombra incidente por elementos del cañón urbano para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	189
Figura 86 Diagrama estereográfico fachada sureste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	190

Figura 87 Diagrama estereográfico fachada noroeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	190
Figura 88 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	191
Figura 89 Diagrama estereográfico fachada sureste (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	192
Figura 90 Diagrama estereográfico fachada noroeste (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	192
Figura 91 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	193
Figura 92 Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (16 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	194
Figura 93 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste..	195
Figura 94 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste..	196

Figura 95 Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	197
Figura 96 Análisis radiación solar acumulada (vista en planta) 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	198
Figura 97 Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	199
Figura 98 Análisis radiación solar acumulada (vista en planta) 21 de diciembre a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	199
Figura 99 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	201
Figura 100 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	203
Figura 101 Diagrama estereográfico fachada noreste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	203
Figura 102 Diagrama estereográfico fachada suroeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	204

Figura 103 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	204
Figura 104 Diagrama estereográfico fachada noreste (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.....	205
Figura 105 Diagrama estereográfico fachada suroeste (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	206
Figura 106 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	206
Figura 107 Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (16 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	206
Figura 108 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur..	208
Figura 109 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur..	209
Figura 110 Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur.....	210

Figura 111 Análisis radiación solar acumulada (vista en planta) 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur.....	211
Figura 112 Análisis radiación solar acumulada (vista en planta) 21 de diciembre a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur.....	211
Figura 113 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur.....	213
Figura 114 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur.....	215
Figura 115 Diagrama estereográfico fachada este (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur.....	216
Figura 116 Diagrama estereográfico fachada oeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur.....	216
Figura 117 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur.....	217
Figura 118 Diagrama estereográfico fachada este (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur.....	217

Figura 119 Diagrama estereográfico fachada oeste (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur.....	218
Figura 120 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur.....	218
Figura 121 Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur.....	219
Figura 122 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste..	220
Figura 123 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste..	221
Figura 124 Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste.....	222
Figura 125 Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste.....	223
Figura 126 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste.....	225

Figura 127 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste.....	226
Figura 128 Diagrama estereográfico fachada sur (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste.....	227
Figura 129 Diagrama estereográfico fachada norte (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste.....	227
Figura 130 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste.....	228
Figura 131 Diagrama estereográfico fachada sur (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste.....	228
Figura 132 Diagrama estereográfico fachada norte (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste.....	229
Figura 133 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste.....	229
Figura 134 Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste.....	230

Figura 135 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste.....	231
Figura 136 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste.....	232
Figura 137 Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste.....	233
Figura 138 Análisis radiación solar acumulada (vista en planta) 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste.....	234
Figura 139 Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste.....	234
Figura 140 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste.....	236
Figura 141 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste.....	237
Figura 142 Diagrama estereográfico fachada sureste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste.....	238

Figura 143 Diagrama estereográfico fachada noroeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste.....	239
Figura 144 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste.....	239
Figura 145 Diagrama estereográfico fachada sureste (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste.....	240
Figura 146 Diagrama estereográfico fachada noroeste (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste.....	240
Figura 147 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste.....	241
Figura 148 Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (16 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste.....	241
Figura 149 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste.....	242
Figura 150 Análisis radiación solar acumulada (vista en planta) 21 de junio a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste.....	243

Figura 151 Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste.....	243
Figura 152 Análisis radiación solar acumulada 21 diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste.....	244
Figura 153 Análisis radiación solar acumulada 21 diciembre a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste.....	245
Figura 154 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste.....	246
Figura 155 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste.....	248
Figura 156 Diagrama estereográfico fachada noreste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste.....	249
Figura 157 Diagrama estereográfico fachada suroeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste.....	249
Figura 158 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste.....	250

Figura 159 Diagrama estereográfico fachada noreste (10 horas) para 21 de diciembre:

Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste..... 250

Figura 160 Diagrama estereográfico fachada suroeste (10 horas) para 21 de diciembre:

Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste..... 251

Figura 161 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de diciembre:

Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste..... 251

Figura 162 Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de

diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste..... 252

Figura 163 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio

urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur.. 254

Figura 164 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio

urbano con tejido abierto de baja altura vs espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur.. 254

Figura 165 Sombras generadas por los árboles para 21 de junio (10 horas): Espacio urbano

con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur..... 256

Figura 166 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 diciembre: Espacio

urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur.. 257

Figura 167 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura vs espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur..	258
Figura 168 Diagrama estereográfico fachada este (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur..	259
Figura 169 Diagrama estereográfico fachada oeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur..	260
Figura 170 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur..	260
Figura 171 Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur.....	261
Figura 172 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste.....	263
Figura 173 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura vs espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste..	263
Figura 174 Sombras generadas por los árboles para 21 de junio (10 horas): Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste.	264

Figura 175 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste.....	266
Figura 176 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura vs espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste..	266
Figura 177 Diagrama estereográfico fachada sur (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste.....	267
Figura 178 Diagrama estereográfico fachada norte (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste.....	268
Figura 179 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste.....	268
Figura 180 Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste.	269
Figura 181 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste.	271
Figura 182 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura vs espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste..	271

Figura 183 Sombras generadas por los árboles para 21 de junio (10 horas): Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste..	272
Figura 184 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste..	274
Figura 185 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura vs espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste..	274
Figura 186 Diagrama estereográfico fachada sureste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste..	275
Figura 187 Diagrama estereográfico fachada noroeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste..	276
Figura 188 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia..	276
Figura 189 Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste..	277
Figura 190 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste..	279

Figura 191 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura vs espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste..	279
Figura 192 Sombras generadas por los árboles para 21 de junio (10 horas): Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste..	280
Figura 193 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste..	282
Figura 194 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura vs espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste..	282
Figura 195 Diagrama estereográfico fachada noreste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste..	283
Figura 196 Diagrama estereográfico fachada suroeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste..	284
Figura 197 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste..	284
Figura 198 Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste..	285

Figura 199 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur..	287
Figura 200 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura vs espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur..	287
Figura 201 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur..	289
Figura 202 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura vs espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur..	289
Figura 203 Diagrama estereográfico fachada este (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur..	290
Figura 204 Diagrama estereográfico fachada oeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur..	291
Figura 205 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur..	291
Figura 206 Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur..	292

Figura 207 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.	294
Figura 208 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura vs espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.....	294
Figura 209 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste..	296
Figura 210 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura vs espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.....	296
Figura 211 Diagrama estereográfico fachada sur (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.	297
Figura 212 Diagrama estereográfico fachada norte (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste..	298
Figura 213 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste..	298
Figura 214 Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.....	299

Figura 215 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	301
Figura 216 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura vs espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	301
Figura 217 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	303
Figura 218 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura vs espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	303
Figura 219 Diagrama estereográfico fachada sureste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	304
Figura 220 Diagrama estereográfico fachada noroeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	305
Figura 221 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	305
Figura 222 Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste.....	306

Figura 223 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	308
Figura 224 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura vs espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	308
Figura 225 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	310
Figura 226 Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura vs espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	310
Figura 227 Diagrama estereográfico fachada noreste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	311
Figura 228 Diagrama estereográfico fachada suroeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	312
Figura 229 Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	312
Figura 230 Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste.....	313

Figura 231 Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 1 relación H/W igual a 1 y orientación Norte-sur.....	315
Figura 232 Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 1 relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-suroeste.....	316
Figura 233 Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 1 relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-sureste.....	317
Figura 234 Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 1 relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.....	318
Figura 235 Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 3 relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur..	319
Figura 236 Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 3 relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste..	319
Figura 237 Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 3 relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste..	320
Figura 238 Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 3 relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste..	321
Figura 239 Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 4 relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur..	321
Figura 240 Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 4 relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste..	322
Figura 241 Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 4 relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste..	323
Figura 242 Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 4 relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste.....	323

Figura 243 Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 6 relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur..	324
Figura 244 Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 6 relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste..	325
Figura 245 Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 6 relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste..	325
Figura 246 Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 6 relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste..	326
Figura 247 Perfil vial espacio urbano con tejido abierto de gran altura y relación H/W igual a 1.....	332
Figura 248 Vista en planta espacio urbano con tejido abierto de gran altura y relación H/W igual a 1.	332
Figura 249 Modelizado espacio urbano con tejido abierto de gran altura y relación H/W igual a 1	333

Introducción

El cambio climático, el calentamiento global, los problemas urbanos relacionados con el diseño y planificación territorial, y el desarrollo sostenible hacen parte de los retos que las ciudades, en pleno siglo XXI, deben afrontar. El aumento de la población mundial y la necesidad habitacional, de cierta forma, ha llevado al incremento de la construcción y creación de nuevas formas de diseñar y planear la ciudad. Pero, ¿con qué criterios se están construyendo los nuevos espacios habitacionales y de convivencia? ¿Cuál es la premisa que impulsa a los arquitectos y urbanistas a diseñar? ¿Se está haciendo frente a los distintos problemas urbanos o simplemente se termina agravándolos?

A partir de la Revolución Industrial (siglo XVIII) el hombre pareció olvidar los notables avances logrados hasta entonces en el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables y comenzó a utilizar indiscriminadamente los energéticos fósiles, como el carbón, iniciándose con esto el deterioro de nuestra ambiente causa de la contaminación del aire, la tierra y el agua. La utilización de la energía en la arquitectura y el urbanismo ha tenido también su gran impacto (García Chávez & Fuentes Freixnet, 2005, pág. 5). Este proyecto de grado permite reflexionar y tomar una postura crítica sobre el papel del arquitecto y urbanista en el diseño de espacios urbanos, la correcta idealización de la ciudad, los criterios de construcción y la búsqueda de soluciones prácticas para los distintos problemas urbano-ambientales. De esta manera, los planificadores de la ciudad, además de poseer una visión urbano-arquitectónica moderna y vanguardista, deben tener la capacidad de reducir los riesgos y vulnerabilidades de la comunidad, y buscar el bienestar social y confort humano.

La planificación urbana debe considerar los criterios de economía energética y el adecuado aprovechamiento de los recursos naturales locales para equilibrar el diseño urbano con

las variables climáticas, topográficas y territoriales de cada municipio y así conseguir una optimización en todas las áreas urbanas. El fenómeno urbano y su planificación es complejo y está sometido a diversas influencias y decisiones desde muchos puntos de vista, sociales, económicos, políticos, administrativos, jurídicos, etc. (Higuera, 1998, pág. 5). Así, se hace necesario, que los criterios para diseñar los espacios urbanos y la ciudad misma tengan en cuenta los parámetros del microclima como viento, temperatura del aire, humedad relativa y radiación, la morfología, el medio ambiente e incluso el confort térmico. Aspectos como el confort y la salud humana, la disponibilidad de agua, de alimentos y energía, la movilidad intraurbana e interurbana, el desarrollo de las diversas actividades y las amenazas y riesgos a los que están expuestas las comunidades y los sectores socioeconómicos de un sistema urbano, están influidos por la calidad del aire, la dinámica atmosférica y el clima (Conde, Pabón, & Sánchez Rodríguez, 2013, pág. 27).

La arquitectura de hoy en día, supuestamente al servicio del hombre, ignora que la necesidad fundamental de albergue de este no ha variado en el tiempo. En efecto, protegerse de las condiciones ambientales adversas ha sido la premisa fundamental del hábitat del hombre desde sus primeras manifestaciones (García Chávez & Fuentes Freixnet, 2005, pág. 5). “La planificación urbana requiere conocer los patrones climatológicos que aseguran el funcionamiento de la ciudad, incluidas las particularidades de la variabilidad climática” (Conde, Pabón, & Sánchez Rodríguez, 2013, pág. 37). La ciudad se puede entender como un ecosistema siendo el hombre y sus sociedades subsistemas del mismo (Higuera, 1998, pág. 11). Existen factores que determinan el confort en los espacios en general. El hombre convive en un entorno que modifica su confort constantemente, dentro de este parámetro entra la arquitectura que inicia como un elemento de refugio y protección, nace el espacio interior y exterior. El exterior crea

parámetros urbanos permitiendo la convivencia y flujo de la sociedad (Rojas Cortorreal, 2013, pág. 57). Del mismo modo que el hombre se desenvuelve en el medio, se vuelve vital la necesidad que los elementos urbanos y arquitectónicos brinden confort térmico y ayuden a mitigar los distintos efectos microclimáticos adversos.

El diseño de espacios urbanos debe ir más allá de algunos intereses particulares, se debe asegurar el bienestar común. Una arquitectura y urbanismo bioclimático cuya premisa sea diseñar y construir de forma sostenible, en la búsqueda del confort térmico urbano. El objetivo de este proyecto de grado es realizar una propuesta de criterios bioclimáticos para el diseño urbano que se pueda aplicar en ciudades con climas tropicales, tomando como caso de estudio la ciudad de Barranquilla.

Una investigación basada en el estudio de los parámetros microclimáticos y sus efectos en espacios urbanos, así como la influencia del medio ambiente y la morfología urbana sobre la percepción de confort térmico y la sostenibilidad de los espacios exteriores. Las variables microclimáticas y algunos factores ambientales como la vegetación influyen en la sensación y percepción de confort térmico en espacios urbanos, así como en el aumento del consumo energético de las edificaciones y uso de sistemas de climatización. “Para la ciudad, el clima determina la distribución espacial de la temperatura y la humedad del aire, de su circulación atmosférica, de las fuentes de agua, de los fenómenos hidrometeorológicos y climáticos externos” (Conde, Pabón, & Sánchez Rodríguez, 2013, pág. 28).

Son múltiples las razones que llevan a la realización de este proyecto de grado, abarcando desde el impacto científico hasta la productividad y competitividad. El impacto científico del proyecto está guiado hacia el desarrollo eficiente y bioclimático del diseño urbano en las ciudades con clima tropical. Desde la metodología científica, como la identificación de la

problemática que lleva a la investigación, el planteamiento de hipótesis, experimentación, análisis y simulaciones y, por último, resultados y conclusiones, permite desde el ámbito arquitectónico y urbano estructurar criterios bioclimáticos para el diseño de espacios exteriores.

Una propuesta que sirva de sugerencias a los diseñadores y arquitectos de construir espacios urbanos con confort climático, adecuado uso del suelo e implementación de materiales de las superficies. Además, de plantear una comparación a lo que estipula el Plan de Ordenamiento Territorial en la ciudad de Barranquilla en cuanto a los requerimientos de diseño de calles, alturas de las edificaciones, espacio público, vegetación o determinación de lineamientos de construcción. Todo, encaminado en la generación de nuevos conocimientos y conceptos académicos del diseño urbano bioclimático e implementación metodológica de análisis de los efectos de las variables microclimáticos en el medio urbano.

La investigación acerca del microclima y el medio urbano pueden mejorar la calidad de vida de la población por medio del diseño urbano bioclimático. La relación del microclima urbano con el hombre es punto crítico para el confort del individuo, su bienestar y sus diversas actividades diarias. Generar nuevos criterios de diseño urbano desde lo bioclimático, creará ambientes y zonas exteriores cómodas, aptas para el esparcimiento y concertación social.

Además, de representar un cambio en los antiguos y algunos nuevos modelos de estrategias o formas de diseño de urbanistas y arquitectos. El urbanismo bioclimático representa una nueva metodología y concepción del espacio urbano. Al mitigar los impactos negativos de los efectos del cambio climático, se aumenta los beneficios y se contribuye a un mejor control climático, y beneficia indirectamente la arquitectura y sostenibilidad de las zonas internas de las edificaciones.

Por último, planteando estos criterios bioclimáticos se busca ayudar en la eficiencia energética de las edificaciones, creación de zonas urbanas con mayor índice de vegetación y utilización de nuevos materiales compuestos sostenibles en las superficies. Con el estudio del microclima urbano, se analiza la vegetación, que hace parte de la rugosidad superficial y que cobra gran importancia en el diseño de espacios exteriores. Los árboles brindan un control higrotérmico, reducción de la temperatura del aire, humedad relativa y radiación, del mismo modo, que contribuye a mejorar la sensación de confort de una zona. Por su parte, entre mayor sea la circulación del viento en un cañón urbano, el aire fluirá de forma mucho más natural en el interior de las edificaciones circundantes siempre y cuando estos edificios tengan suficientes aberturas o vanos donde la ventilación natural pueda ser conducida hacia el interior.

En cuanto a la productividad y competitividad, el proyecto de grado se plantea como una investigación competitiva a nivel local. En la región caribe colombiana, con particularidad en ciudad de Barranquilla, no se han llevado a cabo investigaciones o proyectos cuya temática sea la formulación de una propuesta de criterios bioclimáticos para el diseño urbano. La investigación busca compilar los resultados y conclusiones de un análisis lógico, fundamentado y contundente que permita entender el microclima de una ciudad tropical, la morfología y trama urbana como determinante de la sustentabilidad del diseño, los efectos positivos de la vegetación en espacios exteriores, los factores del confort térmico urbano y, como línea resiliente, que la propuesta ayude a la adaptación y mitigación frente a los efectos del cambio climático en ciudades con clima tropical. Para diseñar los espacios urbanos, primero se debe entender cómo funcionan y relacionan los parámetros microclimáticos, el medio ambiente y el ser humano.

1. Planteamiento del problema

La población mundial, en pleno siglo XXI, enfrenta su mayor desafío. Con la industrialización y el desarrollo de nuevas tecnologías, se ha facilitado la dinámica cotidiana del ser humano y se han abierto posibilidades de cambio en muchos ámbitos, tales como la economía, la salud, la educación e incluso el desarrollo urbano de las grandes ciudades. Sin embargo, la situación mundial de esta centuria no puede ser comparada con sus predecesoras y no se hace esta excepción solamente por los logros obtenidos, sino por los múltiples problemas de índole social, ecológico-ambiental y, por si fuera poco, económico que viven las personas en las distintas regiones del planeta. Según la OMS, la mitad del mundo carece de acceso a servicios de salud y con datos del Banco Mundial el acceso a buena educación, electricidad, agua segura y otros servicios fundamentales sigue estando fuera del alcance de muchas personas, a menudo por razones socioeconómicas, geográficas, étnicas y de género (OMS, 2017). Para todos es evidente que la Tierra se está “muriendo” y es inherente para el planeta la necesidad de obtener un cambio, no obstante, el cambio climático es una realidad que se está viviendo.

Una evidencia científica internacional abrumadora señala que desde 1750 el planeta está experimentando un calentamiento neto, y que durante el presente siglo continuará calentándose a consecuencia de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidas por la acción humana, en particular la procedente del consumo de petróleo y carbón. Este es, sin duda, el problema más grave en el campo ambiental y, según muchas autoridades, la mayor amenaza global en términos absolutos (Rodríguez Becerra & Mance, Foro Nacional Ambiental, 2009). Lo anterior nos indica que el cambio climático viene aquejando a la humanidad desde hace más de dos siglos, pero considerablemente se ha visto en aumento en el último siglo, todo esto

relacionado con el crecimiento de la población y las exageradas densidades poblacionales dentro de un área específicamente urbana.

Hay múltiples causas que originan el cambio climático, aun así, para la Convención Mundial de Cambio Climático, el cambio climático es atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables. Esto indica que la actividad humana, ya sea en sectores económicos y/o productivos, y en zonas industrializadas tiene una grave repercusión en la variación del sistema climático mundial. Una de las tantas consecuencias humanas sobre el sistema climático son los Gases Efecto Invernadero (GEI), que pueden ser definidos como compuestos químicos en estado gaseoso como el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) que se acumulan en la atmósfera de la Tierra y que son capaces de absorber la radiación infrarroja del Sol, y retener el calor en la atmósfera y contribuir al efecto invernadero que intensifica sus efectos sobre el clima en la medida que aumentan (Minambiente, 2018).

Hay que tener claro que el efecto invernadero mantiene una adecuada temperatura media global. Durante mucho tiempo han existido emisiones naturales de gases de efecto invernadero, pero, la problemática está en el aumento de estos gases en los últimos años. El rápido aumento de los gases de invernadero es un problema que está cambiando el clima tan rápido que algunos seres vivos no pueden adaptarse (Geographic, 2010). Además, entre 1970 y 2004, los cambios en factores tales como el aumento del ingreso per cápita (un aumento del 77%) y el crecimiento de la población (un aumento del 69%) han favorecido el aumento de las emisiones de GEI. Estos han sido, en cierta medida, compensados por aumentos en la eficiencia y / o reducciones en la intensidad de carbono de la producción y el consumo; pero la tendencia mundial global todavía

ha sido hacia grandes aumentos en las emisiones antropogénicas de GEI (ONU-Habitat, 2011). La biodiversidad y las comunidades del planeta se enfrentan a nuevos climas, abruptos por su variación indefinida. Desde la arquitectura y el urbanismo se ha repercutido, de cierta manera, en el incremento de los efectos del cambio climático a niveles regionales.

La vida en la Tierra está peligrando por el cambio climático, los cultivos no logran un desarrollo estable por las alteraciones climáticas, la fauna y flora es vulnerable ante las largas temporadas secas, la aglomeración de la población en las ciudades y la construcción no sostenible provocan las llamadas Islas de Calor Urbana (ICU)¹, la deforestación de bosques reduce los beneficios de los árboles para el planeta, la contaminación del agua amenaza la supervivencia de especies acuáticas, la falta de interés para con los estuarios y ecosistemas primarios disminuye la reproducción de especies nativas y migratorias, el deshielo del permafrost pelagra la vida en los polos, etc. Diversas entidades mundiales como por ejemplo el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el Banco Mundial, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), etc., suman sus esfuerzos en la búsqueda de una solución para lograr la adaptación y mitigación frente al cambio climático.

El cambio climático, las islas de calor urbana, la extinción de especies y la vulnerabilidad de la vida saludable y el bienestar de las comunidades en el planeta deben ser los puntos por solucionar para establecer el verdadero desarrollo sostenible.

El cambio climático, el calentamiento global y las islas de calor urbana, son los grandes retos y problemas a resolver a nivel urbano de cualquier ciudad en el mundo.

Independientemente, del tipo de clima o región de ubicación, las comunidades urbanas enfrenten

¹ Una isla de calor urbana ocurre cuando una ciudad experimenta temperaturas mucho más cálidas que las áreas rurales cercanas. NASA ClimateKids: ¿Qué es una isla de calor urbana? (Publicado: 25 de junio de 2018) (Consultado: 31 de julio del 2018) <https://climatekids.nasa.gov/heat-islands/>

problemas relacionados al aumento de temperaturas, cambios en los patrones de circulación de viento, reducción del índice de cobertura vegetal y poca sensación de confort térmico urbano. Como se ha mencionado anteriormente, las zonas urbanas sufren y sufrirán los mayores efectos y consecuencias del cambio climático, afectando directamente el microclima urbano y, por su puesto, a los parámetros microclimáticos.

El efecto de isla de calor urbana tiene como consecuencia el incremento de temperaturas en las zonas urbanas con respecto a las zonas rurales circundantes (Guevara-Sánchez, Núñez, & Neila, 2017, pág. 545). En razón del calor excesivo, aparecen necesidades más fuertes de climatización de los espacios, lo que conduce a un aumento de la demanda energética de aires acondicionados. Por cada 0,5°C de aumento de la temperatura, los picos de cargas de los aires acondicionados se elevan de 1,5 a 2%. De esta forma, con el aumento de la temperatura de 1 a 2°C durante las cuatro últimas décadas, se estima que el 3 al 8% de la demanda energética servirá para compensar el efecto de isla de calor (Vinet, 2000, pág. 245). El aumento del consumo de energía en las ciudades, las zonas urbanas a nivel mundial, el clima y las dotaciones naturales de un área urbana son factores importantes que configuran el patrón de uso de energía.

Una ciudad ubicada en latitudes altas podría consumir más energía para calentar sus edificios y casas que una situada en los trópicos; y, por el contrario, un centro urbano ubicado en los trópicos podría consumir más energía para el aire acondicionado. Por lo tanto, el cambio climático afectará el comportamiento de consumo de energía en muchas áreas urbanas del mundo (ONU-Habitat, 2011).

Las grandes ciudades en verano, desarrollan cada vez más problemas microclimáticos tales como el estrés térmico, el smog, los picos de polución y de consumo energético por la climatización, ligados al fenómeno de Isla de Calor Urbana (Robitu, 2005, pág. 249). Sin

embargo, estos problemas microclimáticos son más severos en ciudades donde no se presentan las estaciones y las temporadas secas son muy largas y calurosas. La aplicación de medidas para contrarrestar o mitigar los efectos negativos del microclima urbano depende de muchos factores, algunos que se pueden incorporar en las estrategias de planificación y otros que se escapan del control del uso y geometría de los espacios. En general en los procesos de planificación el proyectista tiene que considerar los diferentes factores e impulsar un desarrollo eco-compatible con el medio, promoviendo la eficiencia, el ahorro energético además de la funcionalidad y la salubridad para los ciudadanos (Tumini, 2012, pág. 51). La reducción del consumo energético así como la reducción de las emisiones de gas de efecto invernadero ligados al fenómeno de Isla de Calor Urbano, hacen del control de las condiciones microclimáticas con el uso de elementos naturales, un objetivo indispensable (Rodríguez, 2011, pág. 58).

Entonces, de cierta manera, mejorar los problemas microclimáticos urbanos, requiere métodos, estrategias y mecanismos, basados en el diseño de espacios bioclimáticos y aseguramiento del confort térmico urbano en pequeños y grandes asentamientos humanos. Hoy en día se hace patente la necesidad de emplear técnicas bioclimáticas pasivas, no solamente en el diseño de la vivienda, sino también en los procesos previos de planificación territorial y ordenación urbana (Pérez, Ladrón de Guevara, & Boned, 2015, pág. 188). El análisis de la influencia de la forma de la ciudad en el microclima térmico permite conocer más detalladamente sobre los elementos urbanos que admiten la transformación para obtener ambientes exteriores más confortables a través del planeamiento y el diseño urbano (Castro Conrado, Fernández Figueroa, & Alvarez López, 2015, pág. 25).

La importancia del confort térmico en la vida diaria no puede ser negada, ya sea en relación a espacios interiores o exteriores del entorno urbano.

Ciertamente tiene un profundo efecto en la satisfacción mental de las personas y por tanto en el uso que estas hacen de estos espacios. Un espacio con condiciones térmicas no favorables o incluso perjudiciales para la salud de los usuarios no podrá dar respuesta al escenario de vida pública de la ciudad (Cordero, 2014, pág. 8). En cierta forma, la adecuada interacción del medio urbano y natural, permite la orientación de criterios medioambientales de ordenación del territorio y así la reducción de los problemas del microclima urbano (ver tabla 1).

Tabla 1

Interacción entre el medio urbano y natural en el microclima urbano

Variables del medio urbano	Variables del medio natural
Espacios libres	Microclima urbano
Condiciones de las manzanas: Orientación, geometría y densidad	Cobertura vegetal
Condiciones de las parcelas: Geometría, altura, ocupación y edificabilidad	Geomorfología
Condiciones de la edificación: Control solar y acondicionamiento pasivo	Variables climáticas

Nota. Elaboración propia basándose en la información suministrada por Higuera (1998).

Estos elementos repercuten directamente en las condiciones climáticas externas (radiación solar y terrestre, temperatura del aire, humedad, precipitación, etcétera), afectando el comportamiento fisiológico de las personas, la arquitectura y, en mayor escala, el urbanismo y el conjunto de la ordenación territorial. Por ello, es preciso construir un nuevo tipo de relaciones

entre la naturaleza y lo urbano, valorando la repercusión que las actividades urbanas tienen sobre su entorno y buscando una interrelación más armoniosa entre ambos (Pérez, Ladrón de Guevara, & Boned, 2015, pág. 188).

Los espacios libres, la morfología urbana y la vegetación influyen en las modificaciones presentadas en el microclima urbano y una adecuada ordenación territorial aumenta los efectos de la isla de calor urbana. Así que, entre otros factores, una arborización urbana correctamente planificada atenúa los efectos de este fenómeno, como lo demuestran y comprueban diferentes investigaciones científicas la vegetación incide altamente sobre diversos fenómenos tales como la humedad, el viento o la temperatura (Rodríguez, 2011, pág. 57). En cuestión al microclima urbano, los parámetros microclimáticos como viento, temperatura, humedad y radiación, se modifican respecto a las condiciones físicas o morfología urbana de un espacio. A diferencia del macroclima, también llamado “clima de la alta atmósfera”, el cual tiende a mantener un comportamiento homogéneo a lo largo de grandes extensiones, el clima local, también conocido como “clima cercano al suelo”, presenta grandes contrastes a lo largo del territorio horizontal (Pérez, Ladrón de Guevara, & Boned, 2015, pág. 188).

Teniendo en cuenta lo antes expuesto, puede entenderse la necesidad de conocer de qué manera la morfología urbana influye en el comportamiento del microclima térmico, para lograr con el manejo de la forma de la ciudad mejoras en los niveles de calidad ambiental de los espacios urbanos, incidiendo positivamente en el interior de las edificaciones y confort de sus habitantes, así como en la eficiencia energética de las ciudades, a través de estrategias y recomendaciones de diseño bioclimático al espacio urbano, como un aporte para la sostenibilidad de la ciudad (Castro Conrado, Fernández Figueroa, & Alvarez López, 2015, pág. 27). El estudio del confort térmico urbano proporciona información valiosa para los planificadores urbanos y

arquitectos. Los resultados obtenidos pueden contribuir al proceso de planificación para lograr un entorno urbano más adecuado y saludable, que procure aumentar el bienestar de los usuarios del espacio urbano mitigando sobretodo el stress térmico generado por el calor en verano (Cordero, 2014, pág. 8).

La ciudad de Barranquilla (Colombia) no es ajena a ninguna de las problemáticas climáticas mundiales y regionales. La ciudad se encuentra en la zona que más repercusiones tendrá a causa del cambio climático y los problemas urbanos que presenta la ciudad podrían estar relacionados por la falta de criterios y estructura de un modelo de diseño urbano sustentable. La polución diurna y nocturna, la baja eficiencia energética de las edificaciones, el mínimo índice de zonas verdes, los problemas de movilidad, el aumento de la temperatura, la modificación en los patrones naturales del viento, la acumulación de radiación en el suelo construido, la deficiencia en los niveles internos y externos de iluminación natural, la falta de proyectos de agricultura urbana sostenible, la contaminación ambiental por parte de industrias y quemas indiscriminadas, la contaminación de la calidad del agua, la desaparición de sistemas primarios vegetales como las ciénagas, el crecimiento del urbanismo informal, la construcción no sostenible, etc., son problemas que presenta la ciudad, observados de forma empírica.

Desde el punto de vista del confort térmico urbano, el estudio de cómo un ambiente externo puede o no generar condiciones de confort térmico, necesariamente pasa por el entendimiento de cómo el cuerpo humano intercambia energía con su ambiente inmediato. Este intercambio de energía entre una persona y el medio que lo rodea se realiza a través de los procesos de convección, conducción, radiación y evaporación a nivel de la piel y por vías respiratorias (Cordero, 2014, pág. 13). Por esto, muchos departamentos de planificación urbana de grandes ciudades del mundo han encaminado estudios sobre el confort térmico y el

microclima urbano, a su vez, la reducción de los efectos de la isla de calor urbana, teniendo como objetivo mejorar los sistemas de circulación del viento, iluminación de espacios urbanos e interiores adecuados y usos de materiales sostenibles para la reducción de la absorción de calor, manejando una correcta morfología urbana no solo existente sino también a existir. Es muy importante tomar conciencia de la problemática del manejo adecuado del viento, la iluminación natural, la radiación y la temperatura del aire en la arquitectura y urbanismo, sobre todo por la profunda influencia que tiene en las diversas actividades y funciones del hombre; pero es todavía más importante, urgente y necesario, realizar acciones que lleven a resultados óptimos de diseño para beneficio directo del hombre, para brindarle espacios habitables, confortables y sobre todo saludable para el cuerpo, la mente y el espíritu (García Chávez & Fuentes Freixanet, 2005).

Las características térmicas, morfológicas y antropogénicas de las áreas urbanas determinan una modificación del balance de energía con respecto a sus alrededores que produce una alteración de las variables microclimáticas como temperatura del aire, radiación neta recibida por las superficies, humedad, precipitación, velocidad y dirección del viento (Cordero, 2014, págs. 15-16). La adecuada iluminación natural en los espacios interiores de las edificaciones de la ciudad puede reducir el gasto energético y contribuir a la eficiencia energética del mismo edificio. La relación entre el ancho de la calle y la altura de una edificación permite establecer los patrones de entrada de luz natural al interior del edificio. El material de construcción en espacios urbanos y arquitectónicos puede reducir la cantidad de radiación que absorbe el suelo y fachadas verticales de los edificios, para así generar espacios confortables, así como el uso de arborización que reduce y disminuyen las altas temperaturas. Así mismo el porcentaje de humedad relativa puede influir negativamente en la sensación térmica, ya que en un ambiente caluroso, si los valores de humedad relativa son altos dificultan las pérdidas de calor

del cuerpo humano a través de la evaporación a nivel de la piel, en cambio sí son muy bajos puede producirse deshidratación del organismo (Cordero, 2014, pág. 13).

El diseño urbano bioclimático en la ciudad de Barranquilla y cualquier otra ciudad tropical puede usar los parámetros microclimáticos y los demás factores urbanos-ambientales a su favor, para generar ambientes y espacios confortables. La búsqueda de la ubicación más favorable sobre la base de las consideraciones climáticas constituye la primera etapa del proceso de diseño bioclimático, el cual debe ser posteriormente complementado con otras estrategias urbano-arquitectónicas (Pérez, Ladrón de Guevara, & Boned, 2015, pág. 191). Por eso es necesario, una propuesta de criterios bioclimáticos de diseño urbano cuya premisa esté encaminada al confort térmico de los individuos y a la adaptación y mitigación del cambio climático. El microclima urbano juega un rol importante en el consumo energético de los edificios y en las sensaciones de confort en los espacios exteriores. La urgente necesidad de aumentar la eficiencia energética, reducir las emisiones de los contaminantes y paliar la evidente falta de sostenibilidad que afecta a las ciudades, ha puesto la atención en el urbanismo bioclimático como referente para una propuesta de cambio en la forma de diseñar y vivir la ciudad (Tumini, 2012, pág. V)

Para finalizar este apartado se hace necesario mencionar lo siguiente: Estamos a tiempo de reconducir los modelos de intervención, gestión y planificación de las ciudades, solo hace falta transformar nuestro ejercicio profesional, nuestras dinámicas empresariales, sociales y capitalistas, nuestros procesos académicos de formación, los modos de interacción ciudadana, nuestra actividad vecinal y nuestra visión de desarrollo, entre muchas otras cosas, hacía una línea de acción más sostenible, pero sobre todo más sustentable en el tiempo, que sea respetuosa con el medio ambiente, más participativa y mucho menos egoísta; eso seguramente se verá reflejado

desde los distintos sectores de la sociedad (público, privado y tercer sector) que guían la gestión de la ciudad (Rodríguez Potes & Padilla Llanos, 2018).

1.2 Pregunta de la investigación ¿Cuáles son las tipologías de diseño urbano que en combinación con los parámetros microclimáticos inciden en el confort térmico de espacios urbanos en ciudades con climas cálidos y/o tropicales?

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Proponer criterios bioclimáticos para el diseño urbano en ciudades con climas tropicales.

2.2 Objetivos específicos

- Analizar los efectos de los parámetros microclimáticos (viento, temperatura del aire, humedad relativa y radiación solar) en espacios urbanos de la ciudad de Barranquilla.
- Realizar simulaciones con softwares de análisis virtual de los parámetros microclimáticos en tipologías urbanas diseñadas como casos de estudios.
- Establecer la relación de los parámetros microclimáticos, el diseño urbano y el confort térmico en ciudades con climas tropicales.

3. Marco referencial

El presente capítulo presenta una revisión de la literatura existente en cuanto al diseño de espacios exteriores, microclima y confort térmico urbano, conceptualizando los principales aspectos y temas que fundamentan la investigación. El microclima y confort térmico en espacios urbanos, especialmente en las ciudades localizadas en regiones tropicales, debe ser abordada a partir de los conceptos y teorías que permiten comprender la incidencia de los parámetros microclimáticos y tejido urbano sobre la sensación de confort térmico y bioclimatización de los espacios urbanos. De esta forma, en el marco referencial se presenta la significación de la planificación, el diseño urbano y microclima de una ciudad en regiones tropicales, explorando la clasificación de las zonas climáticas locales a nivel urbano, la isla de calor urbana, el confort térmico urbano, los parámetros microclimáticos como temperatura del aire, humedad relativa, viento, radiación solar e iluminación natural, la vegetación y su caracterización en espacios urbanos y la morfología de una ciudad. Por último, se analiza la forma urbana y microclima del caso de estudio, la ciudad de Barranquilla (Colombia), tipificando las zonas climáticas locales y detallando geográficamente la incidencia de la isla de calor urbana.

3.1 Planificación y diseño urbano

Las ciudades tienen orígenes diferentes, pero crecimientos similares. Cuentan con un núcleo histórico-institucional, con infraestructura ferroviaria a la que se le superponen (tiempo después) las rutas del transporte vehicular. En tanto, la ciudad crece al ritmo de las subdivisiones de las manzanas fundacionales, de las quintas aledañas y de las chacras más próximas, que fueron valorizando la tierra rural y la propia ciudad con relativa autonomía de los servicios públicos.

Hoy muchas de esas ciudades forman parte de complejas constelaciones metropolitanas (Tella, 2014). La mayoría de las principales ciudades a nivel mundial, sin excepción de las ciudades colombianas, tienen un centro histórico (que permanece en el tiempo) conformado por las primeras calles y manzanas de la ciudad, un sector donde se realizaron las primeras urbanizaciones planificadas y otros sectores conformados por urbanizaciones más nuevas, contando los barrios populares. Desde la antigüedad, la planificación y ordenación del territorio, ha sido un eje esencial en la gobernación y comando de los estados; todo monarca, gobernante o dirigente debía disponer del territorio de manera conveniente. En la edad media, la mayoría de las ciudades contaban con una muralla perimetral construida para la seguridad de los ciudadanos, todo esto concebido para mantener la autoridad y protección del reino. Actualmente, la planificación y diseño urbano cobra vital importancia en cuanto a la seguridad social, cultural, física y económica de un asentamiento humano. Estos conceptos han sido abordados desde principios y finales del siglo XX, cuando las urbanizaciones comenzaban a crecer en demografía y edificaciones.

La planificación urbana u ordenación territorial puede ser definida de numerosas maneras y de acuerdo a diferentes grados de complejidad. Desde una perspectiva tradicional, la planificación urbana está relacionada con el rol del Estado, en sus diferentes niveles, para intervenir en el diseño, administración y mantenimiento de ciudades. Este proceso tiene en cuenta directrices sobre el crecimiento de los asentamientos humanos, sus funciones y los instrumentos para ordenar la dinámica urbana. Así, desde el sector público, está considerada como una actividad regulatoria, burocrática y relacionada con procedimientos (Tewdwar- Jones, 1999). El planeamiento y diseño urbano puede ser concebido como el ordenamiento y definición territorial de un asentamiento humano por parte de entes y organismos estatales, interviniendo en

este proceso profesionales de distintas disciplinas (arquitectos, urbanistas, ingenieros, etc.). Sin embargo, desde una visión más amplia, no solamente el Estado interviene en la planificación urbana, sino también el sector privado y la sociedad civil. En este sentido, los “planificadores urbanos” ya no sólo son técnicos que trabajan para la burocracia estatal y política, sino también para los desarrolladores urbanos y las organizaciones de la sociedad civil (Friedmann, 1998).

La planificación y diseño urbano es un proceso que involucra componentes técnicos, prácticos y normativos (incluidos los políticos) de la ordenación de la ciudad, sumados los componentes ambiental y social. Se trata de un proceso que no sólo contribuye, sino también da forma a la reestructuración social y económica. Algunos autores como Tewdwar- Jones (1999), enfatizan la necesidad de superar la noción de la planificación urbana como simplemente relacionada a reglas y regulaciones. No obstante, son las reglas y regulaciones normativas las que rigen, en primera instancia, el diseño urbano y arquitectónico de una ciudad. En el caso colombiano, las ciudades y municipios deben estructurar planes y esquemas de ordenamiento territorial, normativas guías para el diseño y construcción de espacios urbanos y parte ocupacional de los espacios arquitectónicos, donde se manifiesta las modalidades de actuación urbanísticas en un sector de la ciudad, así como la protección y definición de las zonas naturales y urbanas. De la misma manera como las regulaciones urbanas estipulan condicionamientos de diseño de los espacios, determina el paisaje natural a proteger y las zonas dentro del perímetro urbano destinadas para la expansión futura de la ciudad.

En el componente social de la planificación y diseño urbano intervienen varios factores: el individuo como actor del espacio, los espacios urbanos y las edificaciones arquitectónicas como elementos de cohesión y relación de la ciudad. Sin embargo, parece ser que el problema en el diseño de las ciudades es su objeto, no se diseñan para que las personas se relacionen, convivan o

se desarrollen (Nárvaez Rodríguez, 2016). De esta forma, el diseño urbano debe estar encaminado a la construcción de espacios que sirvan de esparcimiento, relación, descanso, confort y desarrollo de la cotidianidad para las personas, no dejando de lado el medio ambiente natural. Así, la concepción del diseño urbano ha variado con el tiempo, actualmente, el hombre, el correcto equilibrio entre el paisaje natural y urbano, la sostenibilidad, el clima local y, por supuesto, las regulaciones urbanas hacen parte del nuevo urbanismo y arquitectura. La ciudad es más que edificaciones dispuestas en alguna orientación cardinal, esta se constituye en un ecosistema urbano. La ciudad crea sus propias condiciones intrínsecas ambientales, lumínicas, de paisaje, geomorfológicas, etc., independientemente de las de su entorno y con sus características particulares propias. Por lo tanto el concepto general del ecosistema urbano estaría constituido por todos los factores que se enumeran a continuación (Higueras, 1998, pág. 11):

- Climáticos: temperatura, humedad, y viento.
- Físicos: nueva geomorfología territorial.
- Lumínicos: consideraciones relativas a la luz.
- De equilibrio ambiental: ruidos, vibraciones, etc.
- Paisajísticos: con el medio circundante.
- Sociales y psicológicos: de relaciones interpersonales urbanas

Por lo anterior, el diseño y planificación de una ciudad, debe tener en cuenta el clima, las condiciones físicas, lumínicas, ambientales y paisajísticas, sociales y psicológicas del entorno construido y a construir. La ciudad se va construyendo con el tiempo y, como fue mencionado al inicio de acápite, consta de un casco urbano donde el centro histórico se va relacionando con las nuevas edificaciones, la transformación de los espacios urbanos e incluso la renovación de los

sectores degradados. De este modo, el diseño urbano debe contemplar todos los factores antrópicos y ambientales del medio.

3.2 Microclima urbano

El microclima urbano juega un rol importante en el consumo energético de los edificios y en las sensaciones de confort térmico de los espacios exteriores. La urgente necesidad de aumentar la eficiencia energética, reducir las emisiones de los contaminantes y paliar la evidente falta de sostenibilidad que afecta las ciudades, ha puesto la atención en el urbanismo bioclimático como referente para una propuesta de cambio en la forma de diseñar y vivir la ciudad (Tumini, 2012). El microclima evoluciona según las modificaciones de la forma urbana; a corto y / o largo plazo, estos cambios tienen un impacto en las necesidades energéticas (aire acondicionado); entre otras cosas, pueden penalizar el confort térmico de los ciudadanos, sin mencionar los riesgos relacionados con el cambio climático al que está expuesta la ciudad (Villadiego Bernal, 2014).

El estudio de las condiciones microclimáticas de una ciudad ha sido tema de análisis de distintos investigadores en cualquier región del mundo, siendo ejes de investigación los distintos parámetros y variables que condicionan el clima a niveles locales (Higueras, E., 1998; Rodríguez Potes, L., 2017; Tumini, 2012; Vinet, J., 2000). El microclima urbano puede ser entendido bajo el concepto de clima urbano (a nivel local de una ciudad), clasificando las condiciones morfológicas y tejido urbano de una ciudad con el término de zonas climáticas locales (Stewart, I. et Oke T., 2012).

La palabra " microclima " se define en la literatura como un conjunto de condiciones, radiación solar y terrestre, viento, temperatura y humedad del aire y precipitación, presentes en el espacio externo a pequeña escala (Brown y Gillespie, 1995) que se ven afectadas por las

condiciones del clima y la estación del año (L. Shashua -Bar et al., 2010) (Rodríguez Potes, 2017). La forma urbana tiene un gran impacto en el microclima urbano: los efectos de la orientación de la calle, la altura de los edificios, los materiales de construcción y la existencia de arborización tienen una influencia considerable en las condiciones de microclima (Rosheidat y Bryan, 2010; Andreou, 2013; Ng et al, 2012; Rodríguez Potes, 2017).

Por tanto, las zonas urbanas desarrollan microclimas debido a que la morfología urbana y las superficies de la ciudad se convierten en captadores y aprisionadores de energía térmica. La urbanización transforma el uso del suelo y la cobertura, modificando así el balance de energía, y haciendo que las ciudades sean más calientes que en las zonas periféricas (Quijano Pérez, Ramírez Velásquez , & González Manosalva, 2017). De esta forma, el tejido urbano, la temperatura, viento, humedad relativa, radiación solar, iluminación natural y vegetación modifican el clima urbano de una ciudad, sea esta grande o intermedia. Es decir, que el microclima presente en espacios urbanos es, relativamente, distinto a las condiciones climáticas de zonas rurales sin o con poca intervención humana (ver figura 1). El análisis de la influencia de la forma de la ciudad en el microclima térmico permite conocer más detalladamente sobre los elementos urbanos que admiten la transformación para obtener ambientes exteriores más confortables a través del planeamiento y el diseño urbano (Castro Conrado, Fernández Figueroa, & Álvarez López, 2015).

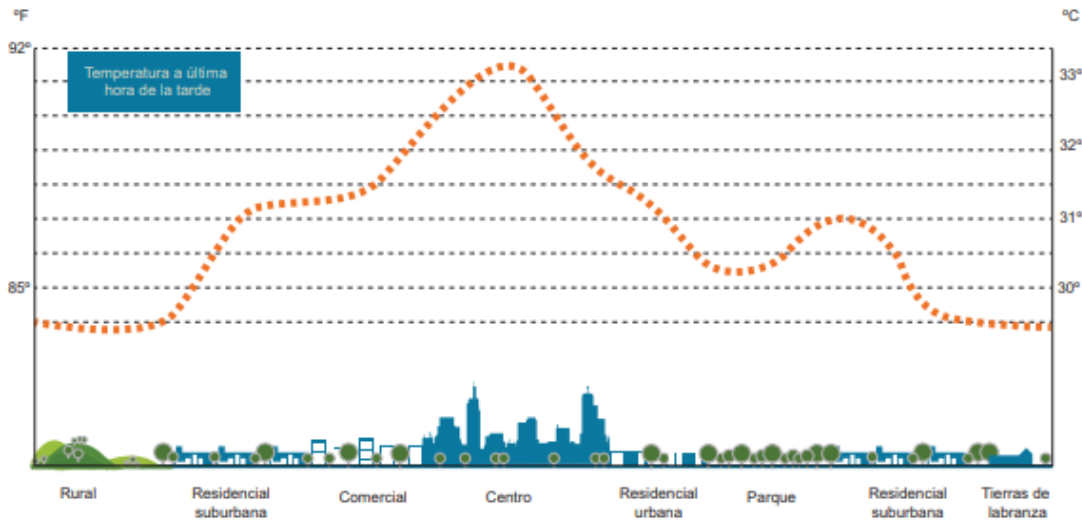


Figura 1. Modificaciones en el microclima urbano. Fuente: Oke, T. y otros (1999).

La temperatura del aire en zonas altamente construidas, puede alcanzar más de 33 °C, mientras que en zonas rurales es inferior a los 29.5 °C. Las características particulares del clima de las ciudades, como fue mencionado antes, suelen llamarse “clima urbano”. La ciudad modifica el paisaje natural de manera significativa transformando el balance de radiación y el contenido de calor en las áreas urbanizadas. Estas modificaciones provocan cambios en la distribución de la temperatura dando lugar a un fenómeno que se conoce como el efecto de la “isla de calor”, que a su vez produce cambios en la distribución espacial de otras variables como la presión atmosférica, los vientos, la nubosidad y la precipitación, así como la distribución de contaminantes y los fenómenos meteorológicos extremos (Conde, Pabón, & Sánchez Rodríguez, 2013, pág. 29).

Para entender el alcance del término microclima urbano, se debe analizar los distintos parámetros microclimáticos (viento, temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar e iluminación natural), las condiciones morfológicas presentes en un espacio urbano (incluyendo las zonas climáticas locales por tejido urbano) y la vegetación urbana. No obstante, es esencial

conceptualizar una de las principales problemáticas a causa del calentamiento global que incide en el microclima urbano: la isla de calor urbana.

3.2.1 Isla de calor

Son múltiples los problemas que la urbanización acarrea, un ejemplo de esto son las llamadas “Islas de Calor” (Galindo Bianconi & Victoria Uribe, 2012). Se define isla de calor urbana (ICU) a la diferencia de condiciones climáticas registradas por un observador situado en la ciudad frente a otro observador localizado en su entorno rural (Oke, 1987). La isla de calor urbana es uno de los efectos del calentamiento global a nivel local, caracterizado por el aumento de la temperatura en espacios urbanos. La isla de calor urbana es una situación urbana de acumulación de calor en los centros urbanizados de las ciudades, debido a elementos urbanos como edificaciones, superficies absorbentes de calor, superficies de baja reflectancia, sistemas de transporte, falta de vegetación, materiales absorbentes de calor, y falta de ventilación. Esos factores influyen directamente el balance de la temperatura generando un desequilibrio en el microclima urbano. Esto estimula que la población explore alternativas para satisfacer su necesidad de confort buscando mecanismos de enfriamiento que a su vez generan más acumulación de calor.

Para Tumini (2012) el fenómeno de ICU se presenta tanto en el día como por la noche, según estudios realizados su intensidad de balance térmico puede alcanzar de 5°C a 10°C de diferencia con respecto al entorno. Son varios los factores que inciden en la formación de la isla de calor entre estos: la actividad antropogénica, geometría de los espacios urbanos y las propiedades térmicas de los materiales constitutivos del medio construido. De todos modos, el componente más influyente en la ICU está relacionado con la actividad antrópica; la disminución de extensiones de evaporación como superficies vegetales se ha disminuido por el

aumentando de zonas duras y edificaciones; los materiales de absorción, tales como revestimiento, acabados y componentes como la geometría de cañón han generado diversas respuesta a la absorción de calor y aumento de la concentración de gases de efecto invernadero están generado partículas de suspensión en el aire (Tumini, 2012, pág. 36). La tipología y materiales de las edificaciones de un espacio urbano, pueden contribuir al aumento de la temperatura y acumulación de calor (ver figura 2).

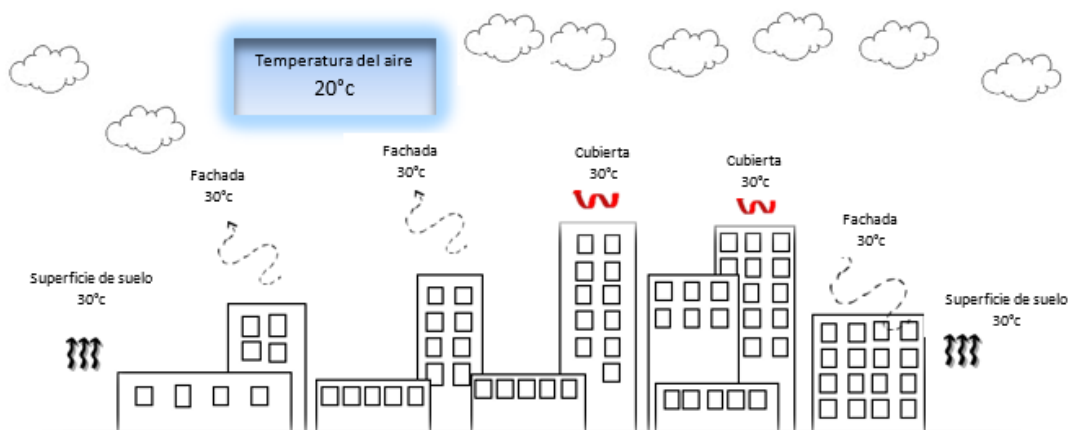


Figura 2. Perfiles de temperatura de isla de calor superficial. Fuente: elaboración propia.

Según Blender (2015), el término isla de calor se define como las zonas edificadas que presentan temperaturas promedio más altas que el campo abierto que las rodea. Explica que la urbanización, la falta de áreas verdes, pavimentos impermeables y el uso desenfrenado del automóvil incrementan la magnitud de este fenómeno, que es causado por la interacción de diferentes efectos, a saber:

- Aumento de la absorción de la energía solar: por superficies de baja reflectancia; por la ampliación de la superficie absorbente de calor; además por reflexiones múltiples entre los edificios
- Aumento del calor acumulado debido a la capacidad térmica de los materiales de construcción

- Emisión de calor antropogénico y de contaminantes atmosféricos
- Obstrucción de los movimientos de aire por medio de la edificación, especialmente falta de ingreso nocturno de flujos de aire frío
- Reducción del evo transpiración debido a la reducción de la vegetación y el aumento del pavimento impermeable.

Por otra parte, la isla de calor normalmente se distingue por la diferencia de temperatura del aire entre áreas rurales y urbanas; existiendo dos tipos de isla de calor (Tumini, 2012, pág. 37):

- La *ICU a nivel suelo*, que consiste en la capa de aire entre el suelo y el nivel superior de cubiertas o árboles, afectando directamente a la población.
- La *ICU a nivel de altura*, consiste en la capa de aire que se encuentra por encima de las cubiertas o árboles y se propaga hasta el punto que el paisaje urbano afecte la temperatura del aire. La altura de ICU atmosférica normalmente no supera los 1,5 km.

El efecto de isla de calor urbana se presenta en prácticamente todas las ciudades del mundo, en diferente medida, dependiendo del macro y meso clima y de las características urbanas, pero generalmente es más fuerte cuanto más grande es la urbe (Blender, 2015). Además, la orientación de las calles y el bajo factor de visión del cielo dentro del cañón urbano, influyen en las características de la ICU (Sarricolea y otros, 2008; Sarricolea Espinosa & Romero Aravena, 2010) (Castro Conrado, Fernández Figueroa, & Álvarez López, 2015). Los problemas urbanos relacionados con la isla de calor urbana deberían ser abordados, puestos a criterios y solucionados en el diseño de espacios urbanos y arquitectónicos. Aun así, de parte de los planificadores, urbanistas y arquitectos hace falta tomar conciencia de las problemáticas que se generan a nivel urbano cuando se construye de manera arbitraria o sin reflexión de la acción del

hombre en el medio. La isla de calor urbana, es solo una respuesta a nivel local de los efectos de la variabilidad climática.

3.2.2 Morfología urbana: Cañón urbano y zonas climáticas locales

La morfología se refiere a la forma y estructura urbana de una ciudad, incluyendo el tejido, trazado y disposición de las manzanas de la misma. La morfología urbana es uno de los factores que incide en el microclima urbano; la forma y estructura de los espacios alteran y modifican el comportamiento de los parámetros microclimáticos en el medio, siendo el cañón urbano uno de los componentes morfológicos modificatorios del microclima. Se entiende por cañón urbano (CU) o relación H/W (Altura de la edificación y ancho de la calle), una configuración edilicia en áreas urbanas, formada por una calle donde sus bordes son delimitados por edificaciones mostrando una apertura hacia el cielo (ver figura 3).

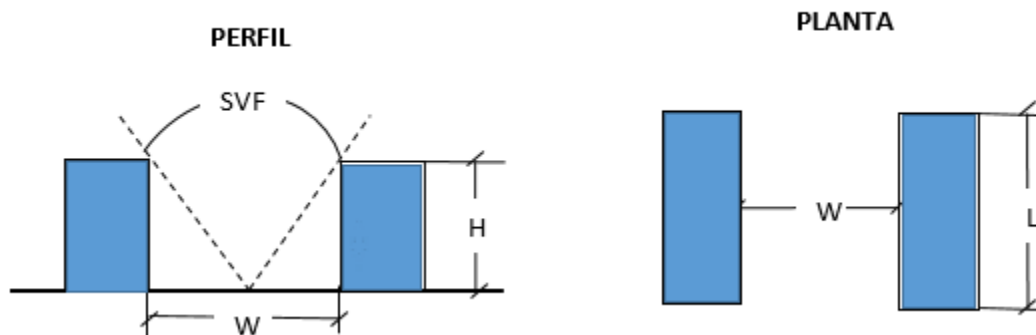


Figura 3. Perfil de cañón urbano. Fuente: elaboración propia.

El cañón urbano está conformado por tres parámetros fundamentales (altura, ancho y distancia edificada del cañón urbano). A su vez, estos tres parámetros se simplifican en tres relaciones (Chicas, 2012):

- **Relación H/W :** describe las proporciones del cañón urbano, en función de la altura (H) y ancho de calle (W), permite una simplificación de las características de morfológicas urbanas del mundo real.

- **Orientación del cañón (θ):** describe el ángulo en grados del cañón respecto al eje Norte-Sur, generalmente se indica la dirección cardinal (N-S, E-W) o (NW-SE, NE-SW).
- **Factor de visibilidad del cielo (SVF):** (Sky view factor), describe la porción del cielo visible desde una superficie dada, en un punto específico o dentro de un área urbana.

La orientación de la calle, altura de la edificación, ancho de la calle y el SVF en el medio urbano, inciden en el aumento o disminución de la temperatura del aire, modifican los patrones de circulación del viento, aumentan o disminuyen la acumulación de calor en las fachadas, afectan la absorción de radiación solar, permite o no la siembra de arborización, etc. Las alturas de los edificios definen las condiciones límite entre el dosel (ramificación y follaje de la arborización) y la parte inferior del domo urbano. El intercambio entre estas dos capas y otros componentes como el vapor del agua, el calor y materiales particulado, sucede principalmente por las vías de turbulencia del aire derivadas de la morfología del cañón urbano (CU), de tal manera, que la combinación de los efectos climáticos de la morfología de los cañones urbanos, influyen directamente a crear las condiciones climáticas de un entorno a una escala local, lo cual genera efectos atmosférico complejo como isla de calor urbana (ICU), estos fenómenos se producen por la alteración del balance energético de los flujos de calor y el comportamiento del viento en relación a la profundidad, orientación de los cañones urbanos y la materialidad de los entornos construidos (Chicas, 2012, págs. 36-37).

Stewart, I. y Oke T. (2012), estudiando la morfología de las ciudades, definieron las zonas climáticas locales que consisten en una clasificación de los espacios urbanos según las alturas y densidad de las edificaciones y la trama de la ciudad, siendo una respuesta a los efectos del medio construido en el microclima urbano (ver tabla 2).

Tabla 2

*Zonas climáticas locales***Zonas climáticas locales (LCZ)**

ID (Stewart et Oke, 2012)	Definición
LCZ 1- Compacto de gran altura	Edificios de gran altura y densidad: Zona conformada por edificios de diez (10) niveles y más. Con muy poco o ningún árbol. Pavimento de cubierta más bien pavimentado. Caracterizado principalmente por materiales de construcción como hormigón, acero, piedra y vidrio
LCZ 2- Compacto de media altura	Edificios de baja altura y alta densidad: Zona conformada por edificios de viviendas entre tres y nueve niveles. Con muy poco o ningún árbol. Cubierta de suelo pavimentado. Caracterizado principalmente por materiales de construcción como hormigón, ladrillo, piedra y teja
LCZ 3- Compacto de bajo nivel	Edificios de baja altura y alta densidad: Zona conformada por edificios de viviendas entre uno y tres niveles. Con muy poco o ningún árbol. Cubierta de suelo pavimentado. Caracterizado principalmente por materiales de construcción como hormigón, ladrillo,

LCZ 4-Abierto de alto nivel	Edificios de alta y baja densidad: Zona conformada por edificios de diez (10) niveles y más. Con una Superficie permeable abundante del suelo. Caracterizado principalmente por materiales de construcción como hormigón, acero, piedra y vidrio.
LCZ 5-Abierto de medio nivel	Edificios de mediana altura y baja densidad: Zona conformada por edificios entre tres y nueve niveles. Con abundante superficie de suelo permeable. Caracterizado principalmente por materiales de construcción como hormigón, acero, piedra y vidrio.
LCZ 6-Abierto de bajo nivel	Edificios de baja altura y baja densidad: Zona conformada por edificios de viviendas entre uno y tres niveles. Con Una abundante superficie de suelo permeable. Caracterizado principalmente por materiales de construcción como madera, ladrillo, hormigón, piedra y baldosas

Nota. Stewart, I. et Oke T. (2012)

Las zonas climáticas locales se definen, según Stewart y Oke (2009), como una división de la estructura de las subclases del universo del paisaje, diferenciación de la superficie (factor de vista del cielo, altura de la rugosidad) y actividad cultural (flujo de calor antropogénico) permiten entender la variación que produce la morfología de espacios urbanos de los parámetros microclimáticos en el medio construido, constituyendo una clasificación

importante para la modelización de las tipologías urbanas a analizar en la investigación. De igual forma, existen otras zonas climáticas locales no definidas en esta investigación, pues las seis definidas anteriormente cobran importancia en el estudio realizado por este trabajo de grado.

Las LCZ definen la estructura urbana de sectores en una ciudad, desde la zona compacta de gran altura hasta la zona con tejido abierto y bajo nivel. Condiciones morfológicas urbanas comunes a cualquier ciudad a nivel mundial. En el diseño urbano, es necesario definir de forma correcta y conveniente al confort del ser humano (tanto térmico como social) la estructura y morfología urbana. Teniendo en cuenta los elementos urbanos a construir y aprovechando las variables naturales. Algunas variables del medio natural inciden en la estructura urbana y, por consiguiente, en el microclima urbano. Con respecto a las variables del medio natural influyentes en la estructura urbana del asentamiento destacan tres principalmente (Higuera, 1998, pág. 22):

- La orientación de la estructura urbana principal. Las calles configuradoras de la estructura urbana principal pueden estar orientadas teniendo en cuenta las condiciones de sol y viento que afectan al asentamiento.
- La adaptación o no a la topografía. Los condicionantes del soporte territorial, pendientes, exposición, orientación, etc., pueden o no haber determinado la estructura urbana originaria o sus crecimientos posteriores.
- Condiciones geométricas. Relación entre el ancho de calles y plazas para obtener unas buenas condiciones de ventilación y soleamiento.
- Esas variables naturales de la morfología urbana suponen un eje de acción en el urbanismo bioclimático: disponer el tejido y estructura urbana de una ciudad favoreciendo el microclima y confort térmico de las personas.

3.2.3 Parámetros microclimáticos

Los parámetros microclimáticos son las condiciones del microclima en un sector urbano, constituido por la temperatura del aire, humedad relativa, viento, radiación solar e iluminación natural. Cada uno de los parámetros microclimáticos puede ser definido de la siguiente manera:

- Temperatura del aire:

La temperatura del aire (T_a) es el elemento que esta alrededor de nuestro cuerpo, si la temperatura es alta o baja, influye en las aportaciones que le hace al cuerpo a través de la piel, afectando el estado inicial de nuestra propia temperatura, la misma va ligada a la humedad (Rojas Cortorreal, 2013, pág. 58). La temperatura del aire, componente del microclima urbano, puede verse afectado de forma positiva o negativa por diferentes patrones físicos y naturales como la arborización presente en un espacio, la circulación del viento, sombras artificiales o naturales, cañón urbano, factor de vista al cielo, etc. La pavimentación además de evitar la infiltración al subsuelo del agua de lluvia, aumenta la temperatura al atrapar los rayos de sol, esto sumado al calor que desprenden actividades humanas: Automotores, Estufas, Aparatos eléctricos, climatizadores artificiales, etc. nos da como resultado el aumento de la temperatura en las ciudades (Galindo Bianconi & Victoria Uribe, 2012).

Según los estudios realizados por Oke (1987), asimilan que el aumento de la temperatura del cañón urbano se encuentra vinculado a la relación H/W y al factor SVF , formulando una conjetura donde plantea que la mayor intensidad de temperatura se registra en horarios nocturnos, debido que, por las noches se desprenden muy lentamente de calor que captan durante el día, como resultado de un SVF muy bajo. Por su parte Taha (1988) estudió de una manera similar la variación de la temperatura en función del factor de vista del cielo en zonas urbanas (con un SVF entre 0.182 y 0.928). Ambos estudios muestran que el factor de vista de cielo, al

dependen también de las condiciones climáticas particulares al momento de realizar las mediciones y de la forma de los edificios, no es por sí solo un determinante en la variación de la temperatura urbana. De igual manera esto determina también la temperatura superficial que tiene efectos significativos en la sensación térmica de los peatones. (Cordero Ordóñez, 2014, pág. 26).

- Humedad relativa:

La humedad relativa (Hr) es la cantidad de vapor de agua que posee el aire, que puede contener, si su humedad es alta o baja, afecta la evaporación de nuestra piel (sudor), si la humedad en el aire está saturada, el cuerpo no podrá cederle humedad al aire a través de la evaporación de nuestra piel (Rojas Cortorreal, 2013, pág. 58). La humedad es una propiedad que describe el contenido de vapor de agua presente en un gas, el cual se puede expresar en términos de varias magnitudes. Algunas de ellas se pueden medir directamente y otras se pueden calcular a partir de magnitudes medidas. La selección de una magnitud de humedad depende de la aplicación. En meteorología la humedad se expresa con la temperatura de bulbo húmedo, en cambio en un cilindro de gas, el contenido de humedad se expresa con la temperatura de punto de rocío. En otras aplicaciones como cámaras de humedad o cuartos limpios se usa la humedad relativa (Martines L, 2007).

- Viento:

El viento es un tipo de energía solar. La acción del sol y el movimiento de rotación terrestre dan lugar a la presencia del viento en la Tierra. El viento es aire en movimiento que se genera por las diferencias de presión y de temperatura atmosféricas, causadas por un calentamiento no uniforme en la superficie terrestre (García Chávez & Fuentes Freixnet, 2005, pág. 15). Desde el punto de vista del confort térmico, el viento es una variable fundamental dentro del microclima urbano. A mayor turbulencia aumenta el potencial de enfriamiento del viento, teniendo en cuenta

que la turbulencia está relacionada con la velocidad del viento y las caracterizaciones de los espacios, son parámetros que pueden presentar modificaciones en base a la morfología, la trama urbana, rugosidad de la superficie, efecto barrero por vegetación o edificaciones y el patrón de circulación del viento (Carrasco Aldunate, 2008), (Chicas, 2012, págs. 27-28). Los efectos del viento pueden estudiarse en distintas variables: velocidad, patrones de circulación, turbulencia y calmas.

La circulación y velocidad del viento puede reducirse al entrar en contacto con zonas urbanas. La velocidad del viento dominante por lo general proviene de una localidad determinada y, a medida que la circulación del viento entra a la ciudad, su flujo se reduce debido que el viento experimenta fricción en la diferente superficie del caño urbano, orientación y canalización, por lo que se produce movimientos turbulentos. Si esta variable no presenta un manejo adecuado, puede generar efectos negativos para el confort de los transeúntes. El buen manejo del viento como parámetro microclimático influye de manera positiva en el diseño urbano para condicionar térmicamente los espacios exteriores de la ciudad y a su vez mejorar el confort interno de las edificaciones (Dessí, 2007).

La relación H/W y las diferentes condiciones de una morfología urbana alteran el flujo del viento, modificando su circulación y mejorando su comportamiento. La velocidad del viento se incrementa drásticamente con la altura. Esto se debe a la fricción que se origina entre las moléculas de aire más cercanas al suelo y las capas superiores de aire, ya que las primeras se desplazan más lentamente que las segundas, debido al grado de rugosidad de la superficie, el cual determina el factor de fricción superficial (ver figura 4) (García Chávez & Fuentes Freixnet, 2005, pág. 24).

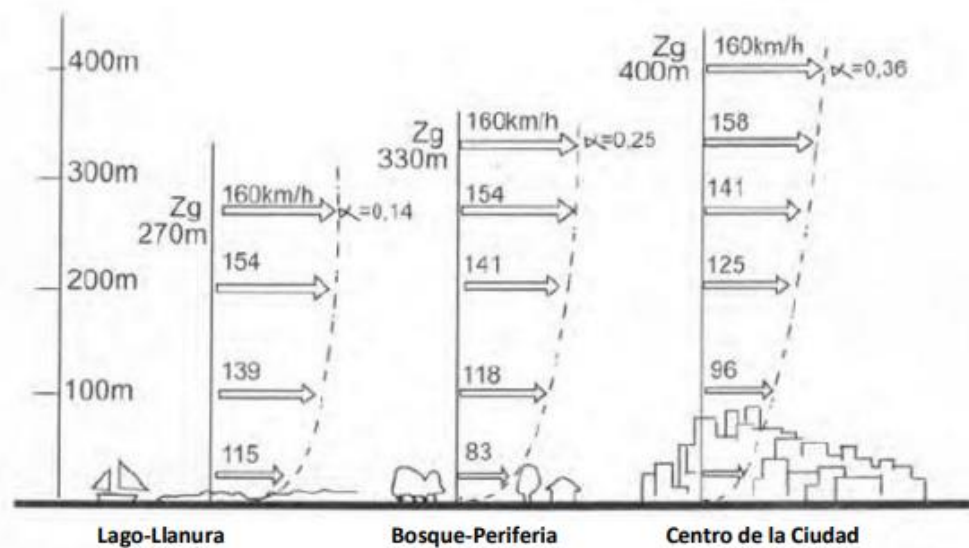


Figura 4. Disminución de la velocidad del viento en zonas urbanas. Fuente: Carrasco Aldunate (2008). Tesis doctoral: morfología y microclima urbano.

La rugosidad superficial influye de forma directa en los parámetros microclimáticos, especialmente en el viento. La fricción superficial produce turbulencia mecánica en las corrientes de aire y se determina por la rugosidad de las superficies y la velocidad del viento; la turbulencia térmica se asocia con la inestabilidad y actividad convectiva (García Chávez & Fuentes Freixnet, 2005, pág. 21). Oke (1987) realizó un estudio sobre el flujo del aire en dirección perpendicular para cañones urbanos con diferente relación de aspecto. Teniendo en cuenta que en donde hay una gran separación entre edificios, con una relación de aspecto de H/W menor a $1/3$ existe un comportamiento aislado de los flujos de aire, es decir se producen turbulencias aisladas.

Mientras que, en un cañón urbano con una relación de aspecto media, en donde el alto de los edificios es aproximadamente igual al ancho, es decir un H/W menor o igual a 1, se registra un comportamiento que interactúa dentro del cañón provocando una interferencia entre las turbulencias opuestas y a medida que el cañón se cierra, alcanzándose un H/W mayor que 1, se produce un único movimiento turbulento al interior del cañón urbano. Así mismo en este último en la profundidad y centro del cañón se registran menores velocidades debido al roce de los

muros y a que el flujo de aire pasa aceleradamente por el nivel de techo de los edificios, condición que puede considerarse ventajosa o no para protección de los peatones, pues reduce la el flujo del aire en el nivel cerca de la calle (ver figura 5) (Givoni, 1998) (Carrasco Aldunate, 2008).

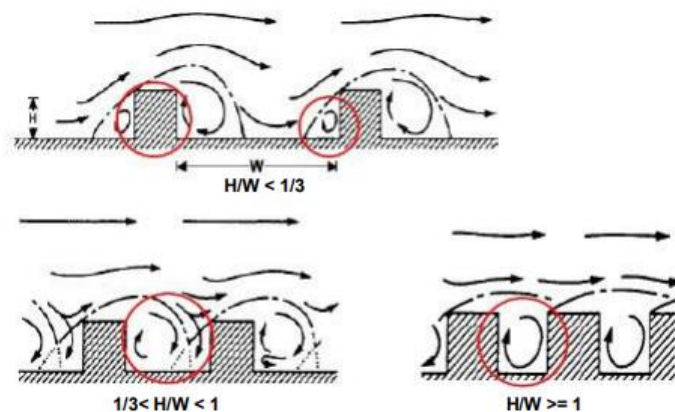


Figura 5. Comportamiento del viento en cañones urbanos con diferente relación de aspecto. Fuente: Carrasco Aldunate (2008). Tesis doctoral: morfología y microclima urbano.

En cuanto a las zonas rurales, el viento mantiene una circulación normal, siendo modificado por los elementos naturales del medio. Las montañas y valles (condiciones topográficas del medio) originan un cambio importante en la dirección y velocidad de los vientos. La vegetación tiene efectos similares pero a menor escala (García Chávez & Fuentes Freixnet, 2005, pág. 23).

El viento es uno de los parámetros microclimáticos que ha sido estudiado mayormente, especialmente, los efectos del viento en el medio urbano y en el confort térmico. La morfología urbana, vegetación e incluso los otros parámetros microclimáticos como temperatura del aire, inciden en los efectos del viento. La altura promedio de los edificios y sobre todo la disposición de edificios de diferentes alturas, pueden generar situaciones muy distintas de régimen de vientos. Es posible tener una zona urbana de alta densidad con combinación de edificios altos y

bajos, con mejores condiciones de ventilación, que un área de menor densidad pero con edificios de la misma altura, ya que contar con edificios que se elevan muy por encima de aquellos que los rodean genera corrientes de aire en la zona, que pueden mejorar las condiciones de ventilación en el nivel de la calle (Givoni, 1998).

- Radiación solar:

El sol influye directamente en el medio ambiente urbano de diversas formas: como radiación solar directa y reflejada; como radiación difusa (Higueras, 1998, pág. 18). La radiación solar puede ser estimada para un determinado plano, ya sea horizontal, inclinado o normal a los rayos solares. (Guevara Vásquez, 2003). El cuerpo humano percibe una extensa oscilación de sensación térmica dependiendo de la incidencia solar en dos formas. La primera consiste en la radiación emitida directamente desde la superficie del sol en un espectro que se descompone en luz visible (menor fracción), siendo una onda corta y la mayor parte invisible en forma de radiación infrarroja, que es de onda larga; la segunda es la radiación de onda larga o térmica que es emitida por la atmósfera y por las superficies del medio ambiente construido, ambas formas de radiación son absorbidas por el cuerpo humano e interactúan en un intercambio térmico con el medio ambiente urbano (ver figura 6) (Cordero Ordóñez, 2014, pág. 20).

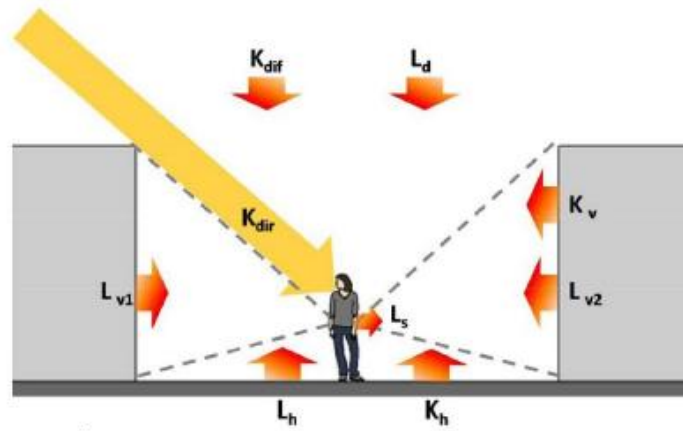


Figura 6. Interacciones radiativas entre el cuerpo humano y el ambiente construido. Fuente: Chicas, (2012, pág. 20). Tesis: Morfología urbana y clima urbano, estudio de microclimas urbanos en Santiago de Chile.

Con respecto a la figura anterior, se identifican los siguientes elementos:

- **K_{dir}**: es la radiación de onda corta incidente en el cuerpo humano.
- **K_{dif}**: es la radiación difusa incidente sobre el cuerpo humano.
- **K_h**: radiación indirecta sobre el cuerpo, reflejada por las superficies horizontales.
- **K_v**: radiación solar indirecta reflejada por las superficies verticales.
- **L_d**: radiación de onda larga incidente en el cuerpo, emitida desde el cielo.
- **L_h**: radiación de onda larga incidente en el cuerpo, emitida por las superficies horizontales.
- **L_v**: radiación de onda larga incidente en el cuerpo, emitida por las superficies verticales.
- **L_s**: radiación de onda larga emitida por el cuerpo al medio ambiente.

Las interacciones describen un balance radiativo sobre las personas (ganancias, pérdidas y almacenamiento de calor) que es necesario comprender para la búsqueda del confort térmico en los espacios exteriores. En espacios interiores, por lo general los intercambios radiantes, tanto de onda corta como onda larga son despreciables. Por el contrario, en espacios exteriores este efecto no solo está siempre presente, sino que su cuantía es porcentualmente la mayor de todas las ganancias, en consecuencia, el bloqueo efectivo de la radiación, es la medida más eficaz para

controlar el confort térmico en espacios urbanos (Chicas, 2012). El flujo de radiación dentro de un cañón urbano está relacionado con el balance de entradas de luz desde las variables de: SFV factor vista del cielo, BVF superficie radiante, radiación difusa y la radiación reflejada en las superficies exteriores. Este componente tiene gran influencia en las transferencias de calor entre la atmósfera urbana, la superficie y la temperatura del aire (Givoni, 1998) (Cordero Ordóñez, 2014, págs. 24-25). El diseño de la calle, con su respectivo ancho, altura de edificación y orientación, son factores importantes determinantes en la radiación incidente cerca de la superficie de la tierra y en consecuencia de la creación o no de zonas de sombras en calles y aceras (ver figura 7) (Taha, 1997).

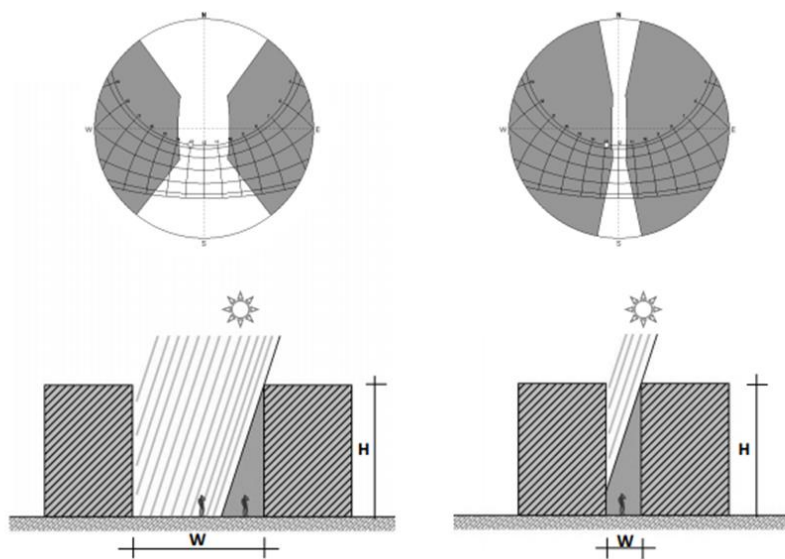


Figura 7. Morfología urbana y radiación solar directa incidente en el cañón urbano. Fuente: Cordero Ordóñez (2014, pág. 21). Tesis: microclima y confort térmico urbano.

Según Ludwing (1970), la relación (H/W) y distancia de los edificios colindantes y enfrentados, influyen en el porcentaje de radiación entrante en el cañón urbano de manera directa e indirecta, en la reflexión de onda, absorción de onda corta y emisión de onda larga. En campo abierto la mayor parte de la radiación es reflejada lejos o emitida, después de su absorción, como radiación de onda larga hacia al cielo. En un cañón urbano con un H/W igual a 1, gran parte de

la radiación se refleja hacia los otros edificios o el piso y es eventualmente absorbida cerca del nivel de la calle. En un cañón urbano con un H/W igual o mayor a 4 o más la mayoría de la absorción de la radiación tiene lugar muy por encima del nivel de la calle, como consecuencia la cantidad de radiación que llega al piso y calienta el aire cerca de este sería menor que en caso del cañón con un H/W menor (ver figura 8) (Givoni, 1998).

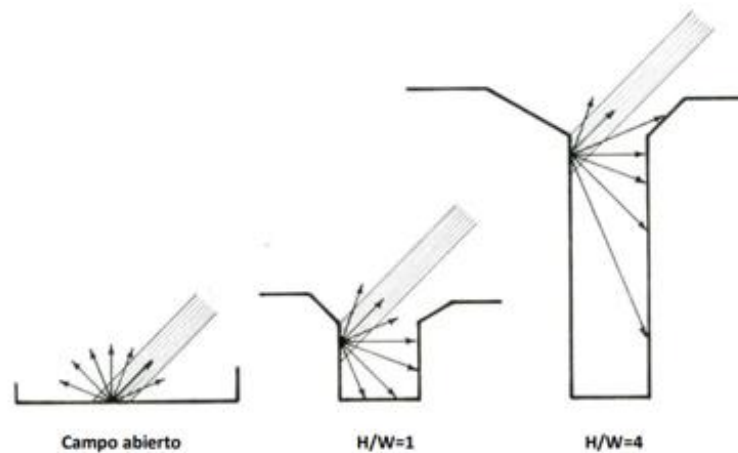


Figura 8. Distribuciones esquemáticas de la radiación solar según la morfología urbana (h/w). Fuente: Givoni (1998). *Climate considerations in building and urban design.*

La incidencia de radiación solar en un espacio urbano depende de la visibilidad o trayectoria solar. Dentro de un cañón urbano o en cualquier superficie, la visibilidad del sol es obstruida cuando llega un punto donde el ángulo de altitud del objeto que obstruye, se encuentra por encima de la altura solar. Los parámetros que definen el ángulo de obstrucción son la altura del objeto obstructor (H), sea un edificio o algún objeto del paisaje y la separación entre el punto estudiado y la obstrucción (D) (ver figura 9) (Torres Ochoa, 1999).

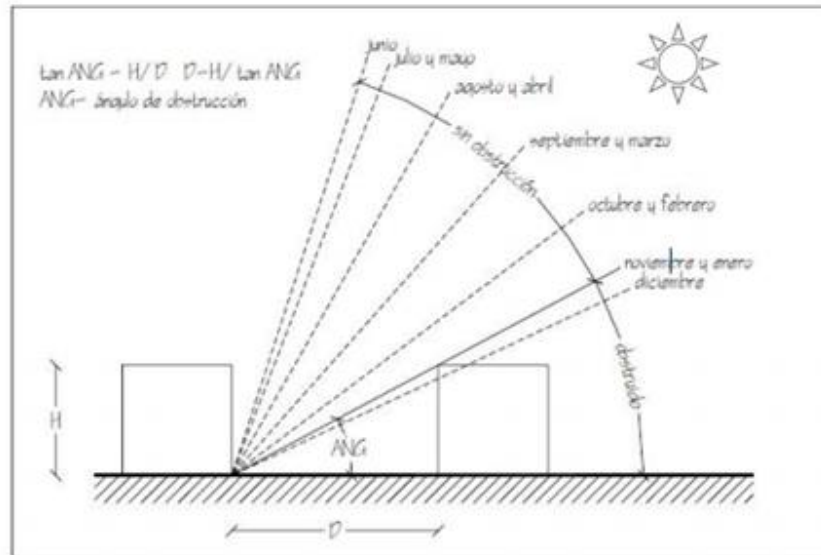


Figura 9. Morfología urbana y ángulo de obstrucción de la radiación solar directa. Fuente: Torres Ochoa (1999). Tesis doctoral: La vegetación como instrumento para el control microclimático.

Por otro lado, procedente del sol, la radiación solar directa, condiciona el diseño de edificios y espacios libres urbanos. La atmósfera actúa de filtro y espejo de la radiación solar, permitiendo la entrada a una banda del espectro, desde los rayos ultravioleta (interesantes urbanísticamente por su valor actínico: fijación del calcio, bactericida etc.) a los infrarrojos (con valor térmico). Tras atravesarla, la energía ha disminuido considerablemente; la fracción de la constante solar que recibe el suelo es la radiación directa, cuyo valor varía de acuerdo con las circunstancias: la transmisión atmosférica, o condicionantes geográficos como la altitud respecto al nivel del mar (Higueras, 1998, pág. 18).

Según Cordero Ordóñez, (2014), en relación a la radiación difusa esta proviene de la bóveda celeste, por lo tanto, la cantidad de radiación incidente sobre el espacio urbano y usuarios depende directamente de la cantidad de cielo que la superficie ve (sky view factor). Sin embargo, en términos de confort térmico urbano la radiación difusa es considerada poco relevante. La radiación difusa, es la procedente de la refracción y difusión sobre las superficies colindantes o la atmósfera, de la radiación solar directa. Su existencia se materializa claramente en los días

nublados, sin sol. Es un factor importantísimo el albedo del suelo, diferente según la composición del mismo, y en clara diferencia entre el medio natural y el urbano, donde predominan las superficies pavimentadas y asfaltadas. La radiación difusa está totalmente relacionada con la iluminación (Higueras, 1998, pág. 18).

En el diseño urbano, el estudio de la radiación solar cobra importancia en cuanto a las ganancias, almacenamientos y pérdidas de calor por parte de las personas y que influye en la sensación de confort térmico del individuo. En las regiones del trópico, principalmente en el caso de estudio de esta investigación, los rayos solares inciden de forma perpendicular y se presentan dos tiempos estacionales: un período de verano y otro denominado invierno que es un período de lluvias constantes. Sin embargo, el buen diseño de los espacios urbanos, puede beneficiar el confort y bienestar térmico de los individuos, aprovechando los efectos de la radiación solar. Durante los calurosos días de verano, la intensa radiación solar puede promover el calentamiento radiactivo y, por lo tanto, el enfriamiento por evaporación, siempre que haya agua de las superficies debajo del árbol y de las plantas (Fischer et al., 2007; Seneviratne et al., 2006) (Rahman, Moser, Gold, Rötzer, & Pauleit, 2018).

- Iluminación natural:

La iluminación es la cantidad de lujo luminoso que incide sobre una unidad de área (Rodríguez Viqueira, y otros, 2006, pág. 128). La iluminación natural es una fuente de energía sustentable tanto para espacios internos y/o externos, el aprovechamiento de este recurso natural puede influenciar de manera positiva el entorno urbano. Sin embargo, es relevante la influencia del lugar, la orientación, la forma de los edificios y la materialidad del entorno. La iluminación en entornos urbanos ha sido un tema de poco estudio. En realidad, se ha investigado la iluminación natural en espacios interiores, tomando como base los elementos exteriores del

espacio como condicionantes para la entrada de luz de sol. Por esta razón, según Muñoz Núñez (2010), la iluminación en la arquitectura es la combinación de luz natural y artificial, dentro de un espacio, con la finalidad de otorgarle las características necesarias para darle identidad y responder a las funciones que se desempeñan dentro de él, cumpliendo simultáneamente con las necesidades ópticas y no ópticas. Es un elemento esencial en arquitectura, su grado de intensidad modifica la tez de los edificios de manera natural a lo largo del día, por lo que hemos hecho de ella un elemento indispensable en el diseño.

Con mayor o menor fortuna, la luz natural ha estado presente en todos los movimientos arquitectónicos y su funcionalidad dentro de un espacio puede analizarse desde distintos aspectos. Sin luz seríamos completamente incapaces de comprender y apreciar el color, la profundidad, el espacio o el volumen, puede determinar nuestras emociones y estados de ánimo ya que afecta la capacidad del cerebro para el manejo de la información puesto que la cantidad de luz, nos afecta a nivel neurofisiológico, proporcionándonos información acerca de las características de los objetos que nos rodean y de esta forma nos podemos desenvolver en nuestro espacio físico, permitiendo: que nos orientemos en el espacio, desempeñar una tarea, sentir confort visual, modificar nuestro ambiente y estado anímico, comunicarnos socialmente, establecer un juicio estético, experimentar seguridad y tener salud y bienestar. Por tanto, la calidad de la iluminación es significativa para la salud humana, igual que para la seguridad y el rendimiento laboral (Gardner & Molony, 2002) (Muñoz Núñez, 2010, págs. 21,22)

3.2.4 Vegetación urbana

La vegetación es el sistema respiratorio del planeta; remueve el dióxido de carbono y otros contaminantes del aire, regenera el oxígeno de la atmósfera, reestablece los niveles de humedad y atrapa el polvo del ambiente (García Chávez & Fuentes Freixnet, 2005, pág. 35). Una

característica importante de las ciudades tropicales es la vegetación urbana, que crea sombras en las calles y en las zonas residenciales y contribuye a desarrollar las posibilidades de adaptación frente al cambio climático. También actúa como un sumidero de carbono, en relación con la cantidad de cobertura verde (Abreu-Harbich, Labaki & Matzarakis, 2013a) (Abreu-Harbich, Labaki & Matzarakis, 2013b) (Abreu-Harbich, Chebel Labaki, & Matzarakis, 2015)

“El espacio verde es una necesidad que prevalece a través del tiempo. Se ha reflejado en el jardín, en espacio de esparcimiento o simplemente el placer de la estética” (Rojas Cortorreal, 2013, pág. 55). La presencia de la vegetación en el diseño urbano se vuelve fundamental para mejorar las condiciones microclimáticas y la calidad de vida de las personas. Su efectividad depende de la densidad del follaje, de la forma de las hojas y de los patrones de ramificación. Los árboles y vegetación también ayudan al mejoramiento del clima a través de la evapotranspiración por lo cual han sido llamados acondicionadores naturales del aire. Los árboles urbanos pueden modificar la temperatura del aire, aumentar la humedad del aire, reducir la velocidad del viento y modificar los contaminantes del aire (Streiling & Matzarakis, 2003) (Abreu-Harbich, Chebel Labaki, & Matzarakis, 2015).

A través del tiempo la ciudad tomo un valor más significativo, por lo que el espacio verde paso a ser el elemento no solo funcional o belleza del hogar, sino también de la ciudad, un elemento urbanístico que además de embellecer, suma elemento de confort al espacio público o privado (Rojas Cortorreal, 2013, pág. 55). La vegetación en espacios urbanos tiene efectos positivos sobre el ambiente. Permite la dilución del aire que “consiste en la mezcla de aire fresco y limpio (puro) con aire contaminado, este último, al pasar a través de la vegetación se diluye y da como resultado un aire enriquecido de oxígeno” (García Chávez & Fuentes Freixnet, 2005, pág. 36). Los efectos de limpieza del aire se producen aerodinámicamente al frenar la masa

vegetal y retener las partículas y por captación de algunas especies vegetales para fijarlas. La reacción de las plantas ante los contaminantes difiere según sus factores particulares de crecimiento - abonos y humedad del suelo -, de las condiciones atmosféricas- viento, lluvia etc., y del estado de desarrollo de la misma. Cada especie vegetal presenta reacciones propias ante los diferentes elementos contaminantes y su reacción ante dosis del producto más bajas que los animales o el hombre (Higueras, 1998, pág. 18). Las plantas transpiran una cantidad considerable de agua. La humedad en suspensión alrededor de las plantas incrementa el contenido de agua en el aire y asienta los contaminantes del viento (García Chávez & Fuentes Freixnet, 2005, pág. 37).

Los efectos de la vegetación en el medio urbano y los parámetros microclimáticos son:

- Acción sobre la humedad ambiental: Por su función fisiológica, liberan humedad al ambiente, del agua sustraída por sus raíces; un metro cuadrado de bosque aporta 500 kg de agua anuales. (Higueras, 1998, pág. 18).
- Acción sobre la velocidad del aire: Su discontinuidad de ramas, hojas etc. le confiere ventajas frente a otro tipo de barreras protectoras contra el viento, que generan efectos perjudiciales y grandes turbulencias en el entorno, ya que no desvían los vientos, sino que los absorben haciéndoles desaparecer. Su longitud de acción está entre 7 y 10 veces la altura de las especies (Higueras, 1998, pág. 19). Produciendo efectos como obstrucción, filtración, deflexión y canalización (García Chávez & Fuentes Freixnet, 2005, pág. 38):
- Acción sobre la radiación solar: Sobre los excesos de radiación del suelo, edificios, espacios abiertos, etc., los árboles son una pantalla ideal. Esto permite un control sobre las temperaturas ambientales muy interesante para alcanzar el confort climático con recursos naturales. (Higueras, 1998, pág. 19).

- Protección contra el ruido: Las barreras vegetales atenúan el ruido en función de la diferencia del trayecto de las ondas sonoras, según el tipo de vegetación que la constituya. (Higueras, 1998, pág. 19).

Las plantas ayudan a reducir los efectos climáticos negativos de la urbanización, por ejemplo, al absorber parte del calor generado en ambientes urbanos y absorbiendo la lluvia que corre en superficies duras. Ellas de esta manera contribuyen a mejorar los climas urbanos tanto a una escala microclimática como a una escala mayor, ayudando a aminorar los efectos de la isla de calor urbana, combaten las inundaciones urbanas, y reducen los costos asociados con el enfriamiento de edificios en climas cálidos (Dunnett & Kingsbury, 2008). Una barrera de árboles o arbustos densos, que ataje los vientos dominantes en un clima frío y/o seco, ayudara a que la temperatura y humedad no descieran más por este factor. Por el contrario, en un clima cálido y/o húmedo, la correcta alineación de la vegetación con los vientos puede conducir a estos obteniendo una reducción en la temperatura y humedad del sitio (Galindo Bianconi & Victoria Uribe, 2012, pág. 101). Por su parte, la disminución de la temperatura del aire bajo las copas de los árboles se debe tanto a la sombra como a la transpiración (Kong et al., 2017) (Rahman, Moser, Gold, Rötzer, & Pauleit, 2018).

En cuanto a la relación entre la vegetación urbana y el confort térmico, para Galindo Bianconi & Victoria Uribe (2012) existen maneras más directas en las que la vegetación incide en el confort del habitante urbano, al proporcionar sombra en días cálidos y techo en días lluviosos. Por lo general, se otorga baja prioridad a la vegetación en áreas urbanas altamente desarrolladas. Con terreno limitado disponible para zonas urbanas. En el verdor, es necesario comprender el comportamiento térmico de los árboles al costado de la carretera en los entornos construidos, planear la plantación de árboles utilizando métodos apropiados e identificar las

ubicaciones de plantación adecuadas (Ka-Lun Lau, Tan, & Ng, 2017). De la misma manera, es importante identificar la forma, geometría (de tronco y corona) y altura de un árbol presente en el medio urbano (ver figura 10).

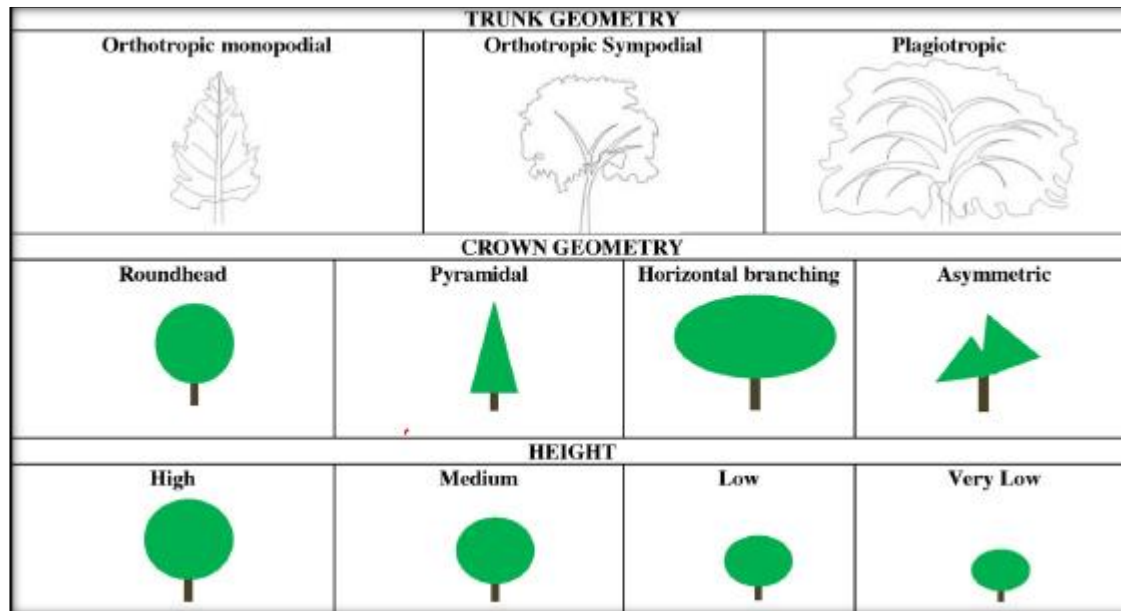


Figura 10. Tipología de arborización. Fuente: Abreu-Harbach, Chebel Labaki, & Matzarakis, (2015).

Según la geometría del tronco, un árbol puede ser ortrópico monopodial, ortotrópico simopodial y plagiotrópico; en cuanto a la geometría de la corona este puede ser de cabeza redonda, piramidal, ramificación horizontal y asimétrico; finalmente, un árbol por la altura se clasifica en alto, medio, bajo y muy bajo. Estas formas de arborización son importantes en la definición de las tipologías urbanas a simular en la investigación, que permiten analizar los efectos de la vegetación en el microclima urbano. El diseño urbano debe disponer de criterios bioclimáticos donde la vegetación sea un fundamento de la planificación de la ciudad.

3.3 Confort térmico en espacios urbanos

Se entiende por “confort” un estado neutralizado donde las personas se sienten plenamente agradable en las condiciones físicas donde se encuentre. Por otro lado, al hablar de confort térmico se habla de las distintas condiciones ambientales que se generan en un espacio

interior o exterior, existiendo diferencias sustanciales entre ambos (Höppe, 1986), (Cordero Ordóñez, 2014, pág. 13). El confort térmico urbano es un ambiente externo donde interfieren los fenómenos energéticos, ocasionando un intercambio de energía en el ser humano y el medio circundante. Estudios acerca del confort térmico urbano demuestran que, un 20% de la energía que utiliza el ser humano es transformada en trabajo mecánico, y el restante se convierte en calor. Esa producción de calor compensa las pérdidas que tenemos hacia el ambiente exterior, regulando la temperatura, y así, generando la sensación de confort. (Coch Roura & Serra Florensa, 1995), (Cordero Ordóñez, 2014, pág. 13)

El confort térmico en las ciudades es cada vez más importante, especialmente en el contexto del calentamiento global y la rápida urbanización (Kong et al., 2016; Luber and McGeehin, 2008; Sanusi et al., 2016; Yuan et al., 2017) (Li & Ratti, 2018). El confort puede ser definido como el estado subjetivo de comodidad del usuario en un espacio determinado, basado en las necesidades y requerimientos tanto del usuario como del espacio mismo, para la realización de una actividad dada, en el que adaptarse a su entorno le requiere solamente de un mínimo de energía -zona de confort-. Ahora bien, el establecimiento de dicha zona de confort, existe dentro de ciertos rangos para las características de temperatura, humedad, radiación, ventilación etc. (Muñoz Núñez, 2010, pág. 14)

El confort térmico en espacios urbanos es afectado por la morfología, parámetros microclimáticos y vegetación. Las calles de la ciudad se convierten en una de las características más críticas del paisaje urbano que afectan, o reflejan, los estilos de vida y los aspectos físicos, mentales, y bienestar social (Miller & Tolle, 2016) (Li & Ratti, 2018). El confort térmico juega un papel importante en la determinación de la calidad de vida en las ciudades. Por ejemplo, existe una amplia evidencia de que el confort térmico de los peatones urbanos influye en su

elección y nivel de actividades al aire libre y la utilización del espacio urbano (Huang, Lin, & Lien, 2015; Hwang, Lin, & Matzarakis, 2011) (Li, Ratti, & Seiferling, 2018).

Con lo anterior, se puede decir que el confort urbano también depende de cuatro parámetros térmicos fundamentales como: Temperatura del aire, envuelve el cuerpo que regula la cesión de calor por conducción-convección y por respiración; temperatura de radiación, media ponderada de las superficies que envuelven el cuerpo, que influye sobre los intercambios radiantes; humedad relativa del aire, 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. No obstante, también influyen factores como la vestimenta, edad, sexo y el grado de actividad de la persona. (Coch Roura, Helena & Serra Florensa, Rafael, 1995), (Cordero Ordóñez, 2014, pág. 14).

Por tanto, al tratar de estimar la sensación de confort térmico de una persona en espacios urbanos se debe establecer la relación entre mediciones de los parámetros microclimáticos y la percepción de confort de una persona en el momento. De esta manera, la sensación de confort con respecto a la temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento, es distinto en cualquier hora del día. Igualmente, la dificultad para evaluar el confort térmico en espacios exteriores reside en que las condiciones climáticas son más variables y diversas que en espacios interiores. Es así que diversos investigadores han propuesto varios métodos que, por una parte, según afirma Givoni, (1998), se centran en establecer la temperatura de confort para una población, lugar y estación dada, es decir, intentan establecer el rango de temperaturas en las cuales la mayor parte de la población encuentra una sensación térmica confortable.

La vegetación influye de forma positiva en la sensación de confort térmico, al regular la temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento. “La provisión de sombra por los

árboles de la calle durante los calurosos meses de verano es un factor primordial para el confort térmico de las personas en las zonas urbanas” (Li, Ratti, & Seiferling, 2018, pág. 81).

Por su parte, la incidencia de radiación solar también influye en el confort térmico de los individuos, debido a las transferencias de calor e intercambio de energía. Las transferencias de calor se pueden categorizar en procesos de conducción-convección del aire y de radiación; el intercambio de calor por convección ocurre por la circulación del aire alrededor del cuerpo humano. Con respecto a los intercambios por radiación, estos dependerán de las temperaturas del cuerpo humano y de las temperaturas de las superficies adyacentes, ya que éstas irradian calor dependiendo principalmente de las características térmicas de sus materiales y de la radiación solar recibida. En condiciones exteriores, el intercambio radiante del cuerpo humano con el ambiente tiene especial importancia debido a la exposición a la radiación solar, la fría bóveda celeste y las cálidas y frías superficies urbanas (ver figura 11) (Cordero Ordóñez, 2014).

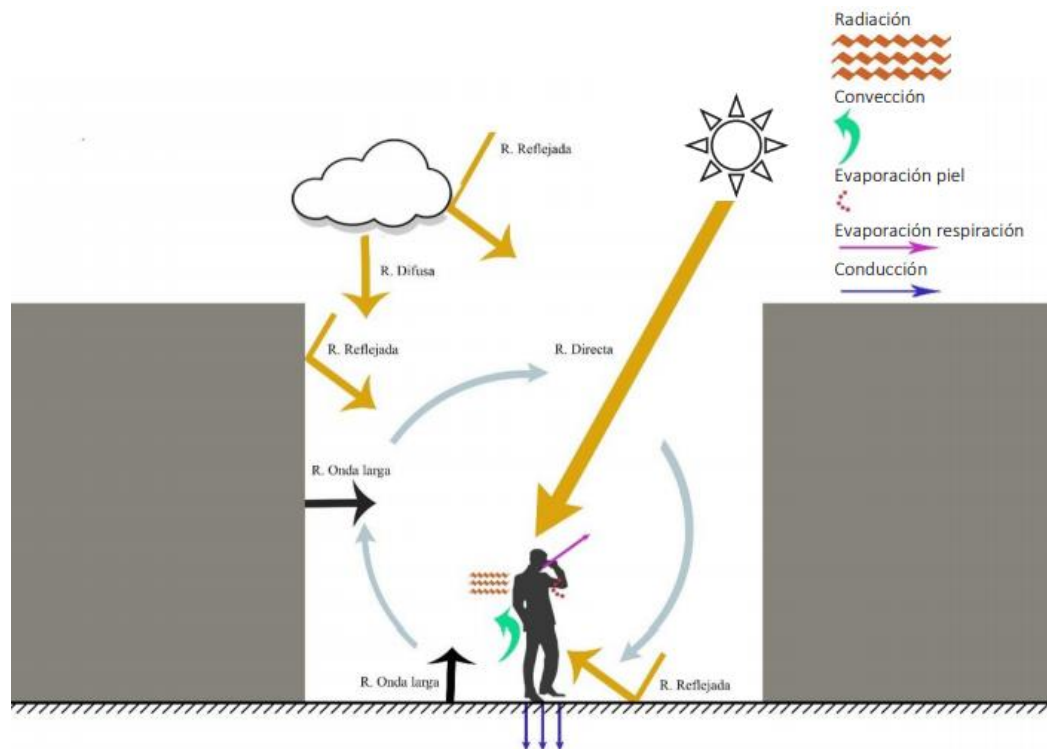


Figura 11. Intercambio de energía entre el cuerpo humano y el ambiente urbano. Fuente: Cordero Ordóñez, (2014, pág. 14). Tesis microclima y confort térmico urbano: Análisis sobre la influencia de la morfología del cañon urbano, caso de estudio en los barrios El Raval y Gracia, Barcelona.

El confort térmico en espacios urbanos, sin duda, está condicionado por las variaciones de los parámetros microclimáticos en un espacio, la vegetación presente, la edad, sexo, vestimenta y actividad física de una persona. Así, establecer el confort térmico de un individuo en un espacio urbano, requiere del estudio y análisis del microclima urbano de un sector seleccionado, identificando las condiciones físicas de la persona y estructura urbana del sector.

El diseño urbano debería responder a criterios bioclimáticos de planeamiento que aseguren el confort térmico, bienestar social y mental de los individuos en espacios exteriores. Por tanto, el confort térmico en espacios exteriores se convierte en el eje fundamental de la investigación, estableciendo criterios bioclimáticos para el diseño urbano que permitan una adecuada sensación y bienestar térmico de los individuos, tomando como caso de estudio una ciudad con clima cálido húmedo, respectivo de regiones tropicales. El clima cálido húmedo

siempre busca confort climático en la protección solar (Sombras) y el viento. Los espacios exteriores, siempre buscan el refugio en los árboles, creando sub espacios debajo de la cubierta de la copa, tanto para recreación y trabajo (Rojas Cortorreal, 2013, pág. 47). Para esto, es necesario el estudio de los parámetros microclimáticos como temperatura del aire, humedad relativa, viento y radiación solar (incluyendo trayectoria solar), los efectos de la vegetación en espacios exteriores y las condiciones de la morfología urbana del espacio. El urbanismo bioclimático que se propone se basa en el equilibrio entre el microclima urbano, la morfología y vegetación de un espacio exterior.

3.4 Microclima y forma urbana de Barranquilla

Para comprender con mayor claridad los efectos del microclima sobre los espacios urbanos, e preciso definir la forma y microclima urbano de la ciudad caso de estudio: Barranquilla (Colombia). Identificando las condiciones climáticas y estructura urbana de la ciudad. Este análisis fundamenta la modelización de las tipologías urbanas a simular, basándose en la investigación realizada por Villadiego Bernal (2014) y los datos suministrados por la Estación Meteorológica y CITA de la Universidad de la Costa (2019).

3. 4.1 Ubicación geográfica y clima de Barranquilla

Barranquilla se encuentra localizada en el vértice nororiental del departamento del Atlántico, sobre la orilla occidental del río Magdalena, a 7,5 km de su desembocadura en el mar Caribe. Tiene una extensión de 154 km² equivalentes al 4,5% de la superficie del departamento del Atlántico. Sus coordenadas geográficas son 10°57'50"N 74°47'47"O y su altura es de 18 m sobre el nivel del mar. La ciudad se caracteriza por tener un clima tropical seco y cálido húmedo.

El clima cálido húmedo es propio de regiones tropicales, entre la latitud 0° (Ecuador) y los 23° de latitud Norte y Sur, es decir, entre los trópicos de Cáncer y Capricornio. Dicho clima

es consecuencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), un cinturón de baja presión que ciñe el globo terrestre en la región ecuatorial (Rodríguez Algeciras, 2013, pág. 8). Conforme a la clasificación climática de Köppen, le corresponde un clima Aw o tropical de sabana.

El régimen de precipitación de Barranquilla se rige por dos periodos: uno seco, de diciembre a abril, y otro lluvioso que abarca de abril a principios de diciembre. En abril o mayo empiezan las lluvias de «primera». Hacia fines de junio, mayor parte de julio y a veces en agosto, tiende a disminuir la lluvia, constituyéndose una seca conocida como veranillo de San Juan. La precipitación anual promedio es de 821 mm. La distribución de las temporadas seca y lluviosa está en la ilustración. La temperatura promedio de la ciudad es de 24°C a 32 °C y rara vez baja a menos de 23 °C o sube a más de 34 °C de noviembre hasta principios de abril, coincidiendo con el invierno boreal, soplan los vientos alisios del nororiente, mitigando en parte el intenso calor. Hacia finales de junio sopla los vientos alisos del suroriente, produciendo el veranillo de san juan.

Según los datos meteorológicos de la ciudad de Barranquilla del año 2018 (enero-noviembre) suministrados por la Estación Meteorológica de la Universidad de la Costa (2019), la temperatura y humedad aumenta entre los meses de mayo y noviembre (superior a los 28 °C), mientras que los cuatro primeros meses del año registran menos temperatura y humedad (Entre 26-27,5 °C). En cuanto a la velocidad del viento, los cuatro primeros meses del año registran datos que oscilan entre los 4-7,5 m/s, disminuyéndose la velocidad del viento entre los meses de mayo y noviembre (2-3,6 m/s); una variación de 0,4-5 m/s. Por su parte, en los once meses del año presentados, la radiación solar oscila entre 160-220 w/m²; el índice UV no supera los 2 puntos, siendo datos bajos; el índice de calor en los meses va desde los 28 °C hasta los 36,5 °C,

de esta manera, aunque la temperatura que se registre sea de 29 °C el índice de calor puede superar los 36 °C tal como se registra en el mes de septiembre (ver tabla 3-4).

Tabla 3 *Mediciones del clima 2018 en la ciudad de Barranquilla*

Mediciones del clima Barranquilla (Colombia) 2018						
Mes del año	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Índice de calor (°C)	Radiación solar (w/m ²)	Índice UV
Enero	27,17	83,89	7,32	30,8	170,9	1,29
Febrero	26,9	80,4	6,65	28,79	215,4	1,65
Marzo	26,8	83,5	6,5	30,1	183,1	1,3
Abril	27,9	84,4	4	32,7	196,9	1,7
Mayo	28,61	85,4	2,45	34,69	172,46	1,52
Junio	28,9	84,1	3	35	202,1	1,7
Julio	28,5	84,2	3,9	34,1	211,2	1,7
Agosto	28,82	83,9	3,6	34,9	216,9	1,69
Septiembre	29,3	84,6	2,77	36,45	190,05	1,54
Octubre	28,79	83,77	2,49	34,88	164,1	1,32
Noviembre	28,6	84,94	3,36	34,73	165,7	1,23

Nota. Elaboración propia basándose en los datos meteorológicos suministrados por la Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019)

Tabla 4 *Índice UV*

Índice UV
Bajo (0-2)
Moderado (3-5)
Alto (6-7)
Muy Alto (8-10)
Extremo (11 o más)

Nota. Elaboración propia.

Hay que resaltar que las mediciones presentadas y suministradas por parte de la Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019) fueron hechas desde las 12:00 de la mañana hasta las 11:59 de la noche, en intervalos de cinco minutos por cada hora, en cada día de los respectivos meses presentados. De igual forma, es necesario comparar gráficamente las mediciones suministradas (ver figuras 12-14)

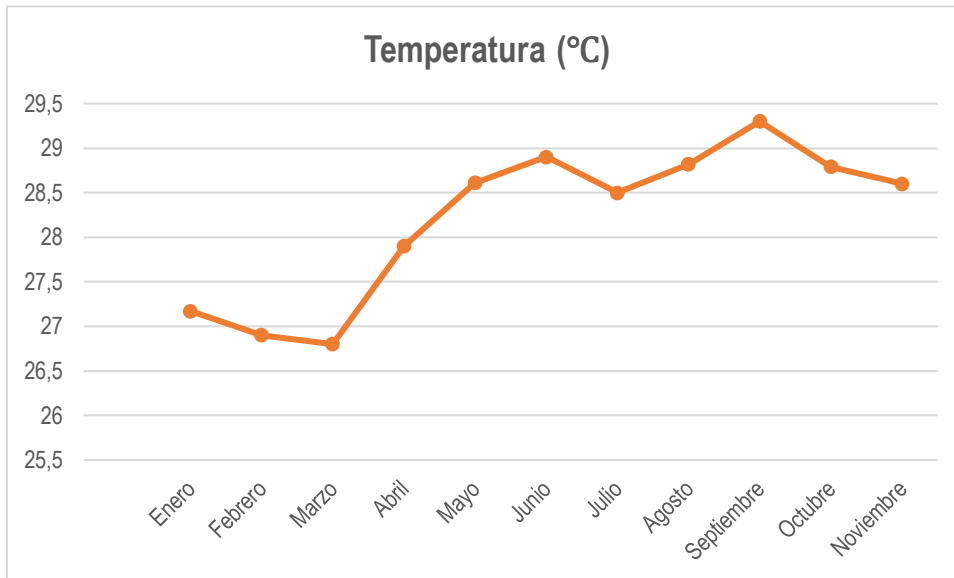


Figura 12. Temperatura entre los meses de enero y noviembre del año 2018. Elaboración propia

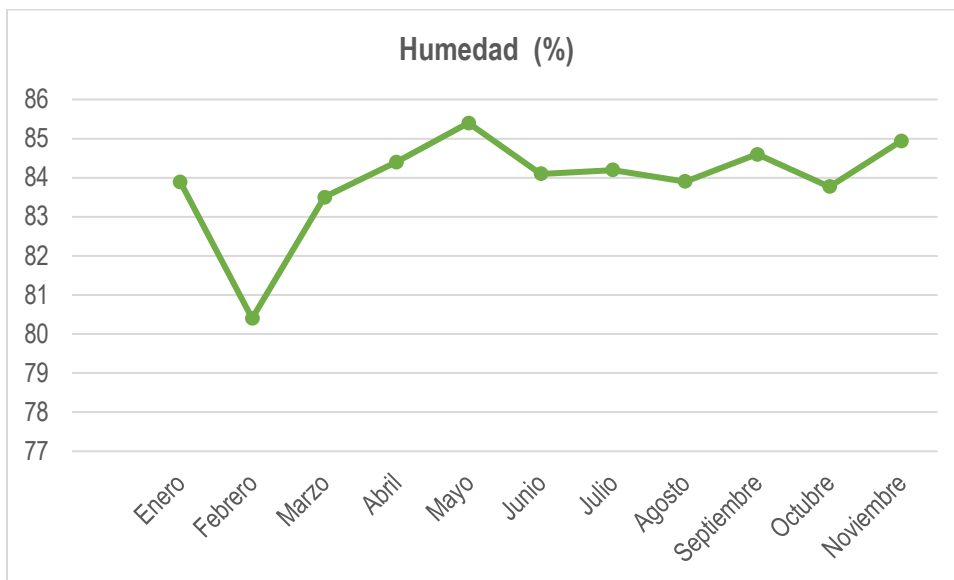


Figura 13. Humedad entre los meses de enero y noviembre del año 2018. Elaboración propia

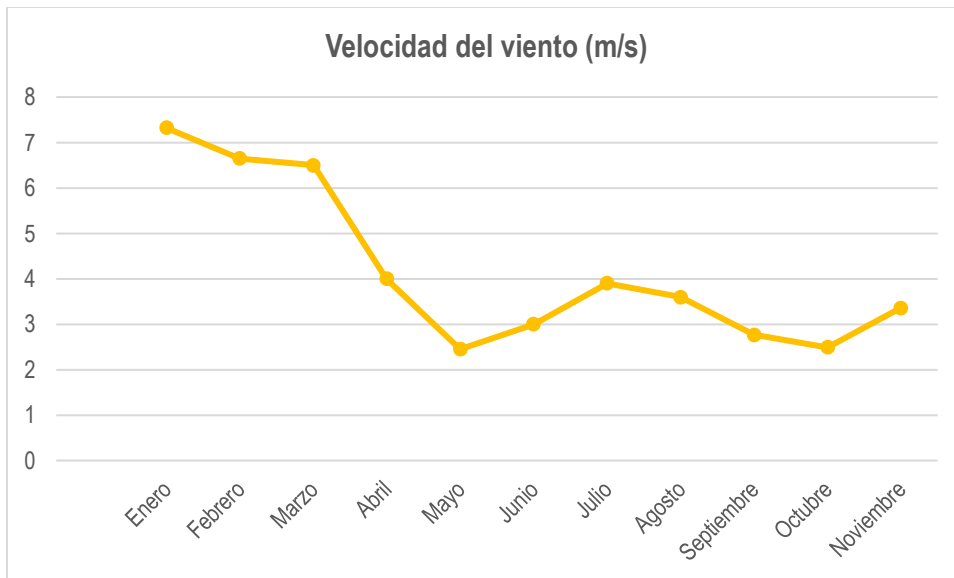


Figura 14. Velocidad del viento entre los meses de enero y noviembre del año 2018. Elaboración propia

La ciudad de Barranquilla, como fue mencionado al inicio de este apartado, posee un clima cálido húmedo característico de comunidades en regiones tropicales. El clima cálido húmedo se caracteriza por las altas temperaturas constantes en el transcurso del día, con variaciones destacadas día a la noche. Una radiación intensa en el transcurso del año, más difusa que en otros climas, y pocas nubes para protección, vientos muy variados que infieren con estaciones de huracanes y lluvias a mediados del año, generando muy alta humedad (Serra Florensa & Coch, 1999, pág. 94) (Rojas Cortorreal, 2013).

En cuanto a la predominancia en la dirección del flujo de viento, en Barranquilla los flujos de viento provienen, en gran porcentaje, del noreste y este, con pequeñas variaciones del suroeste, sureste y noroeste, y un promedio de calmas de 1.23%. La Estación Meteorológica de la Universidad de la Costa proporcionó la rosa de los vientos resultantes de las mediciones entre los meses de enero y octubre del año 2018 (ver figura 15-24).

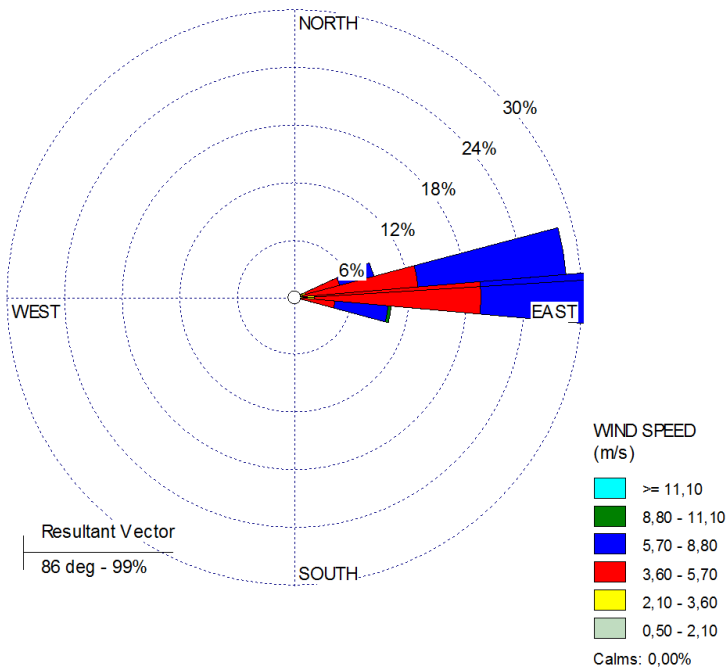


Figura 15. Rosa de viento: Enero 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019)

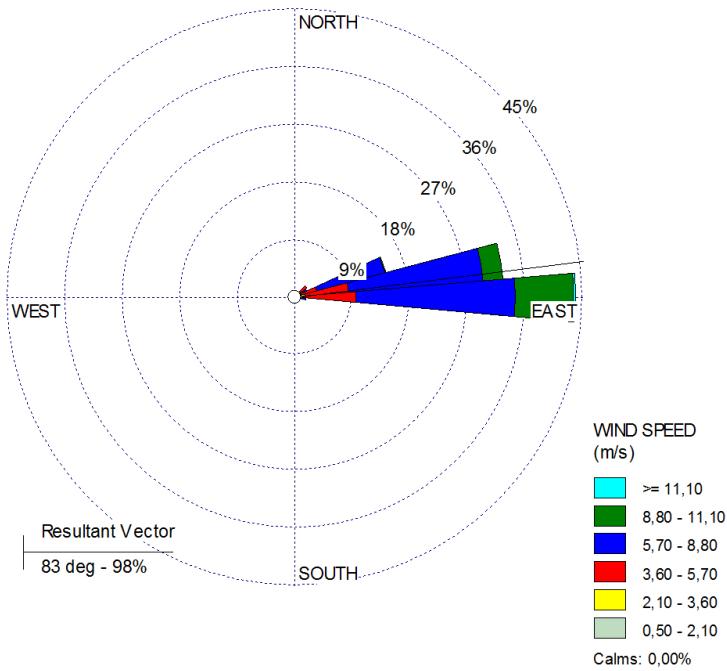


Figura 16. Rosa de viento: Febrero 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019)

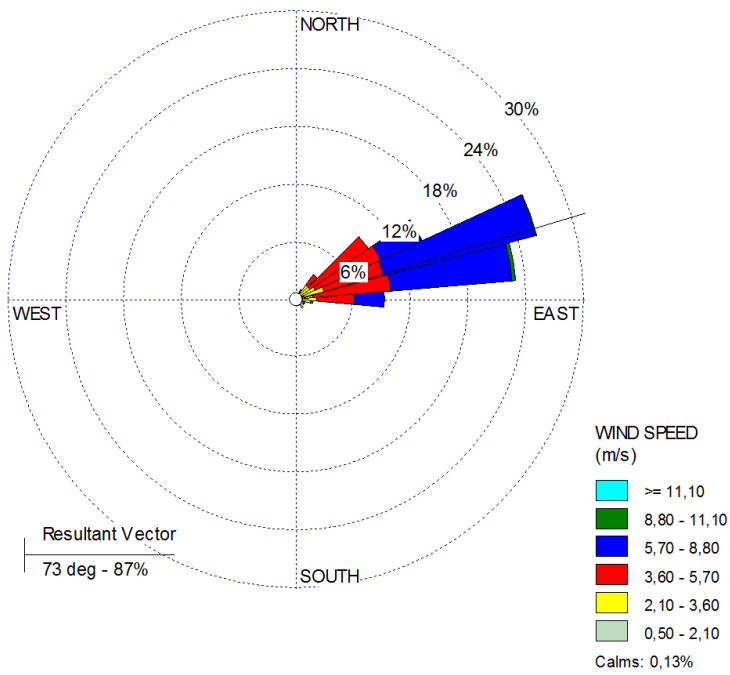


Figura 17. Rosa de viento: Marzo 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019)

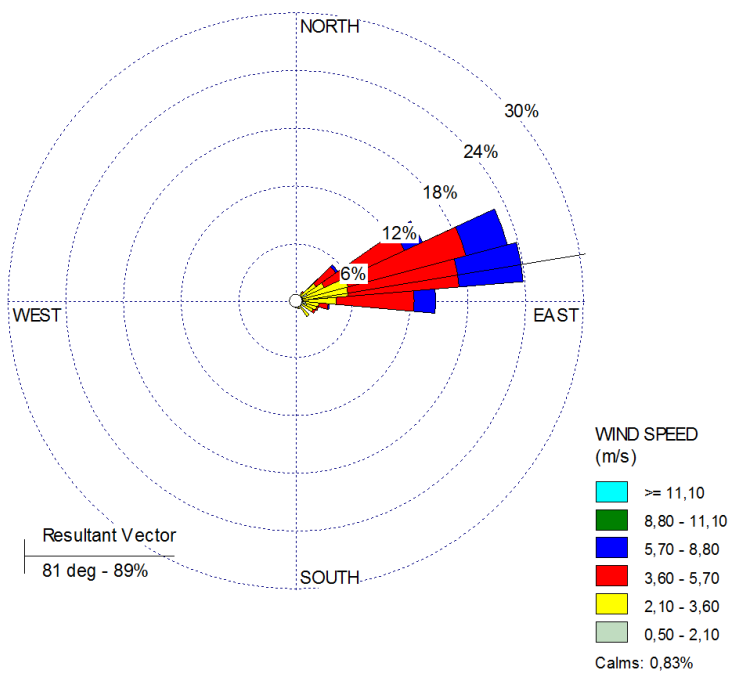


Figura 18. Rosa de viento: Abril 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019)

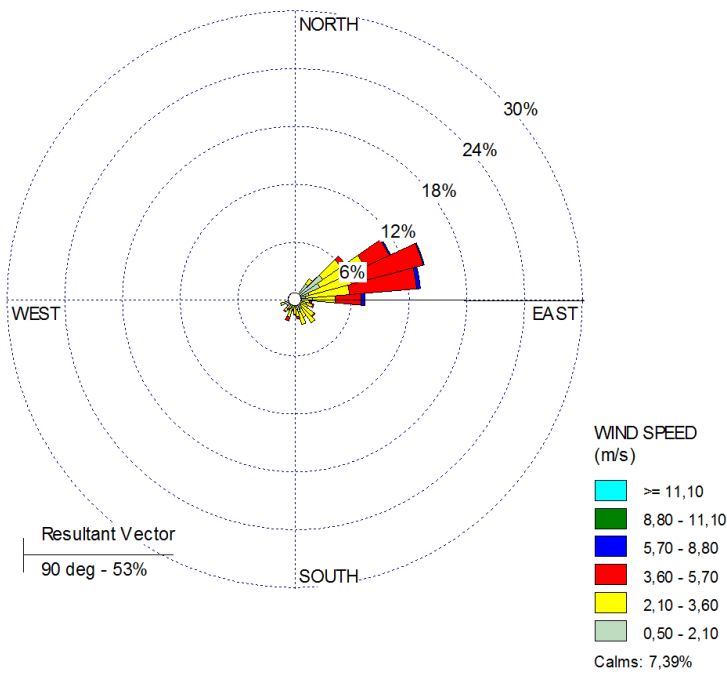


Figura 19. Rosa de viento: Mayo 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019)

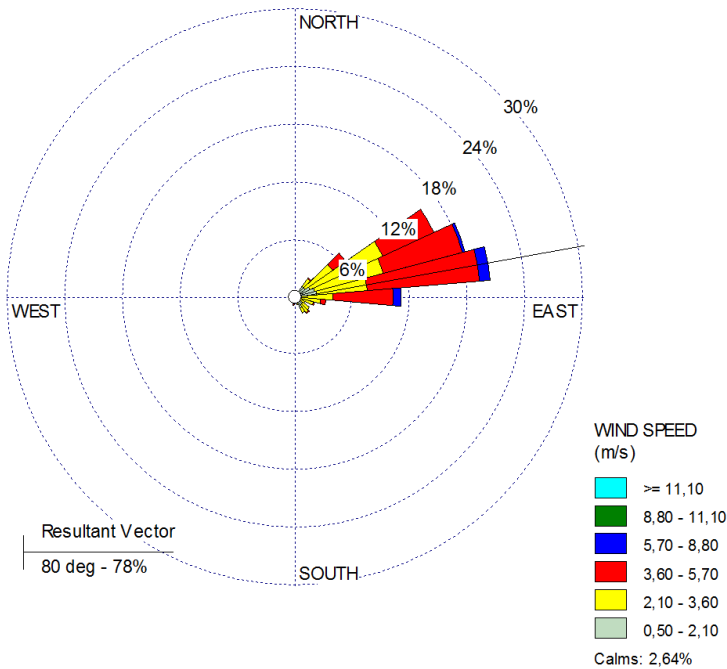


Figura 20. Rosa de viento: Junio 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019)

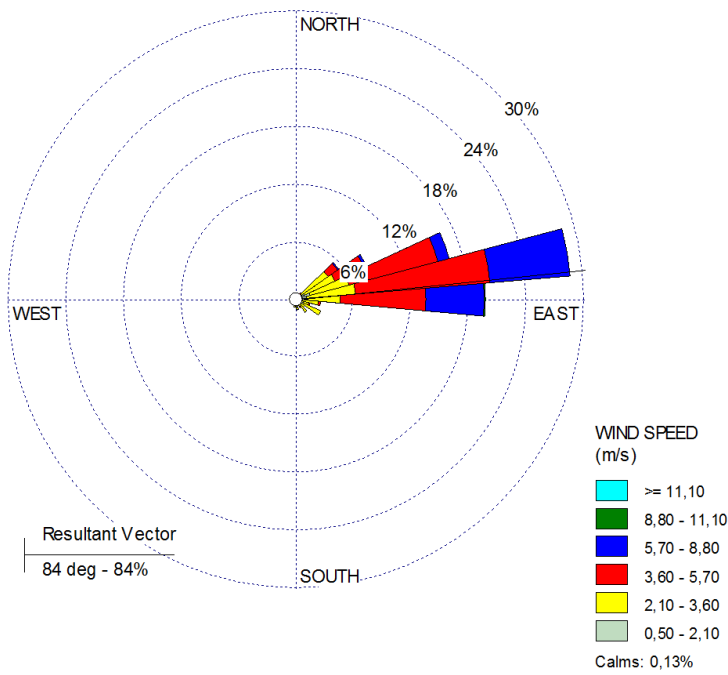


Figura 21. Rosa de viento: Julio 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019)

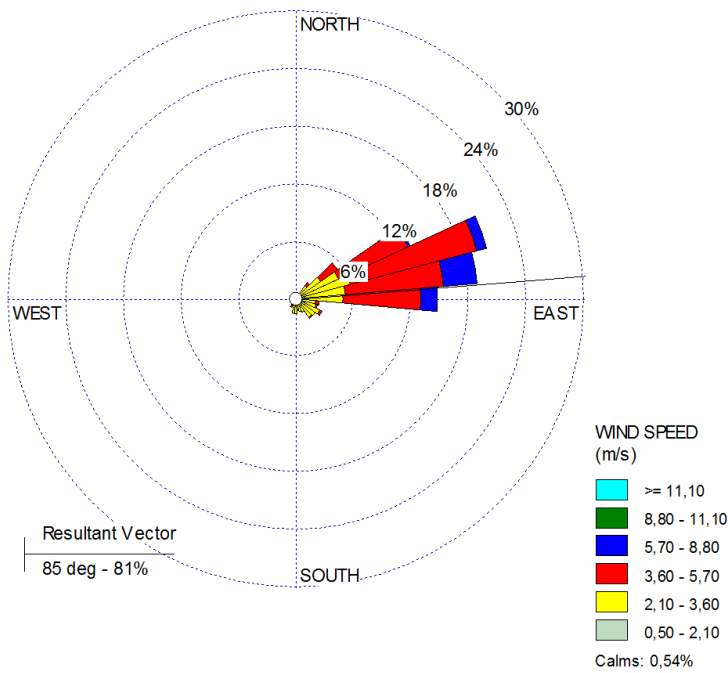


Figura 22. Rosa de viento: Agosto 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019)

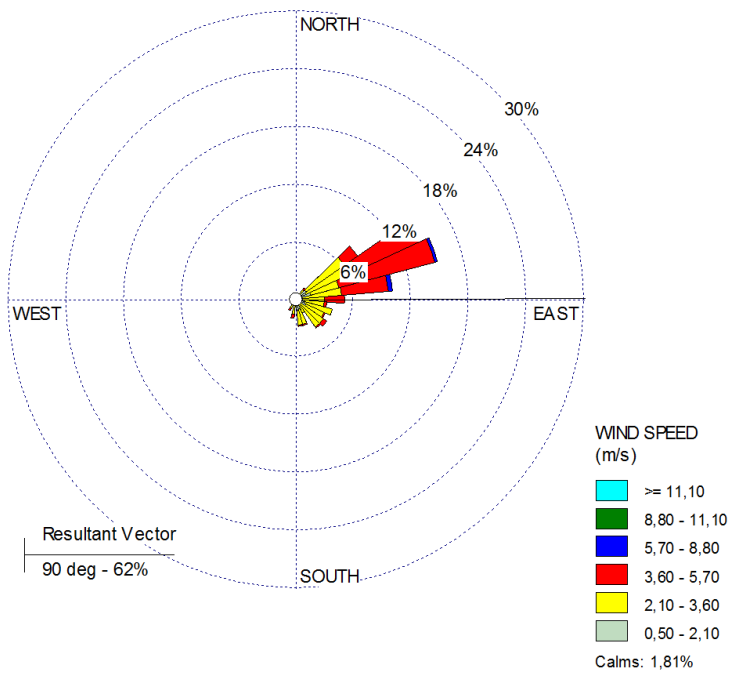


Figura 23. Rosa de viento: Septiembre 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019)

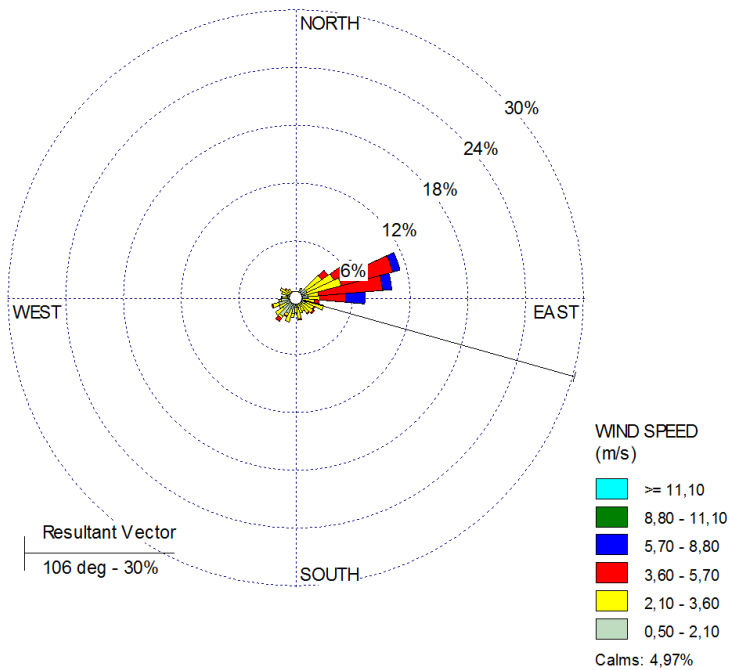


Figura 24. Rosa de viento: Octubre 2018. Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019)

3. 4.2 Forma urbana y microclima de Barranquilla

La ciudad de Barranquilla se caracteriza por un tejido urbano cerrado o denso (compacto), con bajas zonas verdes o con abundante vegetación. En Barranquilla, la diferencia entre un tejido abierto y un tejido denso se debe hacer más por la huella que por la altura del edificio, ya que los edificios bajos predominan en la ciudad. Desde este punto de vista, la ciudad es más densa que abierta y las áreas naturales representan el porcentaje más bajo (ver figura 15) (Villadiego Bernal, 2014, pág. 244).

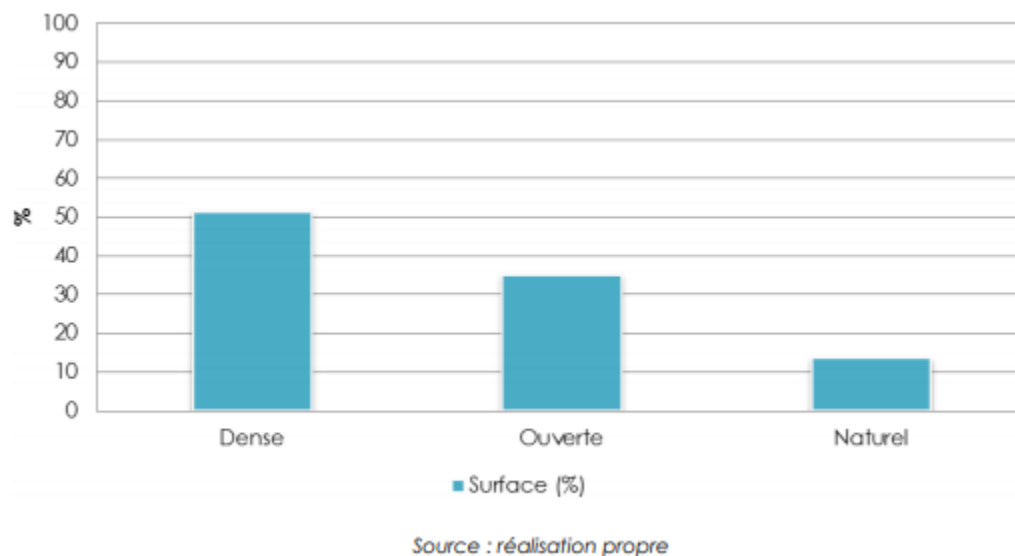


Figura 25. Área urbana (%) por densidad de edificación en Barranquilla. Fuente: Villadiego Bernal (2014, pp. 244).

El tejido urbano de la ciudad es un 50 % denso, más de un 30 % abierto y alrededor de un 15 % corresponde a espacios naturales. Las zonas de la ciudad de Barranquilla, según su tejido y estructura urbana, se pueden clasificar en varias zonas climáticas locales expuestas en apartados anteriores. El norte se caracteriza por un tipo de tejido más abierto, presenta LCZ de los tipos: (04) "abierto de gran altura", (05) "abierto de media altura", (06) "abierto de menor altura". Las parcelas son más grandes. Los edificios (incluso si son altos) tienen suficiente espacio para ventilación, lo que da como resultado más áreas verdes y una menor densidad de edificios que en otras áreas. Además, estas áreas muestran la menor densidad de población.

Según el sistema LCZ, el sureste de la ciudad aparece como un área altamente densificada, compacta de media altura (02) y compacta de baja altura (03). La densidad de población es mayor que en el norte de la ciudad. Mientras que en el suroccidente de la ciudad el tejido urbano es abierto (ver figura. 16) (Villadiego Bernal, 2014).

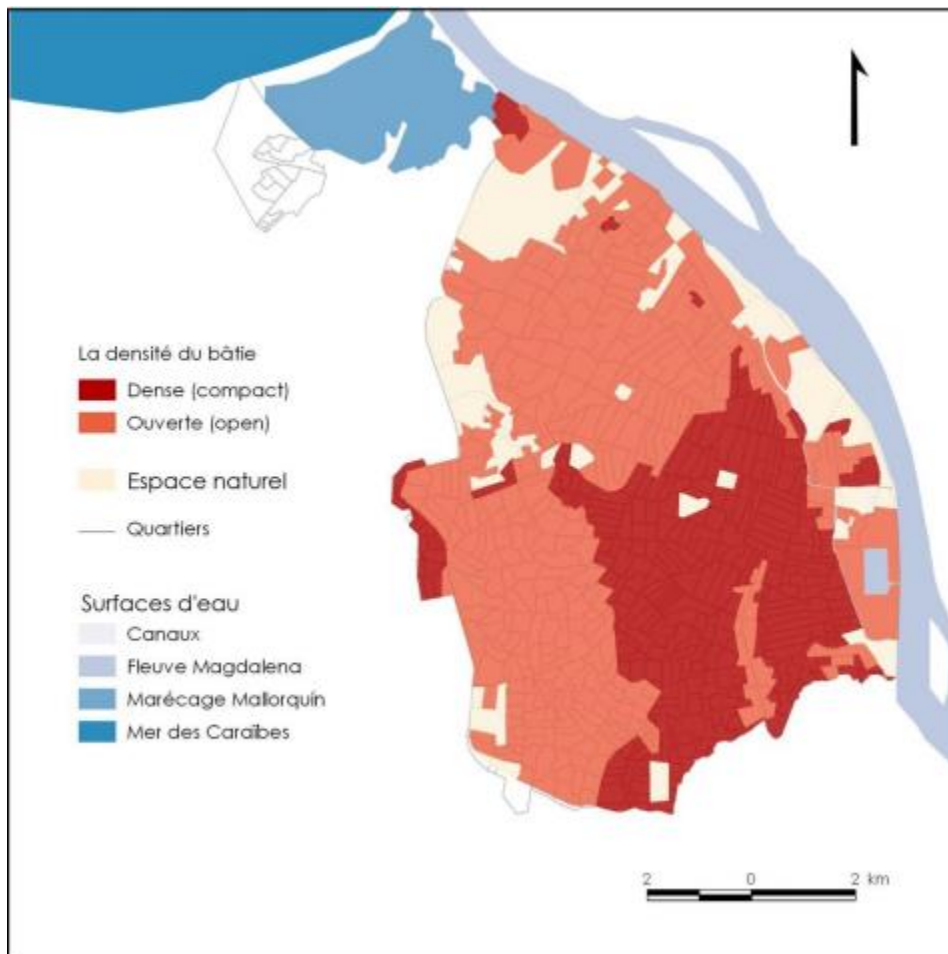


Figura 26. Análisis de la forma urbana de Barranquilla según la variable de densidad de edificación. Fuente: Villadiego Bernal (2014, pp. 245).

Barranquilla es bastante heterogénea con respecto a la altura de los edificios. Sin embargo, es una ciudad horizontal, ya que el 86% de su superficie está clasificada como de tipo de baja elevación (entre 1 y 3 niveles, es decir, de 0 a 2 pisos) (ver figura 17-18). Las áreas con edificios altos se reducen, pero muestran un aumento, especialmente en el norte de la ciudad, debido a la presión de la actividad de construcción combinada con el agotamiento del suelo

urbano (el 99% del suelo ya está urbanizado). Estos son proyectos de viviendas de alto nivel que abogan por las opiniones y el prestigio de los vecindarios en cuestión como la principal estrategia comercial (Villadiego Bernal, 2014). Según la altura de las edificaciones, alrededor del 10 % es de media altura y un 5 % de gran altura. Esto puede suponer, que los edificios de mediana y gran altura se han ido construyendo en los últimos años, representando usos comerciales y residenciales (ver figura 17).

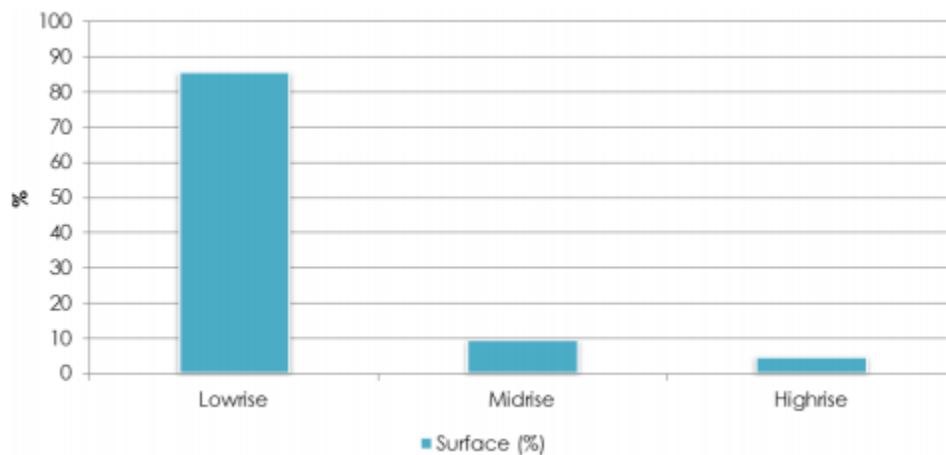


Figura 27. Área urbana (%) según la altura del edificio en Barranquilla. Fuente: Villadiego Bernal (2014, pp. 247).

En la ciudad de Barranquilla están presentes la mayor parte de las zonas climáticas locales según lo expuesto por Villadiego Bernal (2014), siendo la siguiente su descripción:

- En el casco antiguo de la ciudad se identifica una LCZ 2 o compacto de media altura, donde las edificaciones tienen de 3 a 9 niveles y la relación H/W está entre 0.75-1.50.
- La mayor parte de Barranquilla presenta una LCZ 3 o compacto de baja altura, con edificaciones de 1 a 3 niveles y relación H/W entre 0.75-1.50.
- En la zona norte de la ciudad se identifica una LCZ 4 o abierto de gran altura, con edificaciones con más de 10 niveles, presencia de arborización y suelo permeable, y relación H/W mayor a 2. Es decir, que aproximadamente el ancho de las calles es superior a 15 metros y la altura de las edificaciones superior a 30 metros.

- En las zonas residenciales privadas construidas en la ciudad se identifica una LCZ 5 o abierto de media altura, con edificaciones de 3 a 9 niveles y relación H/W entre 0.3-0.75.
- En el sector del Prado y barrios aledaños se presenta una LCZ 06 o abierto de baja altura, con edificaciones de 1 a 3 niveles y relación H/W entre 0.3-0.75.
- El resto de las zonas de la ciudad presentan estas zonas climáticas locales: LCZ 7 o alta y baja densidad en el suroeste y sureste, edificaciones de 1 a 3 niveles y relación H/W entre 1-2; en los sectores a orillas y colindantes al río Magdalena, vía 40, Circunvalar y la zonas portuarias se identifica una LCZ 8 o área grande con edificaciones de baja altura (1-3 niveles); en otras zonas a orillas del río Magdalena se identifica una LCZ 10 o industria pesada con relación H/W entre 0.2-0.5.

La estructura urbana de la ciudad de Barranquilla está determinada por las distintas zonas climáticas locales expuestas por Stewart, I. et Oke T. (2012). Por tanto, las alturas de las edificaciones en el distrito pueden clasificarse en baja altura (1 a 3 niveles), mixto de baja y mediana altura (1 a 9 niveles), mixto de baja y gran altura (1 a 10 niveles), media altura (3 a 9 niveles) y gran altura (mayor a 10 niveles). Además, que existen sectores no urbanizados que pertenecen al suelo urbano de la ciudad (Ver figura 18).

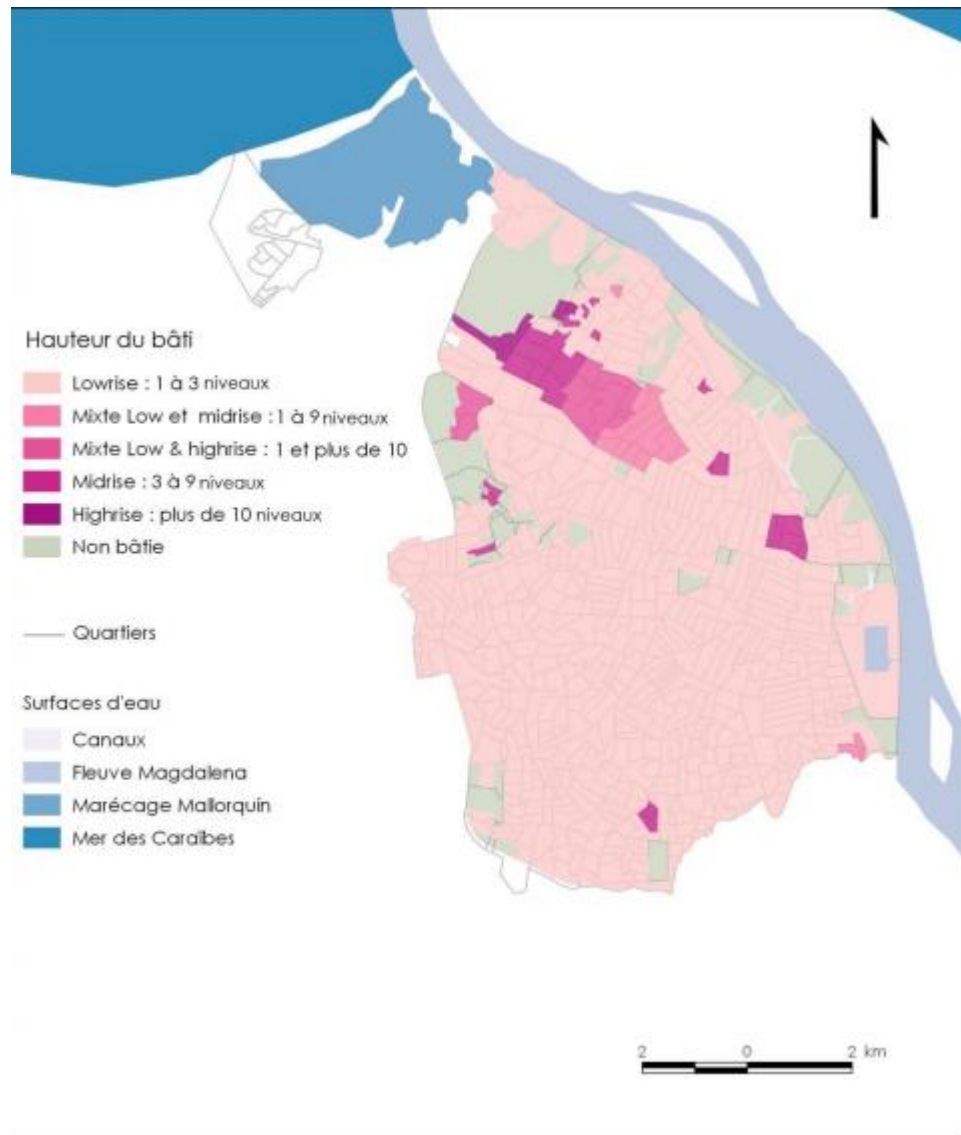


Figura 28. Análisis de la forma urbana de Barranquilla por variables de altura del edificio. Fuente: Villadiego Bernal (2014, pp. 248).

Con respecto al microclima urbano, respectivamente a la isla de calor urbana la ciudad mayormente presenta una intensidad teórica de ICU promedio o baja, presentándose una intensidad teórica fuerte en sectores cuyo tejido urbano se clasifica como LCZ abierto de mediana y gran altura, y compacto de gran altura (ver figura 19).

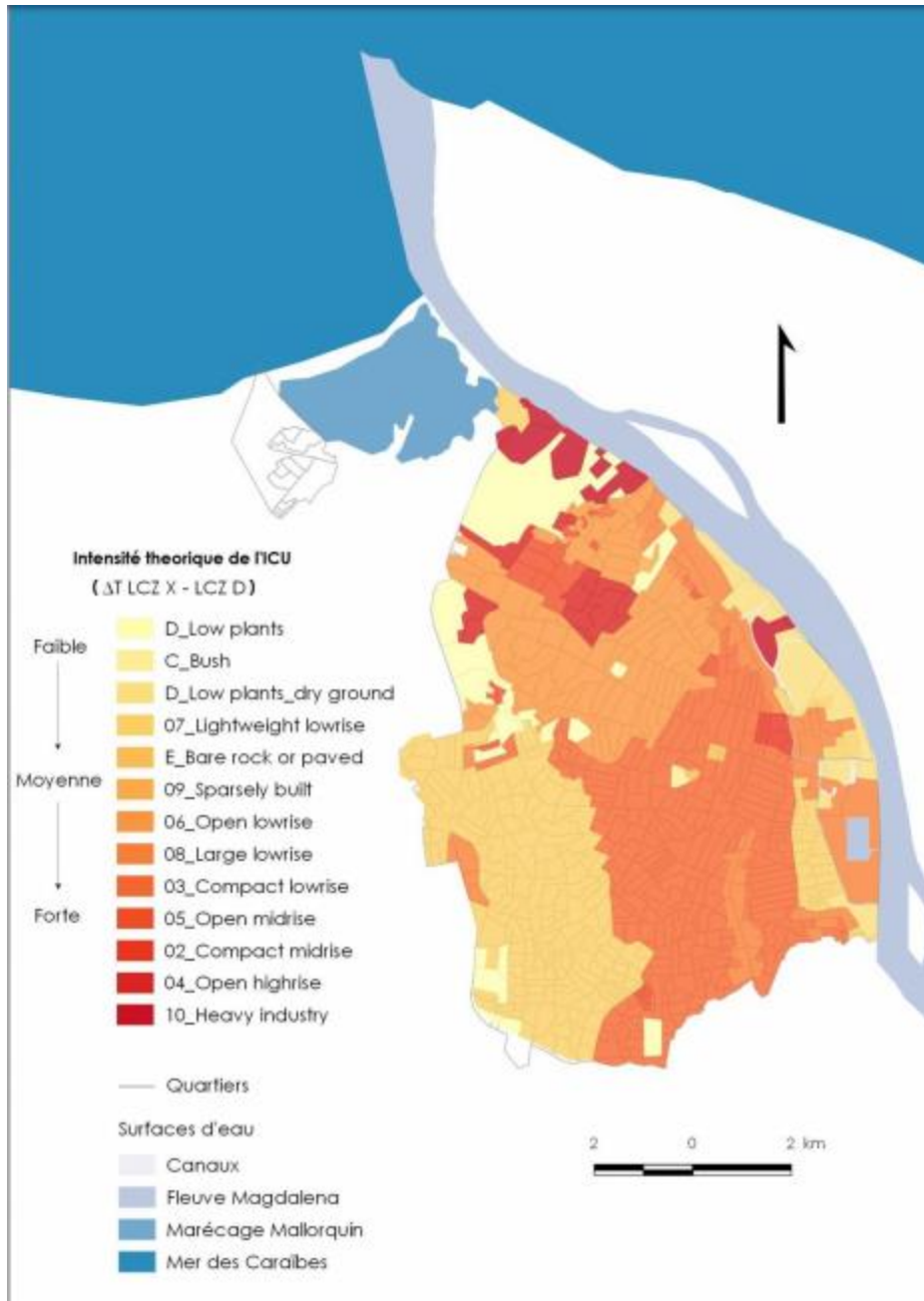


Figura 29. Intensidad teórica de la isla de calor urbano en Barranquilla. Dependiendo de la gradación de color, el mapa muestra que la mayor diferencia es entre las zonas industriales y la zona de baja vegetación ($\Delta T_{LCZ10-LCZD}$). Fuente: Villadiego Bernal (2014, pp. 269)

Según la figura anterior, la intensidad teórica de la isla de calor urbana puede ser baja, promedio y baja, precisando cada variable de la siguiente forma:

- La intensidad teórica de ICU es baja (faible) cuando las edificaciones sean de bajo nivel (Baja densidad y altura), exista abundante arborización y suelo permeable.

- La intensidad teórica de ICU es promedio (Moyenne) cuando las edificaciones tengan paredes al descubierto, calles pavimentadas, sectores con LCZ compacto y abierto de baja altura o zonas escasamente construidas.
- La intensidad teórica de ICU es alta (Forte) cuando la zona climática local abierto de media y gran altura y en sectores con industrias pesadas.

Los barrios de la ciudad localizados en el suroccidente y parte colindante al río Magdalena presentan una intensidad teórica baja, mientras que en el resto de los barrios la intensidad teórica de ICU es promedio, siendo pocas las zonas en nivel alto. El estudio del microclima y estructura urbana en Barranquilla, puede asegurar que el diseño urbano de futuros espacios en la ciudad sea construido con la premisa de reducir los efectos del calentamiento global como la isla de calor urbana, permitir la sensación de confort térmico y bienestar social por parte de los individuos y aumentar la cobertura vegetal en los nuevos espacios.

4. Estado del arte

Desde la antigüedad se ha estudiado la influencia del clima en relación al confort térmico del individuo. Uno de los pioneros en abarcar este tema fue Hipócrates en su obra “De los aires, de las aguas y de los lugares”. Es a partir del siglo XX cuando se empieza a hablar del concepto de microclima urbano en relación al hombre, el clima y la ciudad, otros autores como como Kratzer (1937) y Chandler (1965), realizaron investigaciones y estudios doctorales relacionados con la climatología urbana, el confort y bienestar de las personas en el medio urbano. Muchos departamentos de planificación urbana ya tienen una nueva percepción sobre el urbanismo, puesto que, están implementando estrategias y criterios de diseño bioclimáticos en base a las problemáticas ambientales.

Los proyectos citados y recopilados en esta investigación tienen un mismo eje de estudio, siendo el diseño urbano bioclimático y la incidencia de los parámetros microclimáticos sobre este, asimismo, se clasificaron estudios relevantes de las variables microclimáticas y la vegetación en su función con la arquitectura y urbanismo.

4.1 Morfología y microclima urbano. Caso de estudio: Valparaiso, Barcelona, España

Claudio Carrasco Aldunate (2008) realizó la tesis doctoral de carácter académico titulada “Morfología y microclima urbano: Análisis de la forma espacial y materiales como modeladores del microclima de tejidos urbanos mediterráneos costeros. El caso de la ciudad de Valparaiso” en la ciudad de Valparaiso, Barcelona, España. La investigación tiene por objetivo analizar la relación entre la morfología y el microclima urbano, proponiendo sugerencias de diseño para la ciudad, dirigida a la gestión de una mayor eficiencia energética en sus edificaciones y confort climático de sus espacios urbanos. Según Carrasco Aldunate (2008), existen distintos tipos de clima urbano en una misma ciudad definidos por los distintos elementos urbanos de geometría y

materiales que la conforman. De este modo es posible aportar unas sugerencias de diseño en la conformación microclimática de tejidos urbanos, que mejoren los niveles de eficiencia energética en edificaciones y calidad climática de los espacios públicos de las ciudades de clima mediterráneo costero en general y de Valparaíso en particular.

Además, Aldunate (2008) realiza un modelo de evaluación cualitativa y cuantitativa que aporta a las decisiones de emplazamiento y diseño de espacio de nuevos trozos y desarrollo urbano de la ciudad de estas características mediterráneas, determinando herramientas de diseño que arquitectónicamente permiten informar y evaluar la relación entre estos elementos espaciales, estimando que a partir de la evaluación de los casos de estudio, se identifican elementos de la morfología urbana y la topografía, que son incidentes, como factores, en el clima urbano y microclimas de ciudad.

Según Carrasco Aldunate (2008), la topografía como una de las condicionantes de las formas urbanas define en la ciudad el crecimiento en tejidos geométricos y tejidos orgánicos. Explica que, en las zonas planas de la ciudad, cimas de cerros, o zonas de pendientes suaves se encuentran trazados geométricos y regulares, y en zonas de transición topográfica de ladera y quebradas, se encuentran tejidos orgánicos que se acomodan a la forma que permite la construcción de tejidos, definiendo formas de calles, tamaños de grano edificado, orientaciones, entre otros. En la figura 1 se observa los tres tipos de tejidos urbanos (orgánico, transición y geométrico) que se identificaron en Valparaíso.

Posteriormente, en el proyecto de investigación se realizaron tres estudios con el propósito de comprender el dominio que tiene la forma urbana sobre el clima. El primero está basado en realizar un análisis y evaluación del comportamiento climático global de la ciudad de Valparaíso respecto a su condición de emplazamiento donde se analizaron las condiciones de

altitud respecto al nivel del mar, y respecto a la morfología urbana donde se usaron recorridos, mediciones y observaciones. El segundo estudio está conformado por el análisis y evaluación del comportamiento climático de situaciones puntuales en diversos tejidos de la ciudad respecto de sus condiciones de forma geométrica y materiales de edificación, mediante recorrido, mediciones y observaciones en terreno.

Estos estudios realizados por Carrasco (2008) arrojaron unos datos del comportamiento microclimático puntal de las zonas estudiadas donde se puede apreciar la temperatura y húmedas relativa en el aire, velocidad del viento y temperatura de radiación, dirección del viento y la variación del aire, a su vez muestra los datos de estos mismos factores, pero de la estación meteorológica USM suministrado como referencia para cada estudio evaluado. El tercer estudio se centró en el acercamiento a la determinación de un modelo matemático de clima zonal, a partir del análisis y evaluación del comportamiento climático del estudio numero dos mencionado anteriormente.

Los datos del trabajo permiten contribuir, al mejor entendimiento de cómo las formas y materiales del espacio urbano participan en la determinación de los microclimas existentes en tejidos urbanos de clima mediterráneo costero (Carrasco Aldunate, Tesis doctoral: Morfología y microclima urbano, 2008). Concluyendo lo planteado en la investigación, se puede decir que la morfología urbana y los materiales implementados de las construcciones de la ciudad, influyen en la determinación del clima en los espacios exteriores. Esto se logra mediante una serie de ejercicios y pruebas como lo fueron conocer la temperatura y velocidad del aire, humedad y radiación de los materiales con los que se han construido en este caso los espacios públicos (Carrasco Aldunate, 2008).

4.2 El microclima urbano en los espacios abiertos

La investigación de carácter académico titulada “El microclima urbano en los espacios abiertos. Estudio de casos en Madrid” realizado por la Arquitecto -Ingeniero Irina Tumini (2012) y patrocinada por la Universidad Politécnica de Madrid y la Escuela Técnica Superior de Arquitectura, tiene como objetivo proponer estrategias para el diseño bioclimático de los espacios urbanos exteriores para el clima templado-seco de la ciudad de Santo Domingo (República Dominicana), fundamentado en el estudio de los comportamientos climatológicos del entorno y del enfoque referencial sostenible considerado en el estudio.

Los espacios abiertos con diferentes características de diseño, morfológicas y de uso de suelo, varían en su comportamiento microclimático. La variación de estos parámetros influye en la respuesta climática del medio, afectando a la eficiencia energética del conjunto construido y a las condiciones de bienestar de los ocupantes (Tumini, Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio, 2012). Para este trabajo, la investigación se centró en dos tipologías urbanas, las de bloque abierto y edificios en manzanas cerradas. Dentro de estas dos se pueden encontrar diversas diferencias como lo son la altura de las edificaciones, orientación, estructura y anchura de la calle, que influye de manera inmediata en la función microclimática. El proceso se inicia con la observación del comportamiento térmico del microespacio urbano, con particular referencias al fenómeno de la isla de calor urbana, de cómo eso influye en el consumo energético, afecta el confort de las personas y en consecuencia el uso del espacio exterior (Tumini, Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio, 2012).

El estudio empírico de la investigación se realizó por medio de una campaña de medición in situ de las condiciones climáticas de los casos de estudio con el auxilio de equipos manuales y la revisión de los datos registrados por las estaciones meteorológicas del sistema integral de

calidad del aire de Madrid (SIM) y de la agencia de meteorología española (AEMET). A su vez el estudio analítico se realizó por medio de un software de simulación 3D que calcula las condiciones climáticas (Tumini, Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio, 2012). La investigación ejecuta varios escenarios de estudios de proyectos, teniendo en cuenta las diferentes soluciones que pueden tener compatibilidad con proyectos de reforma urbana. Simulando diferentes casos y presentado los resultados en unas fichas de análisis comparativo donde el parámetro de comparación es la mejora del confort térmico. Demostrándose así que la aplicación de la misma medida a espacios diferentes no provoca el mismo resultado en el comportamiento térmico, ya que este responde a las características morfológicas específicas del lugar de aplicación.

Para concluir, según Tumini (2012), los casos de estudio determinaron que la morfología de edificios de manzanas cerradas muestra temperaturas más altas, tanto en invierno como en verano. Por otro lado, en el caso de tipología de edificios en bloques abiertos, los lugares con presencia de vegetación (las plazas con árboles, el boulevard, los jardines entre los edificios, etc.) constituyen una especie de oasis microclimático, elemento a considerar para suavizar la temperatura máxima en la condición de verano. En otras palabras, es de vital importancia que las edificaciones habitables por los seres humanos estén acondicionadas con variedades de vegetaciones, ya que estas ayudan a mejorar y controlar el confort logrando así volver un lugar más agradable, fresco y amigable con el medio ambiente. La investigación hace énfasis en la importancia de la vegetación en espacios urbanos, el confort térmico y su incidencia en los parámetros microclimáticos.

4.3 Arquitectura y urbanismo, aproximación bioclimática

Mario del Castillo Oyarzún y Claudia Castillo Haeger (2014) realizaron la investigación de carácter académico titulada “Aproximación bioclimática para el diseño de espacios públicos, análisis inicial en distintas plazas chilenas”, patrocinada por la Universidad Diego Portales, Facultad de Arquitectura, Artes y Diseño, la Universidad Católica de Chile y el Centro Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS). La investigación plantea realizar un inicio de análisis bioclimáticos y morfológicos en distintas plazas de armas de ciudades chilenas, por medio de relaciones entre los criterios de urbanismo sustentable, cartas bioclimáticas urbanas y a su vez la morfología urbana de las plazas en ocho ciudades de ubicaciones geográficas diferentes, con el propósito de analizar la temperatura, clima y morfología de los diferentes puntos, teniendo como objetivo, la planificación de espacios públicos exteriores mediante un proceso de interacción social para así obtener un desarrollo urbano más sostenible en las ciudades chilenas.

La aparición del concepto de desarrollo sostenible, ha sido asumida rápidamente por la disciplina urbano-arquitectónica y ha provocado la extensión de los términos arquitectura solar y arquitectura bioclimática a nuevos campos en los que se han integrado lo ambiental, lo social y lo económico. Esta consideración vino marcada por el impacto de la arquitectura en el ambiente urbano y natural, ponderando, tanto los materiales escogidos en el diseño arquitectónico, la cantidad de energía utilizada en su fabricación y transporte, como la cantidad y calidad de los residuos que dejaba el proceso productivo y constructivo de una obra, computándolo desde su estado inicial de materia prima hasta su degradación o reutilización al finalizar la vida útil de un edificio (Oyarzún & Castillo Haeger, 2014).

El proyecto de investigación utiliza un método que consiste en la elaboración de climogramas (diagrama de temperatura y humedad ambiental) de las ocho ciudades chilenas seleccionadas que son: Arica, Copiapó, La Serena, Santiago, Concepción, Temuco, Valdivia y Punta Arenas, donde se permite describir la relación que existe entre los criterios de urbanismo sustentable, las necesidades climáticas reflejadas en los climogramas y la forma del diseño urbano de cada plaza. Este método dio como resultado tres condiciones térmicas: por debajo, dentro, o encima de la zona de confort. Así, las cartas bioclimáticas han sido de ayuda para conocer las condiciones ambientales medias y determinar la cantidad de meses del año en las que hay mayor probabilidad de que la gente se encuentre dentro o fuera de la zona de confort exterior (Oyarzún & Castillo Haeger, 2014).

Para la planificación urbana y el diseño de espacios públicos exteriores se ha reconocido el interés de la escala local, es decir, el microclima, cuyos rasgos pueden ser influenciados por factores del entorno próximo, (relación de espacios edificados o libres, vegetación, agua, pendientes, pavimentos, etc.) y además puede ser alterado por la ordenación y el diseño urbano, por lo que se establece una clara interacción entre ambos (Oyarzún & Castillo Haeger, 2014). De esta forma, se puede analizar que el estudio del diseño urbano y el microclima son temas que han sido abordados desde el ámbito académico e investigativo. Uno de los principales aportes de la investigación son los climogramas, mediante los cuales se logra conocer y tener una idea más centrada de cómo es el clima en estos ocho diferentes puntos, como son sus temperaturas máximas y mínimas dependiendo de cada mes, a su vez se logra determinar los parámetros de diseño urbano relacionado con los factores climáticos del lugar, de acuerdo con la ubicación, orientación y forma de los espacios públicos urbanos, sus zonas de áreas libres, la optimación de redes, realizándose un listado de variables para fomentar menos consumo de energía,

promoviendo de esta forma el uso racional de los recursos naturales locales, con el propósito de optimizar y ahorrar en el mantenimiento del espacio público

4.4 Las condiciones microclimáticas en algunos espacios exteriores cubiertos

El artículo de carácter científico titulado “las condiciones microclimáticas en algunos espacios exteriores cubiertos y sus efectos sobre la temperatura del aire y el confort térmico”, realizado por la arquitecta Lizeth Melissa Rodríguez Potes (2017) en la ciudad de Barranquilla, Colombia. Tiene como objetivo medir y analizar las distintas características de espacios exteriores centrado en los materiales constructivos y de la vegetación que los rodea, con el interés de conocer más a fondo el comportamiento microclimático de estos.

Según Rodríguez Potes (2017) las principales ciudades experimentan problemas microclimáticos durante el verano, como el estrés térmico, la niebla y el smog, los picos de contaminación y el consumo de electricidad para el aire acondicionado, que usualmente caracterizan el fenómeno de la isla de calor urbano (ICU). En efecto, la arquitectura ha dejado de ser solo una herramienta con la que se puede esquematizar espacios que se acomoden a las necesidades del usuario, generando ambientes llenos de confort y calidez, aparte de eso, se ha convertido de forma sustancial en una herramienta trascendental, que consiste en diseñar y construir ciudades integrales, que sean sostenibles y funcionales, de tal manera que se utilicen materiales que sean más amigables con el medio ambiente, para así reducir el alto consumo de energía, y temperaturas que estos generan.

El estudio se realizó en la ciudad de Barranquilla, Colombia, que maneja un clima tropical caliente y húmedo. Se realizaron mediciones de campo que fueron temperatura del aire, humedad relativa del aire y velocidad del viento y encuestas de la percepción térmica para comparar los sitios seleccionados y hacer un análisis explicativo de las condiciones de estos. Las

mediciones se realizaron el día 12 de mayo de 2015 a partir de las 09:30 am hasta las 17:30 pm, en intervalos de 1 hora utilizando un termo-anemómetro (Rodríguez Potes, 2017). Como resultado en las variables microclimáticas se obtuvo que la temperatura del aire se presenta más baja en los espacios que proporcionan sombra artificial, temperaturas más altas en las zonas con sombra artificial textil y en áreas soleadas, y las temperaturas con menos variaciones durante el día se presentaron en las zonas donde se encuentra la sombra mixta. Por otro lado los estudios determinaron que el viento, no genera ningún tipo de contribución al enfriamiento de los espacios, sin embargo, se determinó que los espacios con las temperaturas más bajas, manejan una velocidad de viento baja.

Por su parte, los resultados encaminados al confort térmico según Rodríguez Potes (2017), determinaron que entre las 09 horas hasta las 15 horas se obtuvieron las sensaciones térmicas más calurosas, ya que en este lapso de tiempo la radiación solar es más alta, por ende, las zonas que no tiene sombra lo serán de igual manera. De acuerdo a los valores de moda de la sensación térmica según la escala PMV para cada espacio se asignó una calificación cualitativa, siendo el espacio con sombra artificial textil el que presenta el mejor comportamiento térmico, ya que obtuvo mayor cantidad de respuestas equivalentes a confort o condición térmica neutra (Rodríguez Potes, 2017). Los resultados arrojados de las correlaciones indican una cierta dependencia entre la temperatura del aire y la humedad relativa. En el caso del viento, no hay correlación con la sensación. El nivel de actividad y la edad mostraron una muy baja relación con la sensación térmica (Rodríguez Potes, 2017).

Para finalizar, se determinó que para mejorar las condiciones de los ambientes en la ciudad se debe implementar en la forma urbana una mayor siembra de árboles, ya que, como se muestran en los resultados anteriores los lugares donde se presentan sombras generadas por los

árboles, existen temperaturas más bajas, que a su vez generan un buen confort térmico. También se llegó a la conclusión de que los materiales de construcción que se implementan en las fachadas, cubiertas y suelo, afectan a la temperatura y las condiciones térmicas de estos, por esa razón es de vital importancia tener en cuenta esto cuando se esté diseñando, implementar el uso de materiales que sean amigables con el ambiente y que a su vez ayuden a generar espacios llenos de un buen confort térmico. El análisis del microclima urbano permite revelar relaciones entre los componentes urbanos que, al ser tomadas en cuenta, mejorarían grandemente las condiciones de los ambientes en la ciudad (Rodríguez Potes, 2017).

Cada uno de los proyectos de investigación y artículos mencionados a lo largo de este capítulo, permite entender que el estudio del diseño urbano bioclimático, los parámetros microclimáticos y el confort térmico urbano han sido abarcados en la búsqueda de un urbanismo y arquitectura efectiva, encaminada en la sustentabilidad del medio y reducción de los impactos y/o efectos del calentamiento global. Desde su ámbito académico y científico, las investigaciones manejan distintos diseños metodológicos, caracterizándose rasgos comunes como las simulaciones virtuales, gráficos microclimáticos, correlaciones y mediciones in situ.

5. Diseño metodológico

Este proyecto es un tipo de investigación aplicada y exploratoria, estructurada en tres fases de estudio, experimentación y validación. Los métodos y diseños de la investigación son cuantitativos y, a su vez, cualitativos que permiten la caracterización de los parámetros y criterios bioclimáticos por medio de datos estadísticos, conceptos y esquemas. La primera fase comprende la revisión bibliográfica y, selección del sector de validación y aplicación de la propuesta de criterios bioclimáticos para el diseño urbano, además, en este lugar se realizarán mediciones de campo. Se analizaron y revisaron artículos de investigaciones, proyectos de grado y estudios relacionados con los parámetros microclimáticos, la vegetación y su incidencia en el diseño urbano, así como el urbanismo bioclimático, identificando los principales conceptos, teorías, fundamentos y variables para la estructuración final de la propuesta.

La segunda fase comprende el análisis de los parámetros microclimáticos por medio de simulaciones virtuales y mediciones in situ por medio de trabajo de campo. El estudio, trabajo de campo y validación final se realizará en la ciudad de Barranquilla, Colombia (11°15' latitud norte, 74° longitud oeste y 13 m de altitud), ciudad con clima tropical caliente y húmedo, una temperatura media del aire de 24°C a 33°C, una humedad relativa del aire de 77% -84% todo el año y caracterizada por tener vientos alisios de 1.5 m/s-7m/s. Se seleccionó un sector de estudio localizado dentro del perímetro urbano y del suelo de expansión urbana de la ciudad, no urbanizado, como punto de referencia de la ciudad caso de estudio. El sector está ubicado en la zona noroccidental de la ciudad de Barranquilla, colindante al barrio Miramar, zona de expansión urbana de la ciudad (Ver figura 30-31).



Figura 30. Localización de la ciudad de aplicación y experimentación de la segunda fase de estudio. Fuente: Google Maps (2019a); Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO, DigitalGlobe, Landsat / Copernicus, Datos del mapa 2019 Google. Disponible en <https://www.google.com/maps/place/Barranquilla,+Atl%C3%A1ntico/@10.9691366,-74.8770678,24638m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8ef42d44d12ae605:0x2633844581b917b2!8m2!3d11.0041072!4d-74.8069813>.



Figura 31. Localización del sector de referencia de estudio. Fuente: Google Maps (2019b); Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO, DigitalGlobe, Landsat / Copernicus, Datos del mapa 2019 Google. Disponible en <https://www.google.com/maps/place/Miramar,+Barranquilla,+Atl%C3%A1ntico/@11.0084778,->

[74.8464855,1549m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8ef42c56612ee20d:0x237d5808cdfc11f!8m2!3d11.0031109!4d-74.8346296](https://doi.org/10.1549m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8ef42c56612ee20d:0x237d5808cdfc11f!8m2!3d11.0031109!4d-74.8346296)

El objeto de la selección del sector de estudio es, principalmente, que las tipologías urbanas a modelizar sean casos que puedan presentarse en esta zona como resultado de futuras expansiones urbanas de Barranquilla. Para la realización de mediciones de los parámetros microclimáticos, se tomaron 5 espacios de referencia en las instalaciones de la Universidad de la Costa (Barranquilla, Colombia), punto urbano donde se localiza una estación meteorológica que ha suministrado datos estadísticos de mediciones climáticas a esta investigación.

En las mediciones de campo se tomarán datos de los parámetros microclimáticos seleccionados: temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento. Utilizando herramientas tecnológicas de medición de la velocidad de viento como termo-anemómetro, aparato especializado que también permite medir la temperatura del aire, humedad relativa e iluminación. Las mediciones se realizaron el día 14 de febrero del año 2017, como parte de las pruebas pilotos del proyecto de grado, en intervalos de una hora desde las 7:00 am hasta las 6:00 pm. Estas mediciones permiten obtener datos estadísticos de las variaciones de la temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento a lo largo del día y, a su vez, obtener un promedio cuantitativo de cada parámetro que serán datos bases para llevar a cabo la tercera fase. Para la computación de datos de las mediciones se utilizará un formato de tabla en Excel (ver tabla 5) y para la realización de gráficos de dispersión se usará el software de análisis estadístico MiniTab.

Tabla 5

Ficha de datos de mediciones de campo

Mediciones de campo de los parámetros microclimáticos

Ciudad:

Lugar:

Espacio:

 Fecha:

Herramientas utilizadas:

Hora	Datos cuantitativos / Parámetros microclimáticos		
	Temperatura del aire (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)
6:00 a. m.			
7:00 a. m.			
8:00 a. m.			
9:00 a. m.			
10:00 a. m.			
11:00 a. m.			
12:00 p. m.			
1:00 p. m.			
2:00 p. m.			
3:00 p. m.			
4:00 p. m.			
5:00 p. m.			
6:00 p. m.			

Observaciones:

Nota. Elaboración propia

Simultáneamente a las mediciones, se realizaron encuestas a personas adultas de diferentes condiciones físicas que transiten en el sitio de estudio para obtener datos de la percepción térmica de los transeúntes y se compararán con los datos obtenidos en las mediciones. Estableciendo relación entre los parámetros microclimáticos medidos y los resultados de las encuestas. Para caracterizar la sensación térmica expresada por las personas encuestadas, se utiliza la escala de confort térmico del Voto Medio Estimado o índice PMV, por sus siglas en inglés (Predicted Mean Vote), que estima el valor medio emitido por un grupo de personas ante las condiciones térmicas (Fanger, 1970). El método considera las variables que

influyen en los intercambios térmicos hombre-entorno y que afectan su confort térmico (la temperatura y la humedad relativa del aire, la velocidad del viento, la temperatura media radiante, el nivel de actividad del individuo y las características de la ropa que lleva. Esta escala tiene 7 niveles determinados por una situación neutra o de confort térmico, 3 niveles de calor y 3 niveles de frío (Rodríguez Potes, 2017) (ver tabla 6).

Tabla 6

Escala de sensación térmica PMV (FANGER)

Escala de sensación térmica PMV	
PMV	Sensación
3	Muy caluroso
2	Caluroso
1	Ligeramente caluroso
0	Confort (neutro)
-1	Ligeramente frío
-2	Frío
-3	Muy frío

Nota. Rodríguez Potes (2017) citando a Fanger (1970)

Teniendo en cuenta los conceptos antes descritos, se elaboró una ficha de recolección de datos durante el momento de las encuestas (ver tabla 7).

Tabla 7

Encuesta de percepción de confort

Espacio:	Hora:
Información demográfica	Nivel de actividad:
Sexo: _____	<input type="checkbox"/> Reposo (sentado, leyendo...)
Edad: _____	<input type="checkbox"/> Caminando
Peso: _____	<input type="checkbox"/> Deporte
Sensación térmica: ¿Cómo definiría su sensación térmica en este momento? (Cohen, Potchter, & Matzarakis, 2013)	
<input type="checkbox"/> Muy caluroso	<input type="checkbox"/> Ligeramente frío
<input type="checkbox"/> Caluroso	<input type="checkbox"/> Frío
<input type="checkbox"/> Ligeramente caluroso	<input type="checkbox"/> Muy frío
<input type="checkbox"/> Confort (Neutro)	

Nota. Rodríguez Potes (2017) citando a Cohen, Potcher & Matzarakis (2013)

Los cinco espacios seleccionados dentro de la Universidad de la Costa representan las condiciones de espacios urbanos en la ciudad de Barranquilla. Estos espacios están determinados por ciertas características como presencia de arborización, bajo sombra artificial o sin ningún tipo de protección solar. Estos puntos son: Espacio mixto, puntos urbanos bajo sombras de árboles o sombras proporcionadas de manera artificial; espacio bajo sombra artificial; espacio bajo sombra de arborizado; espacio soleado (sin ningún tipo de protección solar) y parqueadero cubierto (ver figura 32).



Figura 32. Espacios seleccionados para mediciones. En su orden, espacio mixto, espacio bajo sombra artificial, espacio arborizado, espacio soleado y parqueadero cubierto. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de las encuestas fueron correlacionados con los datos obtenidos en las mediciones, determinando de esta manera, los efectos de los parámetros microclimáticos en la

respuesta de confort térmico por parte de las personas. Por otra parte, se utilizó el software de estudios virtuales Flow Design de Autodesk para realizar las simulaciones de viento y, de esta manera, observar el comportamiento, patrones de circulación y efectos por las condiciones morfológicas. De igual forma, se utilizó el software Ecotect de Autodesk para los estudios de sombra, radiación, SVF y temperatura del aire. Además, de utilizar el software Revit de Autodesk para la realización de simulaciones de radiación incidente. Para las simulaciones virtuales de viento y temperatura del aire, se modelizaron espacios con distintas tipologías urbanas como casos-tipos, partiendo de cuatro orientaciones de las manzanas: Norte-sur, este-occidente, noreste-suroccidente, noroccidente-sureste. A partir de estas orientaciones se diseñarán otros espacios tipos, basándose en las tipologías urbanas de las zonas climáticas locales (LCZ) formuladas por Stewart, I. et Oke T. (2012), como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8

Tipologías urbanas a modelizar

Orientación	Casos a modelizar
Norte-sur(NS); este-oeste (EO); noreste-suroeste (NESO); noroeste-sureste (NOSE)	Con arborización
	Sin arborización
	Tipología de las edificaciones
	Tipo de tejido
	Altura de las edificaciones
	Ancho de la calle: Dimensión de andenes, vías y espacios verdes
	Dimensiones de las manzanas

Nota. Elaboración propia

En un primer momento, se inicia con 4 tipologías de espacios urbanos según orientación (NS-EO-NESO-NOSE) que, a su vez, se subdividen en varios casos a modelizar según condiciones morfológicas (relación H/W) y/o características físico-naturales. Esto lleva a 8

tipologías de espacios urbanos por cada orientación. Sin embargo, cada subtópico de las orientaciones contiene otros aspectos importantes (ver tabla 9-10).

Tabla 9

Tipologías de espacios urbanos con arborización

Caso a modelizar	Variables
Con arborización	Altura Geometría de la corona

Nota. Elaboración propia.

Tabla 10 *Tipos de tejido según las zonas climáticas locales (LCZ)*

Casos a modelizar	Variables
Abierto	De gran Altura De baja altura
Compacto	De gran altura De baja altura

Nota. Elaboración propia

Al final, se simularon alrededor de 16 tipologías de espacios urbanos. Con lo anterior, se buscó elegir espacios urbanos con distintas condiciones que representen claramente el urbanismo y arquitectura de una ciudad tropical, y cómo los parámetros microclimáticos tienen incidencia en el diseño urbano. En esta fase se usó como apoyo y validación de la investigación softwares de análisis bioclimáticos para temperatura del aire y humedad relativa. Los resultados obtenidos, tanto en las simulaciones virtuales, las mediciones de campo y análisis de estos, permiten entender la relevancia de los parámetros microclimáticos en el diseño urbano de la ciudad de Barranquilla y, de otras ciudades con un clima tropical y condiciones urbanas parecidas.

La tercera y última fase es la estructuración de criterios bioclimáticos para el diseño urbano en ciudades tropicales, tomando como fundamentos los resultados y conclusiones obtenidas en la segunda fase de la presente investigación. Al igual, en esta fase se buscó definir cuáles son los aspectos relevantes en el diseño urbano bioclimático, que son los factores urbanos

que influyen en la sensación de confort térmico de los individuos, la reducción de los efectos del calentamiento global y la importancia de la vegetación en espacios urbanos, que al final llevarán a la ordenación y diseño de una propuesta urbanística donde sea aplicable los resultados de la investigación.

La siguiente tabla representa las estrategias o sugerencias bioclimáticas de diseño urbano, definidos en un primer momento de la tercera fase:

Tabla 11

Estrategias bioclimáticas de diseño urbano

Estrategias bioclimáticas de diseño urbano
Diseño de espacios urbanos con criterios de orientación de predominancia de los vientos
Estrategias de ventilación de espacios urbanos para mitigación de la isla de calor
Diseño de elementos de sombra en los espacios abiertos
Diseño efectivo, seguro y accesible del espacio público
Uso de arborización autóctona de la región
Utilización de materiales en elementos de suelo, fachadas y cubiertas con inercia térmica adecuada al clima
Estrategias para mantener el confort térmico urbano
Proximidad y accesibilidad, atender a las distancias máximas entre los espacios verdes y las edificaciones
Consideración de los vientos fuertes para el diseño, barreras de vientos para minimizar los disturbios
Diseño de torres de captación de viento
Manejo y reutilización de residuos sólidos y aguas servidas
Gestión y aprovechamiento de aguas lluvias
Espacios destinados para aprovechamientos de energías renovables a escala local
Modelos de silvicultura y agricultura urbana
Usos de suelo compatibles

Nota. Elaboración propia.

5.1 Protocolo de la investigación: Simulaciones microclimáticas


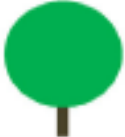
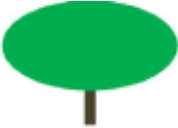
Para la realización de las simulaciones microclimáticas se debió diseñar tipologías de espacios urbanos; casos-tipos que sirvieron para el análisis del comportamiento de los parámetros microclimáticos en espacios urbanos. Para la definición de las tipologías urbanas se

tomó como referencia las zonas climáticas locales (LCZ) propuestas por Stewart, I. et Oke T. (2012), seleccionando de estos tres tipos de LCZ presentados en la ciudad de Barranquilla y analizados por Villadiego Bernal (2014) y otro LCZ que, aunque no esté presente en la ciudad, hace parte de los espacios urbanos usualmente construidos. Las zonas climáticas locales, como referentes, permitieron determinar la altura de las edificaciones de los casos-tipos y la relación H/W para estas LCZ fueron escogidas según lo estudiado por Villadiego Bernal (2014), en cuanto a la relación H/W identificadas en las distintas localidades de la ciudad de Barranquilla.

Por otra parte, el tipo de arborización para las tipologías urbanas que lo requieran, se usaron árboles altos y, de cabeza redonda o ramificación horizontal respecto a geometría de la corona (ver tabla 12). Estas características de altura y geometría de la corona de los árboles colocados en las tipologías urbanas, se identifican en la mayor parte de los árboles en Barranquilla.

Tabla 12

Arborización escogida

Arborización	
Según altura	Altos
	
Según geometría de la corona	Cabeza redonda (Roundhead) o ramificación horizontal
	 

Nota. Elaboración propia.

Las zonas climáticas locales referenciadas (LCZ) por las tipologías de espacios urbanos diseñados son:

- LCZ 6 abierto de baja altura: espacios urbanos con arborización y suelo permeable, con edificaciones de 3 niveles máximo.
- LCZ 4 abierto de gran altura: espacios urbanos con arborización y suelo permeable, con edificaciones de 10 niveles o más.
- LCZ 3 compacto de baja altura: espacios urbanos sin arborización y suelo no permeable, con edificaciones de 3 niveles máximo.
- LCZ 1 compacto de gran altura: espacios urbanos sin arborización y suelo no permeable, con edificaciones de 10 niveles o más.

De esta forma, se diseñaron 16 tipologías de espacios urbanos, resultante de 4 casos por orientación (Norte-Sur; Este-Oeste; Noreste-Suroccidente; Noroccidente-Suroriente), con dos tipos de relación H/W, equivalentes a 0.75 y 1 (ver tabla 13), asignado según el modelo de tipología urbana. Destacando que para las simulaciones virtuales de los parámetros microclimáticos como radiación solar y otros análisis como trayectoria solar, estudio de sombras y SVF se simulan en las fechas correspondientes a los solsticios de los meses de junio y diciembre (Alrededor del día 21 de cada mes), analizando tres horas en el día 10:00 a.m., 12:00 p.m. y 04:00 p.m. En el caso de las simulaciones viento, en el software Flow Design se ingresó que la predominancia en la dirección de los flujos de viento provenía del noreste; dirección usual del flujo de viento en la ciudad de Barranquilla.

Tabla 13

Tipologías de espacios urbanos

Tipologías de espacios urbanos							
Zona climática Local (LCZ)	Arborización	Niveles de la edificación (máx.)	Altura de la edificación(H)	Relación H/W	Tipo de orientación	N ^a de configuraciones por orientación	Dimensión de la manzana
LCZ 6 Espacio urbano con tejido abierto y de baja altura	Con arborización según geometría del tronco cabeza redonda o ramificación horizontal y de gran altura, presencia de suelo permeable	3 pisos	9 metros	0,75 (W= 12 metros)	Norte / Sur ↓	1	Largo= 77 metros Ancho= 52 metros
					Este / Oeste ↔	1	
					Noreste /Suroeste (NeSo) ↗	1	
					Noroeste /Sureste (NoSe) ↖	1	
LCZ 4 Espacio urbano con tejido abierto y de gran altura	Con arborización según geometría del tronco cabeza redonda o ramificación horizontal y de gran altura, presencia de suelo permeable	10 pisos	30 metros	1 (W= 30 metros)	Norte / Sur ↓	1	Largo= 77 metros Ancho= 80 metros
					Este / Oeste ↔	1	
					Noreste /Suroeste (NeSo) ↗	1	
					Noroeste /Sureste (NoSe) ↖	1	
LCZ 3 Espacio urbano con tejido compacto y de	Sin arborización y suelo no permeable	3 pisos	9 metros	0,75 (W=	Norte / Sur ↓	1	Largo= 77

baja altura				12 metros)	Este / Oeste ↔	1	metros Ancho= 52 metros
					Noreste /Suroeste (NeSo) ↗	1	
					Noroeste /Sureste (NoSe) ↖	1	
					Norte / Sur ↓	1	
LCZ 1 Espacio urbano con tejido compacto y de gran altura	Sin arborización y suelo no permeable	10 pisos	30 metros	1 (W= 30 metros)	Este / Oeste ↔	1	Largo= 77 metros Ancho= 80 metros
					Noreste /Suroeste (NeSo) ↗	1	
					Noroeste /Sureste (NoSe) ↖	1	

Nota. Elaboración propia.

Para el estudio de porcentaje de sombras (% shading) en Ecotect fue necesario determinar los elementos horizontales o verticales del cañón urbano según la orientación que debieron ser analizados (ver tabla 14).

Tabla 14 *Elementos analizados en el estudio de sombras en Ecotect*

Orientación de la calle	Elemento
Norte / Sur ↓	Fachada Este Fachada Oeste Suelo
Este / Oeste ↔	Fachada Norte Fachada sur suelo
Noreste /Suroeste (NeSo) ↗	Fachada Suroeste suelo
Noroeste /Sureste (NoSe) ↖	Fachada Noroeste Fachada sureste suelo

Nota. Elaboración propia

Por cada orientación, los elementos analizados varían debido a la salida y puesta de sol, de esta forma, se analiza aquellos elementos presentes en el cañón urbano o relación H/W (ver figura 33).

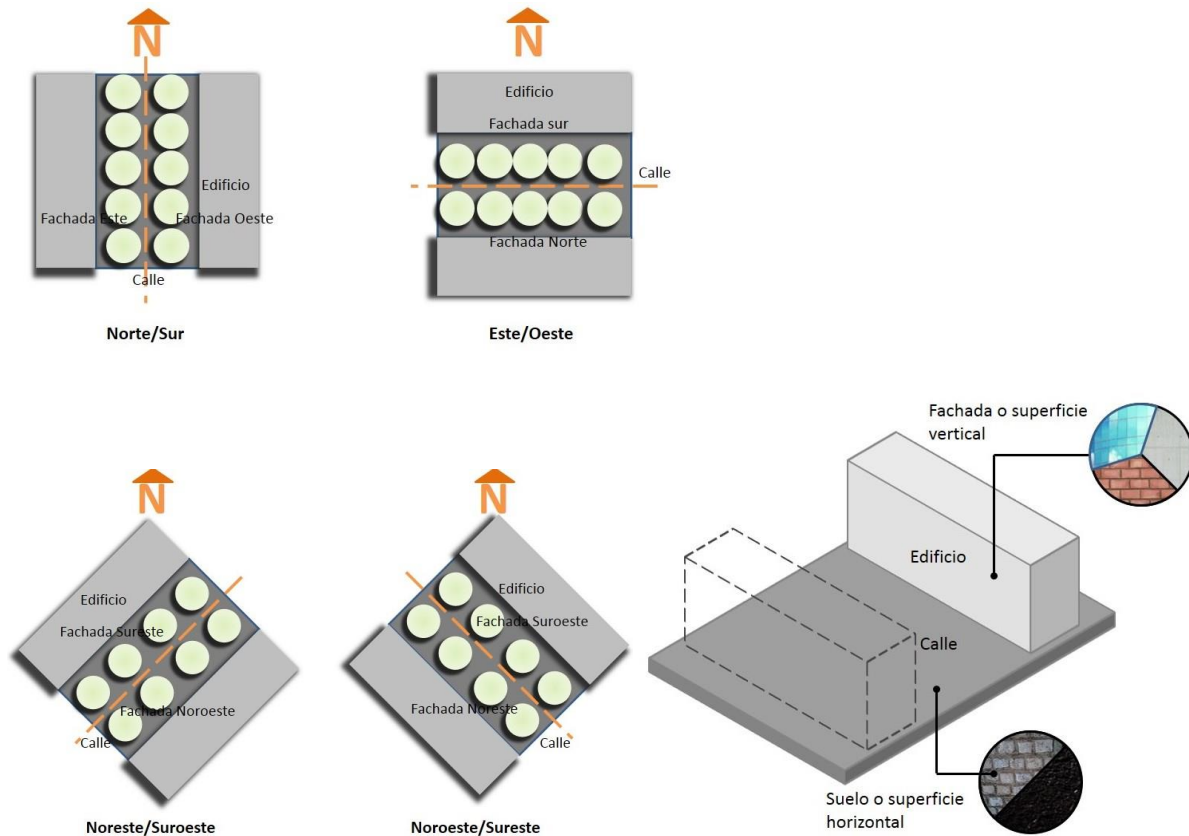


Figura 33. Elementos analizados en el estudio de sombras en Ecotect según orientación y materiales de estos elementos. Fuente: Rodríguez Potes (2017b).

Para el análisis de temperatura del aire, se utilizará una fórmula para establecer y hallar la temperatura de confort térmico. Para esto, se tomarán los promedios de temperatura del aire de cada mes (suministrados por la Estación Meteorológica de la Universidad de la Costa), estableciendo la temperatura de confort adecuada en promedio para cada uno de los meses del año y comparando con los resultados de las mediciones microclimáticas, la temperatura de confort según la fórmula y la temperatura promedio en que las personas manifestaron confort térmico.

Para hallar la temperatura de confort (Humphreys & Nicol, 2000) se utilizará la siguiente fórmula (Chyee Toe & Kubota, 2013):

$$T_c = 0.57T_m + 13.8$$

Donde T_c es temperatura de confort, T_m es temperatura media del aire exterior y 13.8 es un valor obtenido por regresiones de datos de encuestas realizadas por Chyee Toe & Kubota (2013).

En las simulaciones de algunos parámetros microclimáticos como velocidad del viento fue necesario ingresar promedios estadísticos de mediciones reales de estos. Para eso, se tomaron las mediciones microclimáticas realizadas en 7 días continuos, 24 a 30 de enero del año 2019 (ver tabla 15).

Tabla 15

Mediciones de parámetros microclimáticos 24 a 30 de enero del año 2019

Mediciones microclimáticas Barranquilla (Colombia) 2019						
Fecha	Temperatura del aire (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)	Índice de calor (°C)	Radiación solar (w/m ²)	Índice UV
24 de enero	26,58	80,67	4,08	29,35	213,35	1,27
25 de enero	26,39	83,74	3,69	29,3	185,43	1,12
26 de enero	26,36	83,54	4,06	29,2	181,53	1,1
27 de enero	26,8	84,03	2,3	30,21	182,85	1,11
28 de enero	26,49	86,76	2,52	29,85	161,52	0,97
29 de enero	26,33	85,55	5,58	29,29	180,38	1,12
30 de enero	26,8	80,36	5,91	29,72	188,52	1,15
Promedio	26,53571429	83,5214285	4,02	29,56	184,797143	1,12

semanal

7

Nota. Elaboración propia basándose en la información suministrada por Estación Meteorológica y el CITA de la Universidad de la Costa (2019).

6. Resultados

6.1 Mediciones microclimáticas: Análisis de la influencia de los parámetros microclimáticos sobre la percepción de confort térmico

En las mediciones realizadas en los cinco espacios de la Universidad de la Costa, el día 14 de febrero del año 2017, se analizó el comportamiento de la temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento. Promediando los datos por parámetros y determinando en la escala PMV, la sensación térmica por parte de las personas (ver tabla 16).

Tabla 16

Promedio de mediciones de parámetros microclimáticos 2017

Espacio	Temperatura del aire (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad de viento (m/s)	Sensación térmica (PMV)
Espacio mixto	28,37	70,44	0,37	0
Espacio bajo sombra artificial	28,57	69,07	0,56	0
Espacio arborizado	28,85	68,2	1,45	0
Espacio soleado	29,02	67,55	1,12	0
Parqueadero cubierto	29,38	65,86	0,49	0

Nota. Elaboración propia.

Según lo anterior, el espacio mixto presenta el promedio de temperatura más bajo (28.37) entre los cinco espacios seleccionados, sin embargo, este espacio presenta el promedio de velocidad de viento más bajo (0.37 m/s). Manifestando que este espacio tiene una orientación Norte-Sur. En el espacio mixto se presenta arborización y sombra artificial generada por una carpa textil; las sombras y efectos generados por los árboles y la carpa textil podrían ser los

causantes de la regulación de la temperatura del aire y, de igual forma, del control del flujo y velocidad de viento en el espacio. En cuanto al espacio bajo sombra artificial, donde no hay presencia de arborización y la sombra es generada por una carpa textil, el promedio de temperatura del aire es 28.57 °C y de velocidad de viento es 0.56 m/s. En el espacio arborizado, con orientación Noreste-Suroccidente, se registra el mayor promedio de velocidad de viento de todos los espacios 1.45 m/s y un promedio de temperatura del aire de 28.85 °C.

Los árboles presentes en estos espacios generan bastante sombra en cualquier hora del día y, tal vez, por la predominancia en la dirección de los vientos en la ciudad de Barranquilla (Noreste), en este espacio se presentan datos superiores a 2.5 m/s de velocidad del viento. Para el espacio soleado, sin arborización, el promedio de temperatura del aire es superior a 29 °C y de velocidad de viento es 1.12 m/s. En el último espacio que es el parqueadero cubierto, aunque no haya presencia de arborización existe un gran porcentaje de sombra derivada de la cubierta de asbesto del parqueadero, el promedio de temperatura del aire es el mayor de todos los espacios (29.38 °C) y el promedio de velocidad del viento es inferior a 0.5 m/s. Se hace necesario, la comparación de resultados promedios por parámetros medidos, estableciéndose así, una relación gráfica de lo expuesto con anterioridad (ver figuras 34-36).

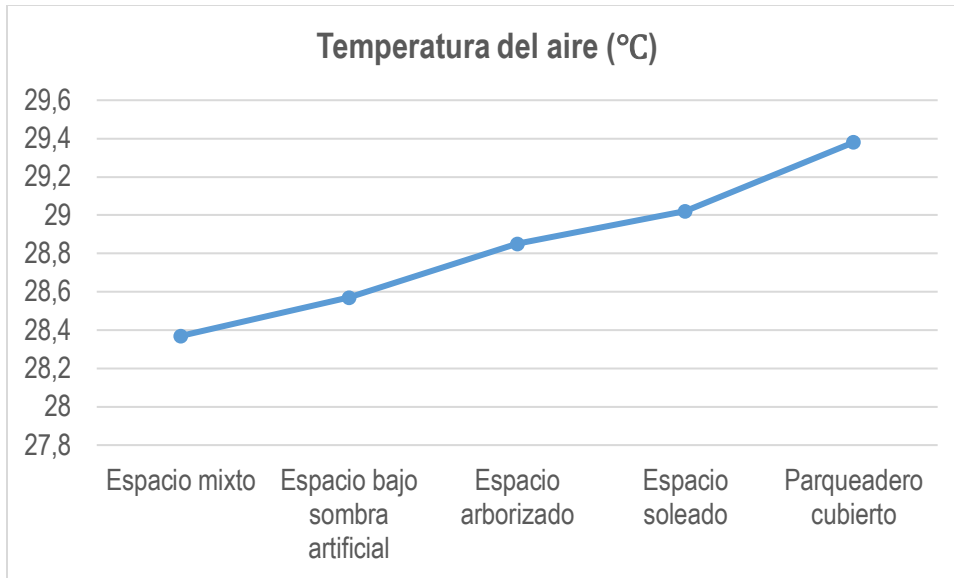


Figura 34. Comparación de resultados promedios por espacio: Temperatura del aire.

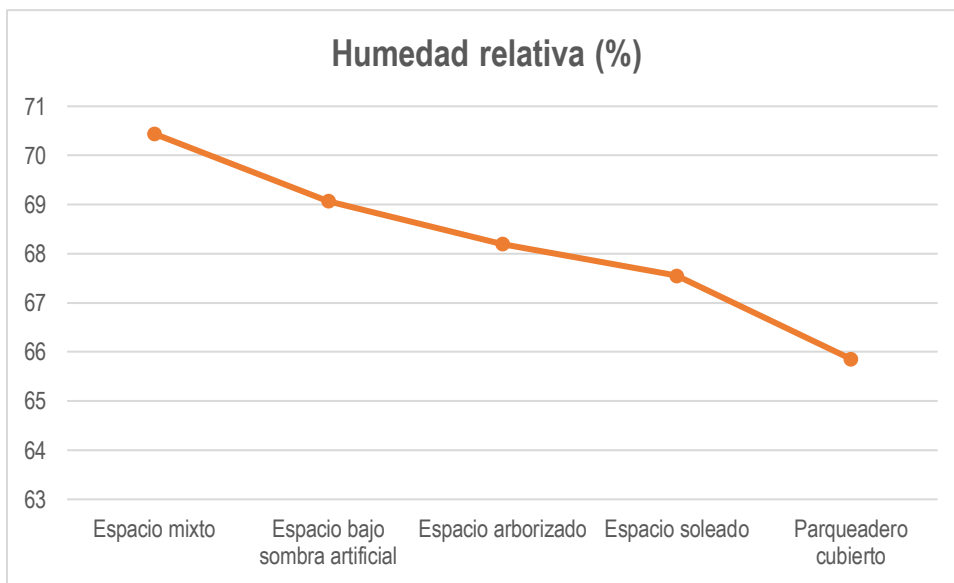


Figura 35. Comparación de resultados promedios por espacio: Humedad relativa.

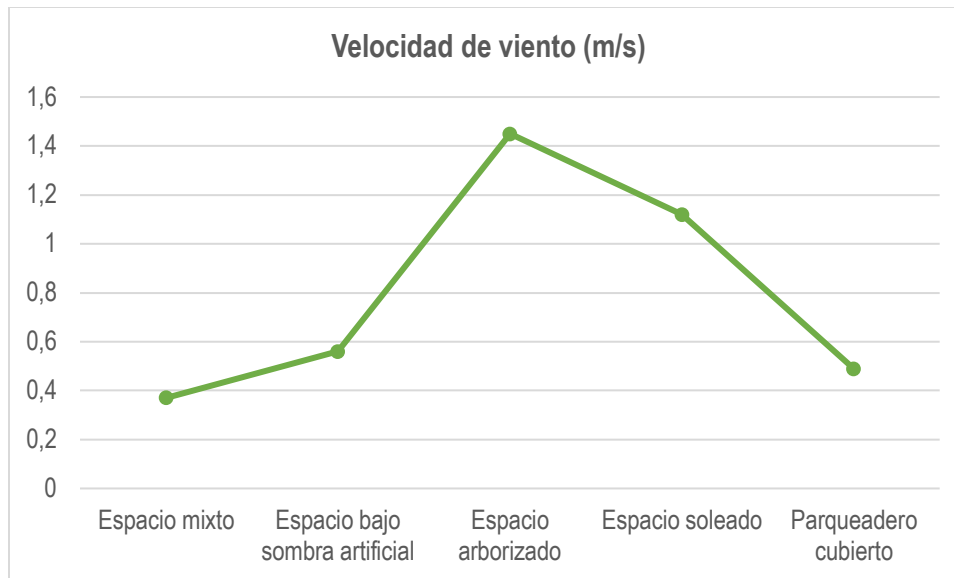


Figura 36. Comparación de resultados promedios por espacio: Velocidad del viento.

De cierto, cada uno de los espacios exteriores seleccionados al interior de la Universidad de la Costa simulan condiciones de espacios urbanos de la ciudad de Barranquilla. Algunos con presencia de arborización, otros cubiertos y uno sin ningún tipo de protección solar. No importando las características de los espacios, el promedio de los resultados de la aplicación de las encuestas de sensación térmica en todos los espacios es igual a 0 en la escala PMV, es decir, sensación de confort térmico. Esto nos lleva a plantear en un primer momento que, para que una persona manifieste un estado de confort térmico en espacios urbanos de ciudades con climas tropicales, el promedio de la temperatura del aire (resultante del promedio general por todos los espacios) debe estar alrededor de 28.8 °C, el porcentaje de humedad relativa de 68.2 y velocidad de viento de 0.8 m/s. Es decir, para que la sensación térmica de una persona sea 0 según la escala PMV en estos espacios urbanos, la temperatura del aire debería oscilar entre 28 °C a 29.5 °C, la humedad relativa entre 65 % a 70.5 % y la velocidad de viento entre 0.37 m/s a 1.45 m/s. De igual forma, se debe tener en cuenta la radiación acumulada en estos espacios y el porcentaje de sombra incidente.

En las mediciones realizadas se registraron datos de temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) superiores a 30°C en todos los espacios entre las 10:00 a.m. hasta las 2:00 p.m., y hasta las 8:00 a.m. y después de 3:00 p.m. la temperatura en todos los espacios oscila entre 23°C a 28°C (ver figura 37).

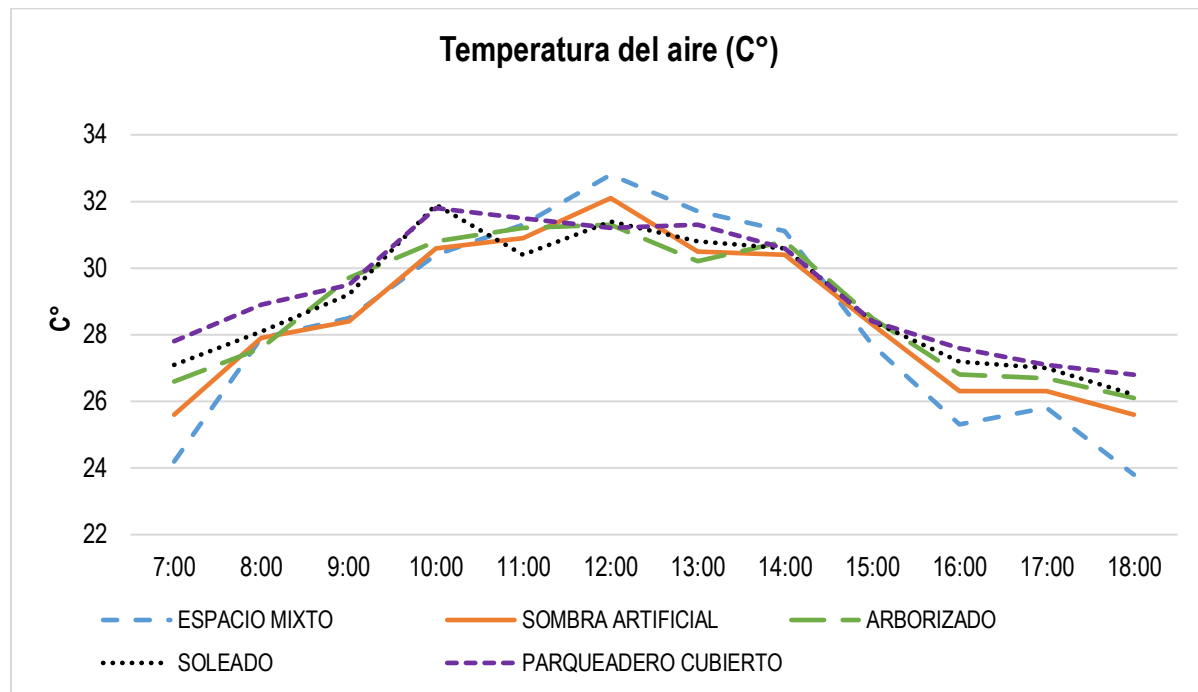


Figura 37. Comparación de datos por espacio: Temperatura del aire.

Los datos registrados por el parámetro viento son más cambiantes en cada espacio. No existe una hegemonía en la velocidad del viento en todos los espacios (ver figura 38). El espacio arborizado es la zona donde el viento alcanza velocidades superiores a 2 m/s en horas cercanas a la puesta de sol (de cuatro a seis de la tarde); el espacio mixto, es la única zona donde se registran velocidades de viento igual a 0 m/s en siete de las doce horas de trabajo (7:00, 8:00, 11:00, 12:00, 14:00, 16:00 y 18:00); en el espacio soleado, al igual que el espacio arborizado, las velocidades del viento no llegan a 0 m/s , registrándose una variación de la velocidad en este espacio entre 0.3 a 1.8 m/s .

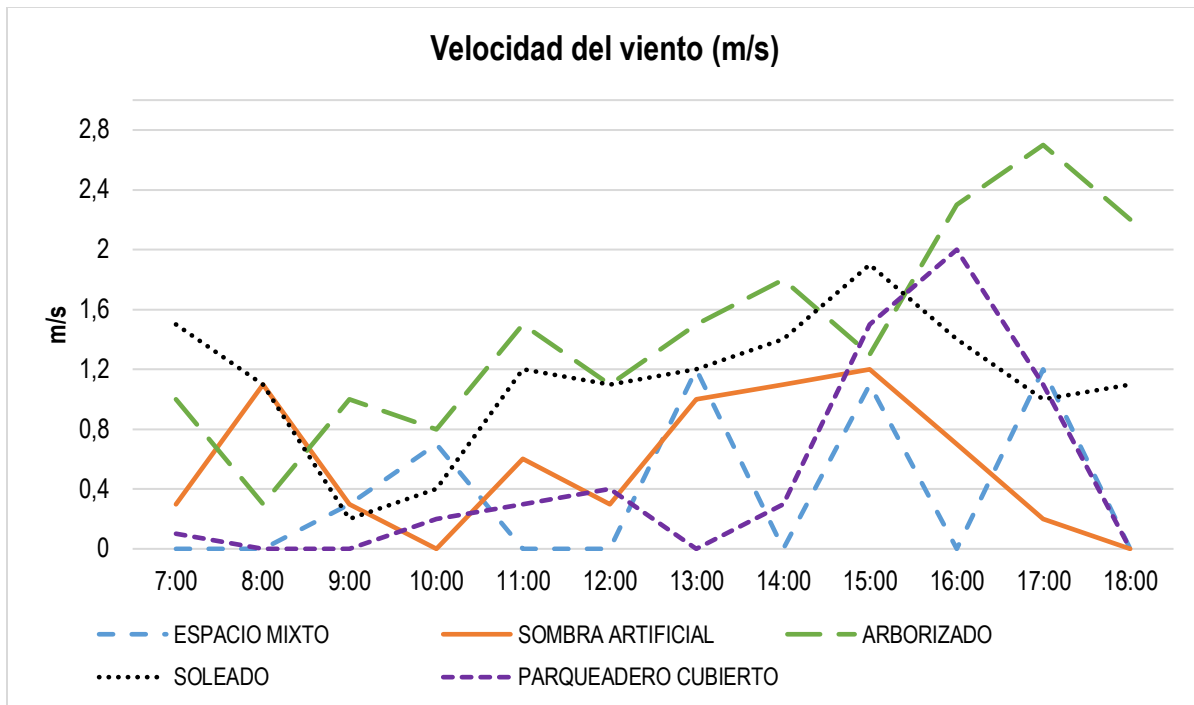


Figura 38. Comparación de datos por espacio: Velocidad de viento.

Para entender las variaciones presentadas por el flujo de este en los espacios seleccionados, se realizaron varias simulaciones virtuales en el programa Flow Design, analizando los efectos del viento en cada espacio dentro de la Universidad de la Costa y comparando los datos de velocidad del viento suministrados por el programa con los obtenidos en las mediciones de campo (ver figura 39).

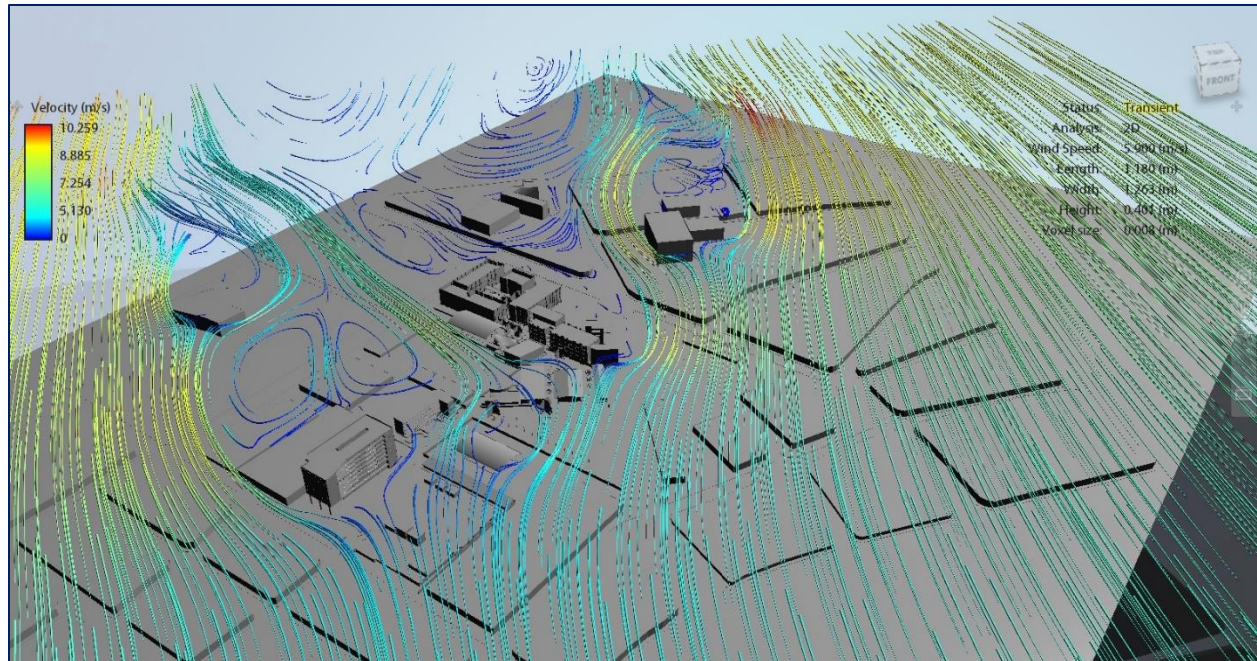


Figura 39. Análisis de los efectos del viento: Vista general de los espacios seleccionados. Elaboración propia.

En el análisis del viento hay que tener en cuenta 4 variables de este parámetro: velocidad, dirección, frecuencia (teniendo en cuenta el porcentaje de calmas) y turbulencias (térmicas o mecánicas). Según lo simulado, en los espacios seleccionados se obtienen datos de velocidad de viento entre 0 m/s a 5 m/s, siendo similares a los datos arrojados en las mediciones de campo. La dirección predominante del viento es noreste; la forma y dimensiones de las edificaciones cercanas a los espacios seleccionados varían la circulación del viento, presentándose turbulencias mecánicas (causadas por la rugosidad superficial de la zona); en la mayoría de los espacios (mixto, bajo sombra artificial y parqueadero cubierto) se identifican zonas de presión baja o sotavento (-), donde la presión oscila entre -9.4 Pa a -1.85 Pa, a excepción del espacio arborizado y soleado los cuales se encuentran de cara frontal a la dirección del viento (Noreste) y la presión es alta o barlovento (+), entre 5.75 Pa a 13.3 Pa (ver figura 40). Un aspecto identificado en las simulaciones realizadas son las turbulencias que se presentan en las caras laterales de la edificación, según la dirección del viento, y que son zonas de presión baja. Por tanto, el viento tiende a entrar al edificio por las zonas de alta presión y ventilar los espacios interiores, en

cuanto a los espacios exteriores, es recomendable que estén localizados de cara frontal de la dirección del viento, para que se presenten zonas de alta presión y mayores velocidades del viento que puedan ventilar este espacio, no obstante, los efectos que se presentan en zonas de baja presión pueden contribuir al mejoramiento de la ventilación del espacio. Analizando los resultados, en zonas de baja presión se presentan velocidades del viento más bajas (0 m/s a 4.7 m/s) en comparación a las zonas de alta presión (5.8 m/s a 6.7 m/s).

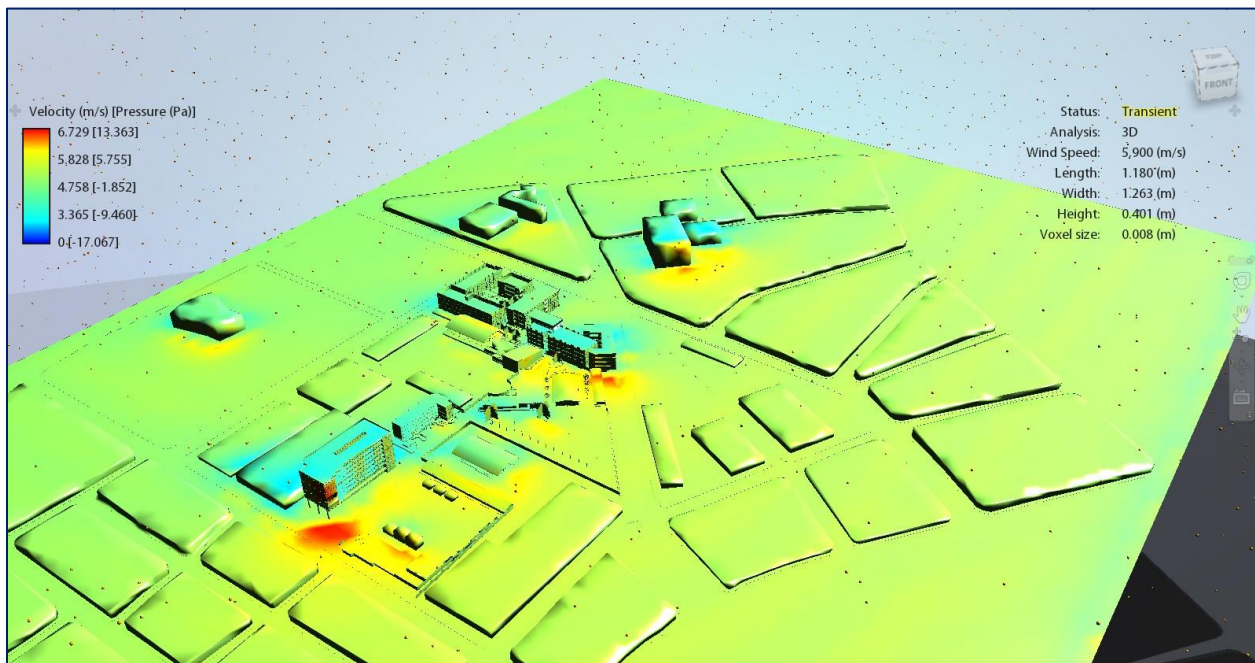


Figura 40. Análisis de los efectos del viento: Zonas de alta y baja presión. Elaboración propia.

Las menores velocidades de viento que se presentan en las zonas de baja presión, puede explicar los datos registrados en la velocidad del viento en el espacio mixto. En el espacio arborizado se identificó el efecto Venturi, en el cual la velocidad del viento aumenta cuando es comprimido en su paso, es decir, el ancho del espacio se reduce. En cuanto al análisis de viento por espacio, se observa que el viento tiende a brincar sobre los edificios cercanos a los espacios, brindando sombras de viento a estos. En el espacio soleado, de acuerdo a las simulaciones, la velocidad del viento oscila entre 0 m/s a 1.5 m/s; en el espacio arborizado la velocidad del viento

oscila entre 0 m/s a 3.5 m/s, datos de la variable similares a los registrados en las mediciones de campo (ver figura 41-42).

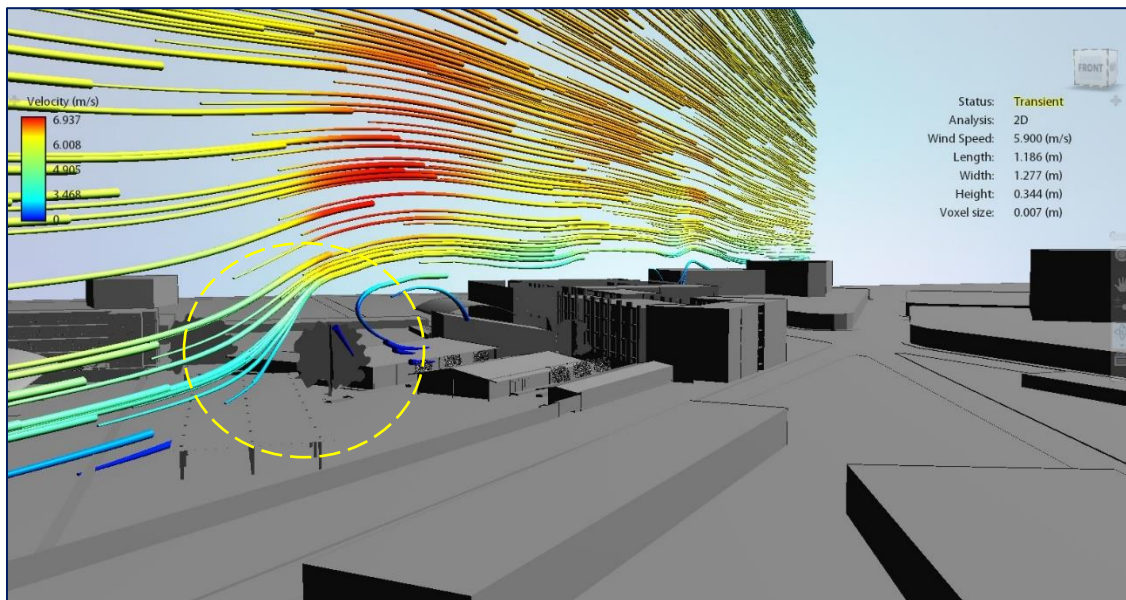


Figura 41. Análisis de los efectos del viento: Espacio soleado. Elaboración propia.

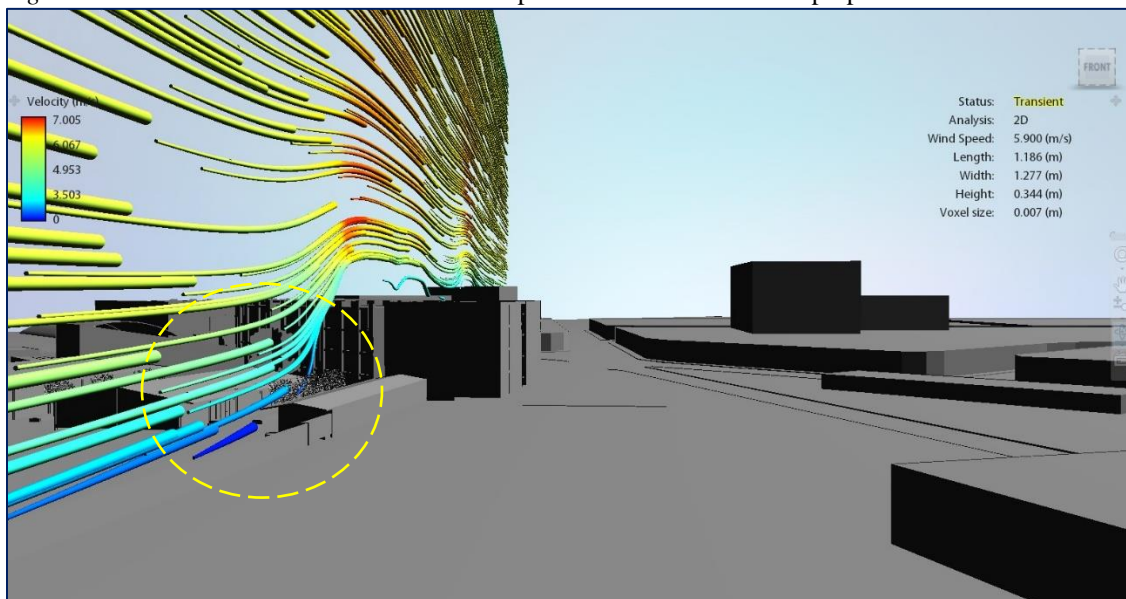


Figura 42. Análisis de los efectos del viento: Espacio arborizado. Elaboración propia.

En el análisis de resultados de la incidencia de sombra, utilizando el software Ecotect, se estudió el porcentaje de sombra generado en el elemento suelo de cada espacio, principalmente, en el espacio bajo sombra artificial y arborizando. Estableciendo una comparación entre la sombra generada de forma artificial y otra generada por la arborización presente en un espacio,

teniendo como base el ángulo y posición del sol para la fecha que se realizaron las mediciones de campo (14 de febrero del 2017). El promedio de sombra incidente, de todas las horas de luz solar para esa fecha, en el espacio bajo sombra artificial es de 75 %, mientras que en el espacio arborizado es de 87 %. De esta manera, la incidencia de sombra en el elemento suelo en un espacio urbano con bastante presencia de arborización es alto (ver tablas 17-18).

Tabla 17

Datos solares diarios tabulados elemento suelo del espacio bajo sombra artificial

Datos solares diarios tabulados						
Latitud: 11.0°	Fecha: 14 de febrero	Corrección local: -13.4 mins				
Longitud: -74.8°	Julian Date: 45	Ecuación de tiempo: -14.2 mins				
Zona horaria: -5.0hrs	Amanecer: 06:24	Declinación: -13.5°				
Objeto No.: 4281	Atardecer: 18:02	Orientación: -90.0°				
Local	(Solar)	Azimuth	Altitud	HSA	VSA	Sombra
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
6:30	(06:16)	104.1°	1.4°	-165.9°	178.5°	85%
7:00	(06:46)	105.7°	8.5°	-164.3°	171.1°	85%
7:30	(07:16)	107.5°	15.6°	-162.5°	163.7°	67%
8:00	(07:46)	109.8°	22.6°	-160.2°	156.2°	67%
8:30	(08:16)	112.5°	29.4°	-157.5°	148.6°	67%
9:00	(08:46)	115.9°	36.1°	-154.1°	140.9°	67%
9:30	(09:16)	120.2°	42.6°	-149.8°	133.2°	69%
10:00	(09:46)	125.7°	48.8°	-144.3°	125.4°	69%
10:30	(10:16)	133.1°	54.5°	-136.9°	117.5°	73%
11:00	(10:46)	143.0°	59.5°	-127.0°	109.6°	71%
11:30	(11:16)	156.1°	63.2°	-113.9°	101.6°	67%
12:00	(11:46)	172.2°	65.3°	-97.8°	93.6°	69%
12:30	(12:16)	-170.3°	65.1°	-80.3°	85.6°	77%
13:00	(12:46)	-154.5°	62.9°	-64.5°	77.6°	79%
13:30	(13:16)	-141.7°	59.0°	-51.7°	69.6°	81%
14:00	(13:46)	-132.2°	53.9°	-42.2°	61.6°	81%

14:30	(14:16)	-125.1°	48.2°	-35.1°	53.8°	79%
15:00	(14:46)	-119.7°	41.9°	-29.7°	46.0°	79%
15:30	(15:16)	-115.5°	35.4°	-25.5°	38.2°	75%
16:00	(15:46)	-112.2°	28.7°	-22.2°	30.6°	65%
16:30	(16:16)	-109.5°	21.8°	-19.5°	23.0°	65%
17:00	(16:46)	-107.3°	14.8°	-17.3°	15.5°	79%
17:30	(17:16)	-105.5°	7.8°	-15.5°	8.0°	97%
18:00	(17:46)	-103.9°	0.6°	-13.9°	0.6°	97%

Nota. Elaboración propia.

Tabla 18

Datos solares diarios tabulados elemento suelo del espacio arborizado

Datos solares diarios tabulados						
Latitud: 11.0°	Fecha: 14 de febrero	Corrección local: -13.4 mins				
Longitud: -74.8°	Julian Date: 45	Ecuación de tiempo: -14.2 mins				
Zona horaria: -5.0hrs	Amanecer: 06:24	Declinación: -13.5°				
Objeto No.: 6111	Atardecer: 18:02	Orientación: 140.8°				
Local	(Solar)	Azimuth	Altitud	HSA	VSA	Sombra
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
6:30	(06:16)	104.1°	1.4°	-36.7°	1.8°	100%
7:00	(06:46)	105.7°	8.5°	-35.1°	10.4°	100%
7:30	(07:16)	107.5°	15.6°	-33.2°	18.4°	85%
8:00	(07:46)	109.8°	22.6°	-31.0°	25.9°	85%
8:30	(08:16)	112.5°	29.4°	-28.2°	32.6°	85%
9:00	(08:46)	115.9°	36.1°	-24.9°	38.8°	80%
9:30	(09:16)	120.2°	42.6°	-20.6°	44.5°	78%
10:00	(09:46)	125.7°	48.8°	-15.0°	49.8°	78%
10:30	(10:16)	133.1°	54.5°	-7.7°	54.8°	76%
11:00	(10:46)	143.0°	59.5°	2.2°	59.5°	76%
11:30	(11:16)	156.1°	63.2°	15.3°	64.0°	74%
12:00	(11:46)	172.2°	65.3°	31.5°	68.5°	74%
12:30	(12:16)	-170.3°	65.1°	48.9°	73.1°	74%
13:00	(12:46)	-154.5°	62.9°	64.8°	77.7°	74%
13:30	(13:16)	-141.7°	59.0°	77.5°	82.6°	78%
14:00	(13:46)	-132.2°	53.9°	87.0°	87.9°	76%

14:30	(14:16)	-125.1°	48.2°	94.2°	93.7°	100%
15:00	(14:46)	-119.7°	41.9°	99.6°	100.5°	100%
15:30	(15:16)	-115.5°	35.4°	103.7°	108.5°	100%
16:00	(15:46)	-112.2°	28.7°	107.0°	118.2°	100%
16:30	(16:16)	-109.5°	21.8°	109.7°	130.1°	100%
17:00	(16:46)	-107.3°	14.8°	111.9°	144.7°	100%
17:30	(17:16)	-105.5°	7.8°	113.8°	161.3°	100%
18:00	(17:46)	-103.9°	0.6°	115.3°	178.5°	100%

Nota. Elaboración propia.

En el espacio bajo sombra artificial el porcentaje de sombra incidente en el suelo desde las 7:30 a.m. a 10:00 a.m. es inferior a 70 %, volviendo a este rango entre las 11:30 a.m. a 12:00 p.m. y de 4:00 p.m. a 4:30 p.m.; a partir de las 5:30 p.m. el porcentaje es superior a 97%. En cuanto al espacio arborizado, en las primeras y últimas horas con luz solar se observa una incidencia de sombra en el elemento suelo igual al 100 %, desde las 7:30 a.m. a 2:00 p.m. el porcentaje de sombra incidente oscila entre 74 % a 85 %. En la figura 42 se presenta una comparación de los porcentajes de sombra incidente en el suelo de los espacios bajo sombra artificial y arborizado.

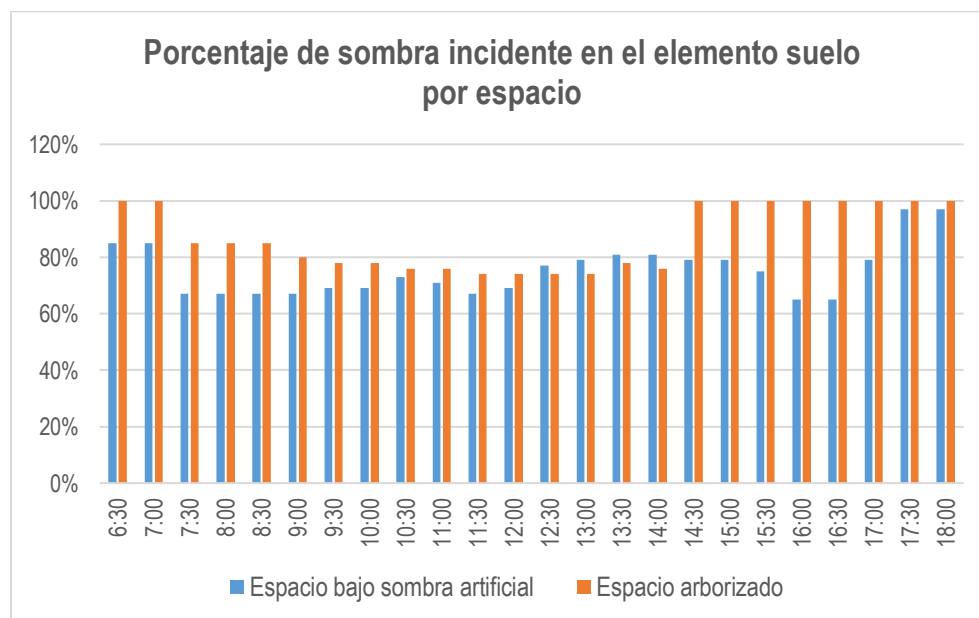


Figura 43. Porcentaje de sombra incidente en el elemento suelo. Elaboración propia.

En los diagramas estereográficos, para las dos de la tarde (entre las horas críticas de incidencia solar), el porcentaje de sombra incidente en el elemento suelo por los espacios bajo sombra artificial y arborizado es de 86 % y 99 %, respectivamente (ver figura 44-45).

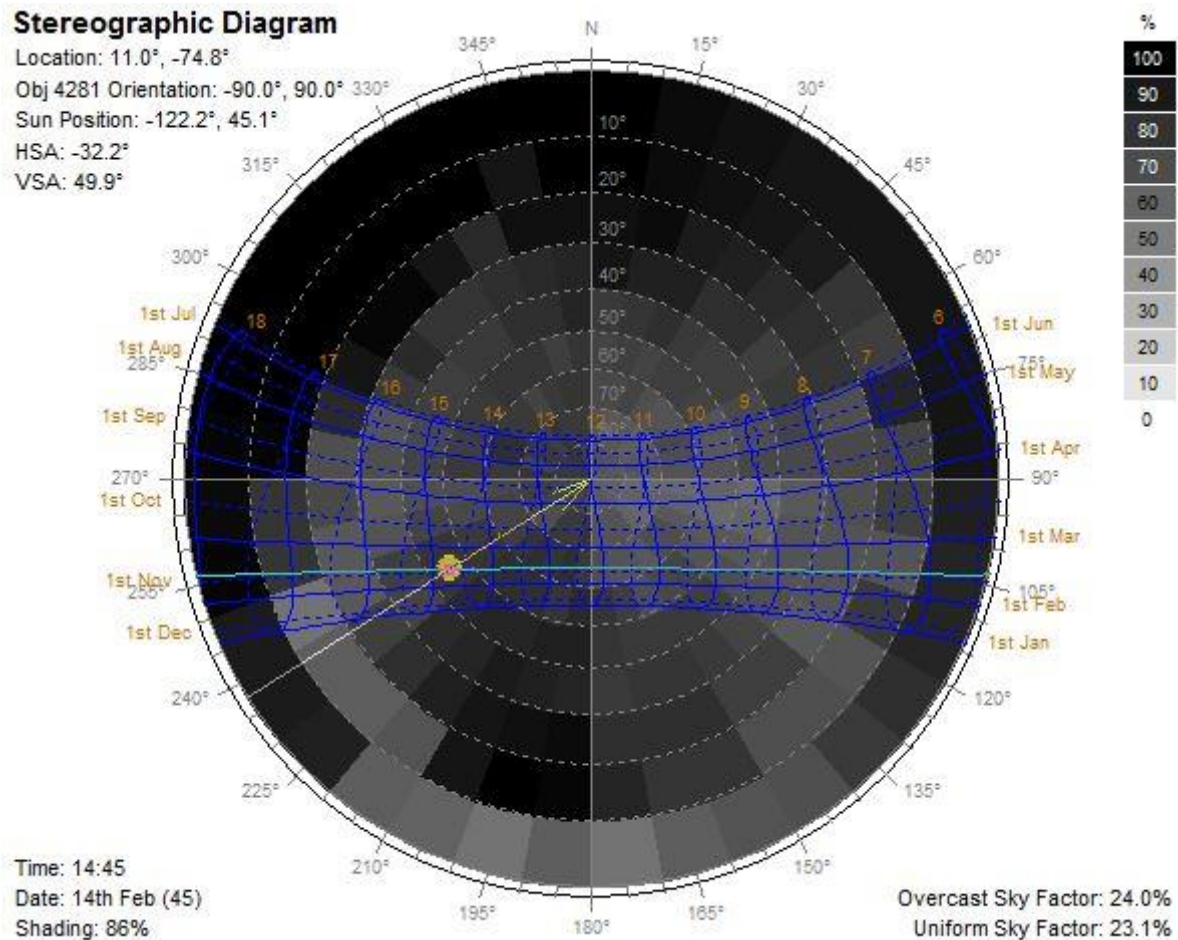


Figura 44. Diagrama estereográfico: Sombra incidente en elemento suelo del espacio bajo sombra artificial. Elaboración propia.

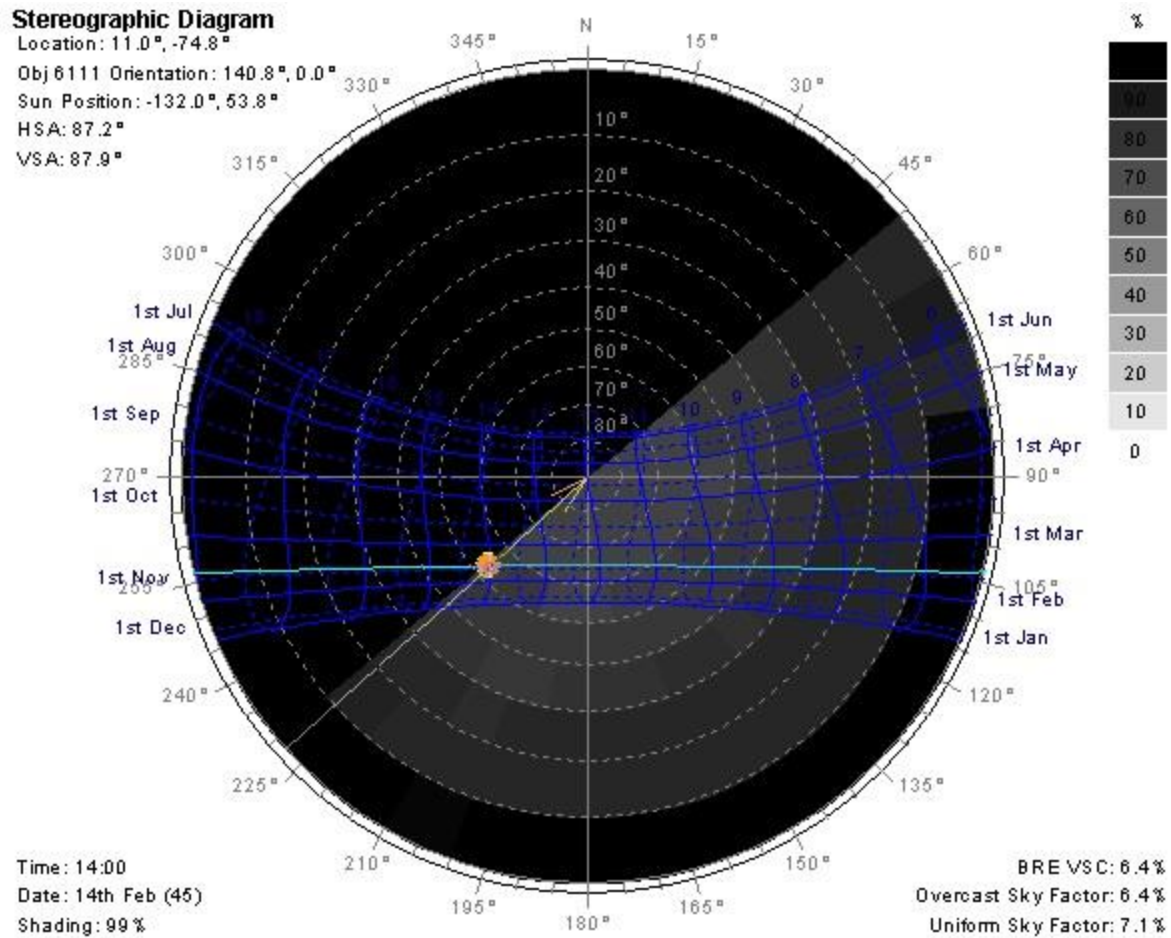


Figura 45. Diagrama estereográfico: Sombra incidente en elemento suelo del espacio arborizado. Elaboración propia.

En los resultados presentados en las mediciones de los parámetros microclimáticos, se estableció la relación de la sensación de confort térmico con cada parámetro. Según esto, la relación entre la velocidad del viento y el confort térmico es negativa, es decir, que la sensación de confort térmico no depende de la velocidad del viento, sea alto o bajo los datos registrados para esta variable no afecta la percepción de confort térmico por parte de una persona. Mientras que, la relación entre la temperatura del aire y sensación de confort térmico es positiva o una relación directamente proporcional, es decir, si aumenta la temperatura del aire, la sensación térmica también. Por tanto, a menor temperatura del aire para una ciudad con clima tropical, mejora la sensación térmica (ver figuras 46-47).

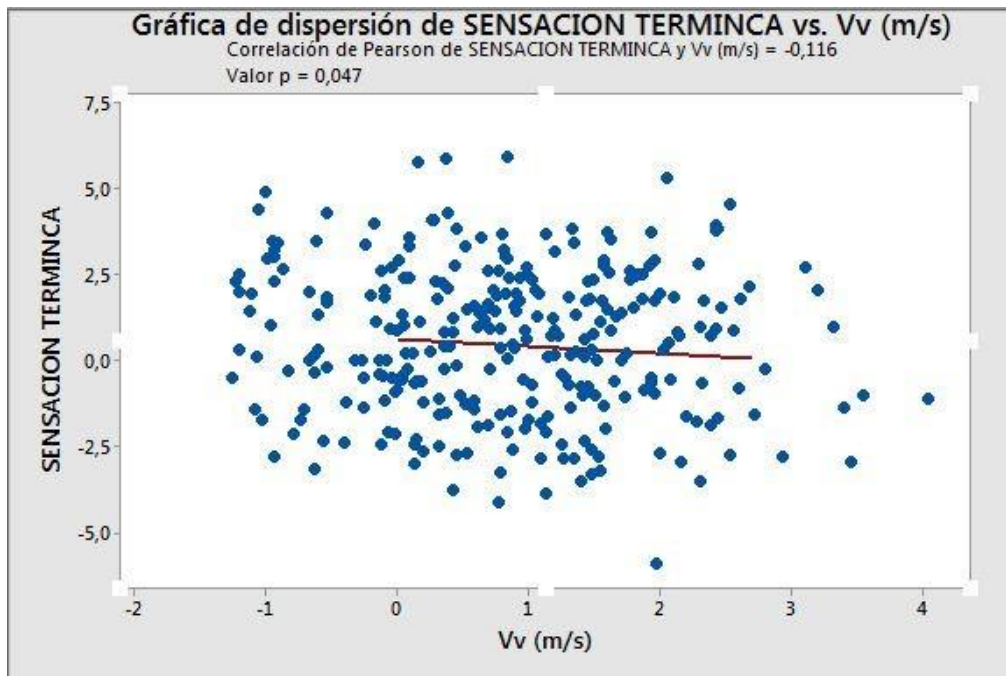


Figura 46. Gráfica de dispersión: Sensación térmica y velocidad del viento.

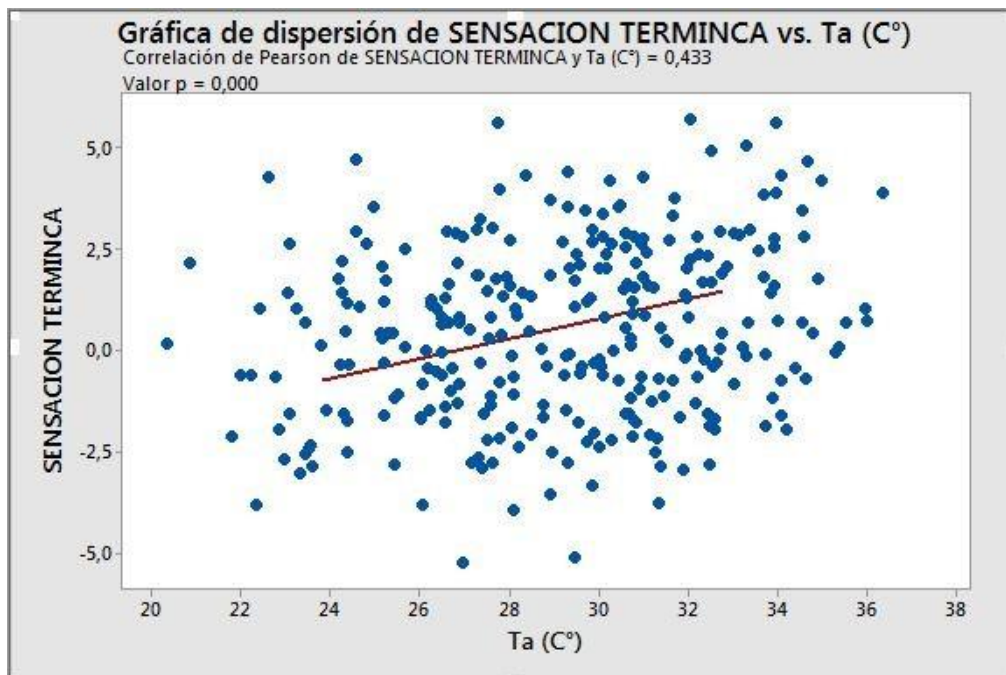


Figura 47. Gráfica de dispersión: Sensación térmica y temperatura del aire.

Para concluir lo presentado en este apartado, el confort térmico de una persona está relacionado, directamente, con la temperatura del aire de un espacio urbano, tomando en cuenta la edad, vestimenta, sexo y actividad física que esté realizando la persona. Siendo este parámetro,

el que tiene una relación positiva con la sensación térmica. Por otra parte, los resultados de las mediciones de campo, arrojaron que en todos los espacios las personas tuvieron un sensación de confort térmico, de esta manera en un primer momento y basándose en los datos registrados por parámetros microclimáticos, para que una persona en un espacio urbano en una ciudad con clima tropical como Barranquilla, la temperatura del aire debería oscilar entre 28 °C a 29.5 °C, humedad relativa entre 65 % a 70.5 % y velocidades de viento entre 0.3 m/s a 1.5 m/s. No obstante, este análisis es resultado de un día de mediciones de campo y aplicación de encuestas en el mes de febrero, por tanto, son datos y apreciaciones conceptuales que pueden variar en otra época distinta del año.

6.2 Análisis de simulaciones virtuales: Incidencia de sombra (%), radiación solar acumulada² y Sky View Factor (SVF)

6.2.1 Espacio urbano con tejido compacto y de gran altura (LCZ 1 Compacto de gran altura) con relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur (NS):

Para el espacio urbano con tejido compacto y de gran altura (LCZ 1) con relación H/W igual 1, se realizaron las simulaciones virtuales de incidencia de sombra, SVF y, los parámetros microclimáticos radiación solar acumulada y temperatura del aire, en los solsticios de junio y diciembre (día 21 de los respectivos meses).

Para el solsticio de junio (21 de junio), con el LCZ 1 orientación Norte-Sur, las simulaciones virtuales para radiación acumulada permiten identificar que en los elementos del cañón urbano (Fachada oeste, fachada este y elemento suelo), el rango de valores de radiación

² Los análisis de radiación incidente para los elementos del cañón urbano de los espacios urbanos con tejido abierto LCZ 4 y LCZ 6 (En las distintas orientaciones de eje de calle) se presentan en el apartado de Propuesta de criterios bioclimáticos para el diseño urbano en ciudades con climas tropicales, como tablas resumen de los datos resultantes de las simulaciones.

que se va acumulando, de forma general en los elementos para las diez de la mañana, oscila entre 140 Wh/m² a 5000 Wh/m² (ver figura 48).

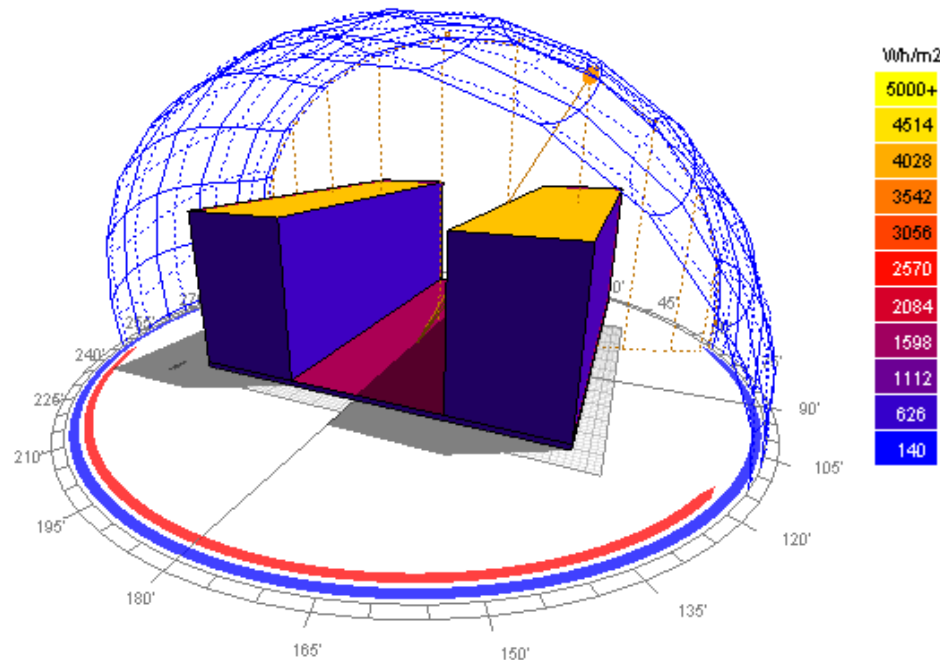


Figura 48. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

Para la diez de la mañana, la fachada este acumula en radiación solar 626 Wh/m², la fachada oeste 1112 Wh/m², y el elemento suelo 1598 Wh/m². Se observa que, la parte superior de las edificaciones, a 30 metros de altura, se acumula más radiación solar, exactamente 4514 Wh/m² (ver figura 49). En comparación al resto de horas simuladas, para medio día los valores de radiación acumulada coinciden o son similares con los diez de la mañana, no obstante, para horas de la tarde los valores cambian. Para las cuatro de la tarde, los valores de radiación acumulada oscilan entre 1000 Wh/m² a 5000 Wh/m²; la fachada este acumula en radiación solar entre 3800 Wh/m² a 4200 Wh/m², la fachada oeste entre 3000 Wh/m² a 3400 Wh/m² y el elemento suelo 1800 Wh/m²; la parte superior de las edificaciones acumulan en radiación más de 5000 Wh/m² (ver figura 50-51). De esta manera, en horas de la tarde, la radiación que se acumula en los

elementos del cañón urbano es mayor que en horas de la mañana; la fachada este acumula más radiación solar en el día y el suelo mantiene un equilibrio en la acumulación de radiación.

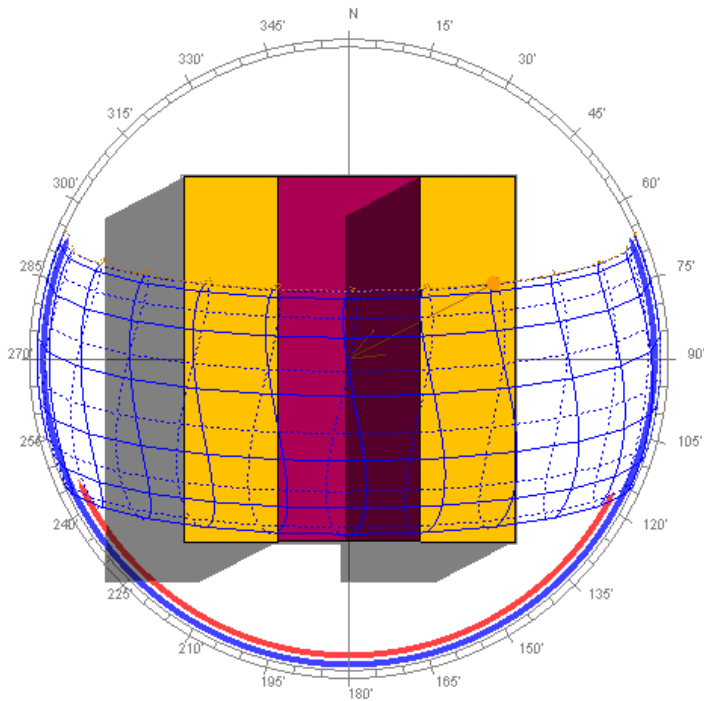


Figura 49. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 10:00 a.m., vista en planta: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

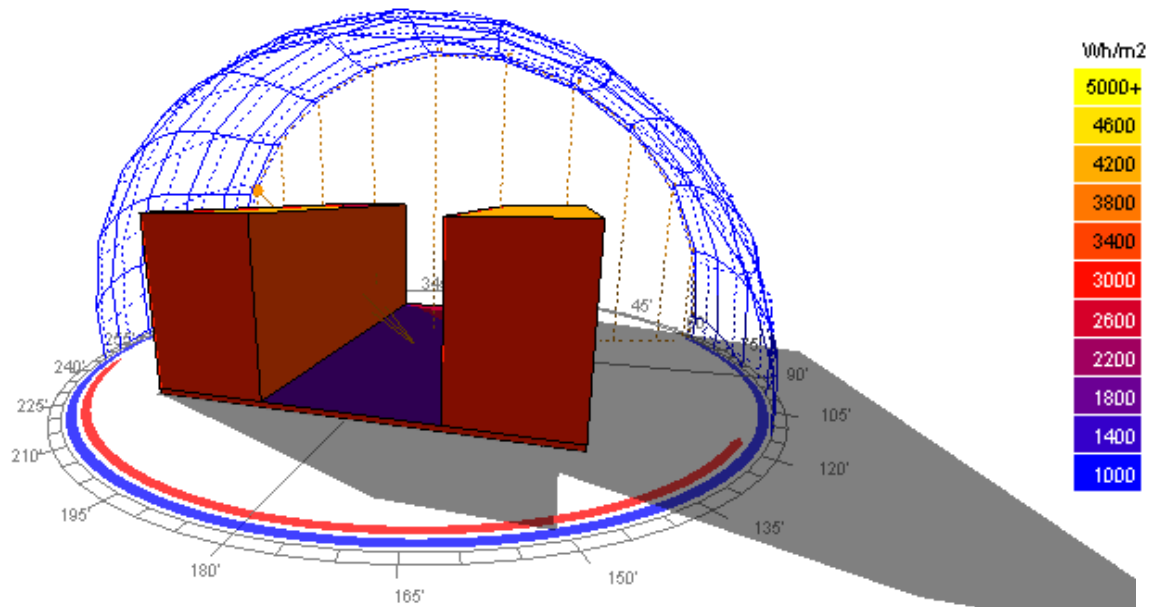


Figura 50. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

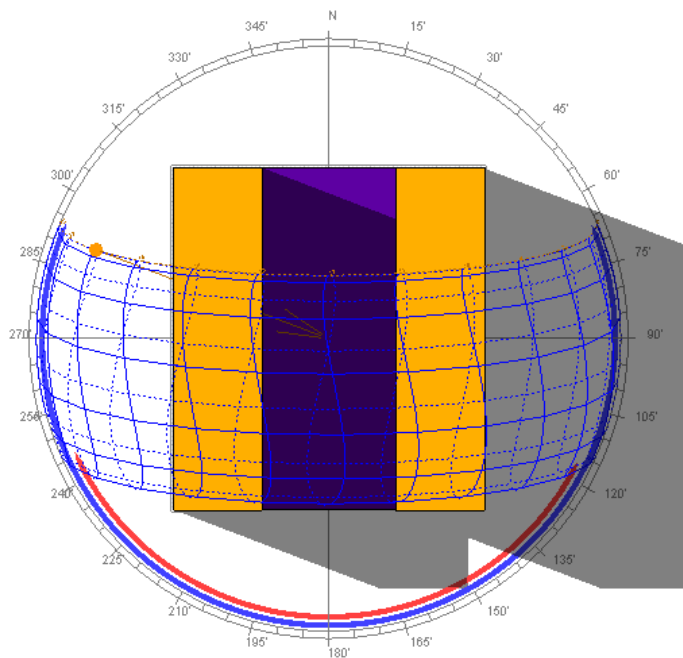


Figura 51. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 04:00 p.m., vista en planta: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

En el caso de las simulaciones de radiación solar acumulada para el solsticio de diciembre (21 de diciembre), los valores son diferentes a los que se presentan en el solsticio de junio, debido a la época del año y ángulo de incidencia de los rayos del sol. Para las diez de la mañana, los elementos del cañón urbano, acumulan en radiación solar entre 0 Wh/m² a 2000 Wh/m². En la fachada este se acumula 1600 Wh/m², la fachada oeste acumula 541 Wh/m² y el elemento suelo acumula entre 600 Wh/m² a 800 Wh/m²; la parte superior de las edificaciones, a 30 metros de altura, acumulan 1600 Wh/m² (ver figura 52-53). Para el medio día (12:00 p.m.), los valores que se presentan de radiación acumulada son similares o coinciden con los valores de diez de la mañana. A las cuatro de la tarde, los valores siguen siendo similares a las anteriores horas simuladas, la radiación acumulada en el cañón urbano oscila entre 0 Wh/m² a 2000 Wh/m² (ver

figura 54). La fachada este acumula en radiación solar 1800 Wh/m², la fachada oeste entre 600 a 800 Wh/m², al igual que los valores de radiación que acumula el elemento suelo en este horario.

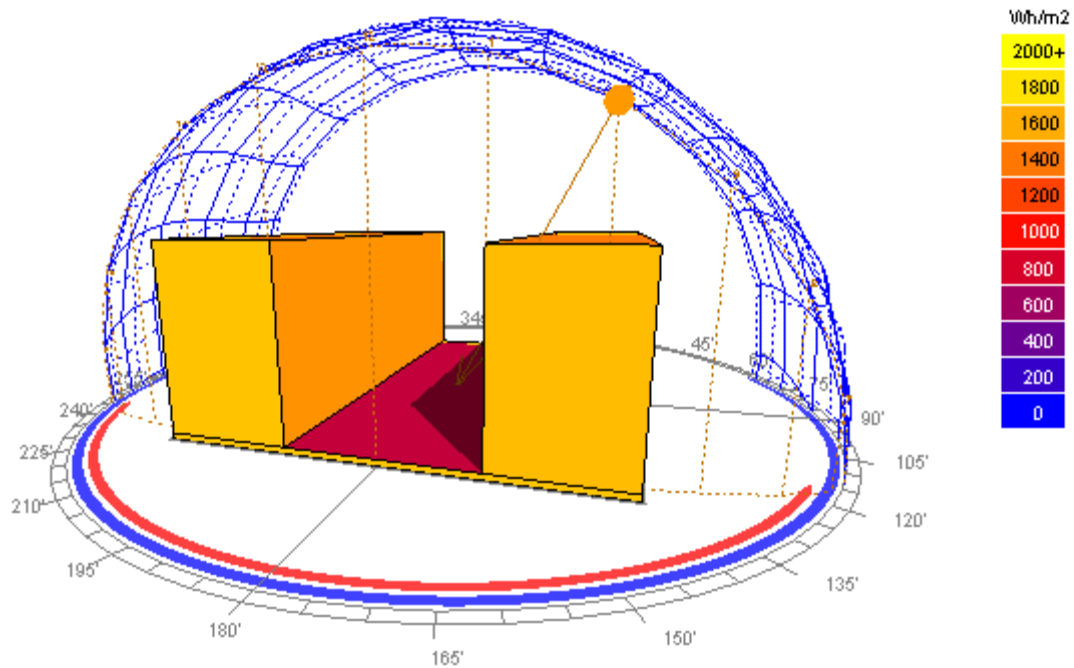


Figura 52. Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

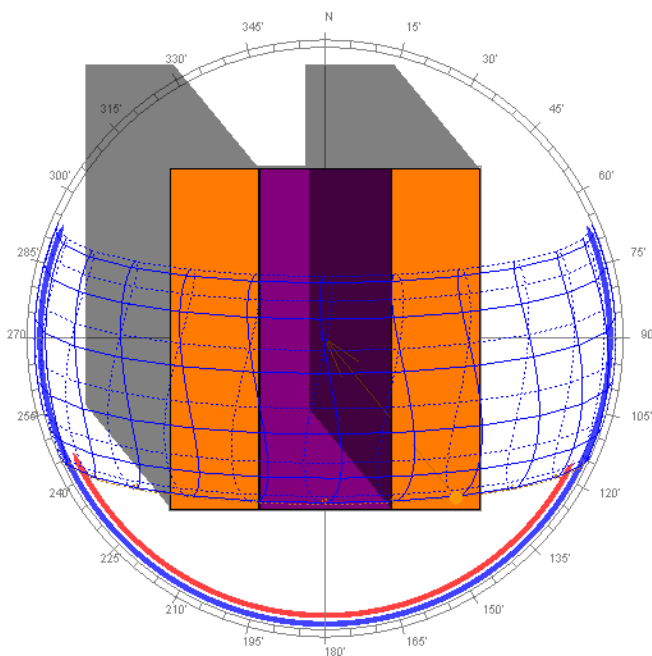


Figura 53. Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 10:00 a.m., vista en planta: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

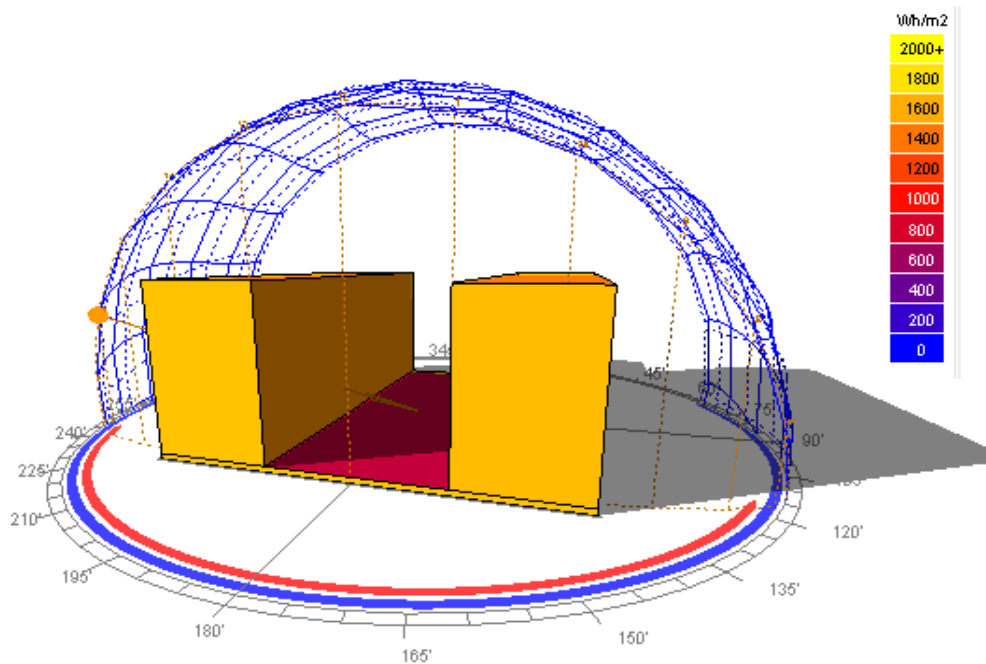


Figura 54. Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

Con lo anterior, se analiza que los valores de radiación acumulada para cada uno de los elementos del cañón urbano son más bajos en el solsticio de diciembre, en comparación al solsticio del mes de junio; esto debido a que, el ángulo e incidencia solar en el mes diciembre es muy distinto al presentado en el mes de junio. En el caso de las simulaciones de porcentaje de sombras en el modelo LCZ 1, los resultados corresponden a datos solares diarios tabulados por elementos del cañón urbano, es decir, desde la salida hasta la puesta del sol (ver tabla 19) (ver figura 55).

Tabla 19

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 1 con h/w igual a 1 con orientación Norte-Sur

Análisis comparativo: Sombra incidente (%) LCZ 1- Compacto de gran altura en solsticio de junio	
Hora	Elemento

	Suelo (%)	Fachada oeste (%)	Fachada este (%)
06:00	69	100	43
06:30	74	100	25
07:00	74	100	25
07:30	73	100	13
08:00	73	100	1
08:30	73	100	1
09:00	71	100	0
09:30	44	100	0
10:00	15	100	0
10:30	11	100	0
11:00	11	100	0
11:30	0	100	0
12:00	5	100	0
12:30	5	0	100
13:00	18	0	100
13:30	39	0	100
14:00	39	0	100
14:30	47	0	100
15:00	72	0	100
15:30	72	9	100
16:00	72	9	100
16:30	72	25	100
17:00	72	35	100
17:30	72	35	100
18:00	72	46	100

Nota. Elaboración propia.

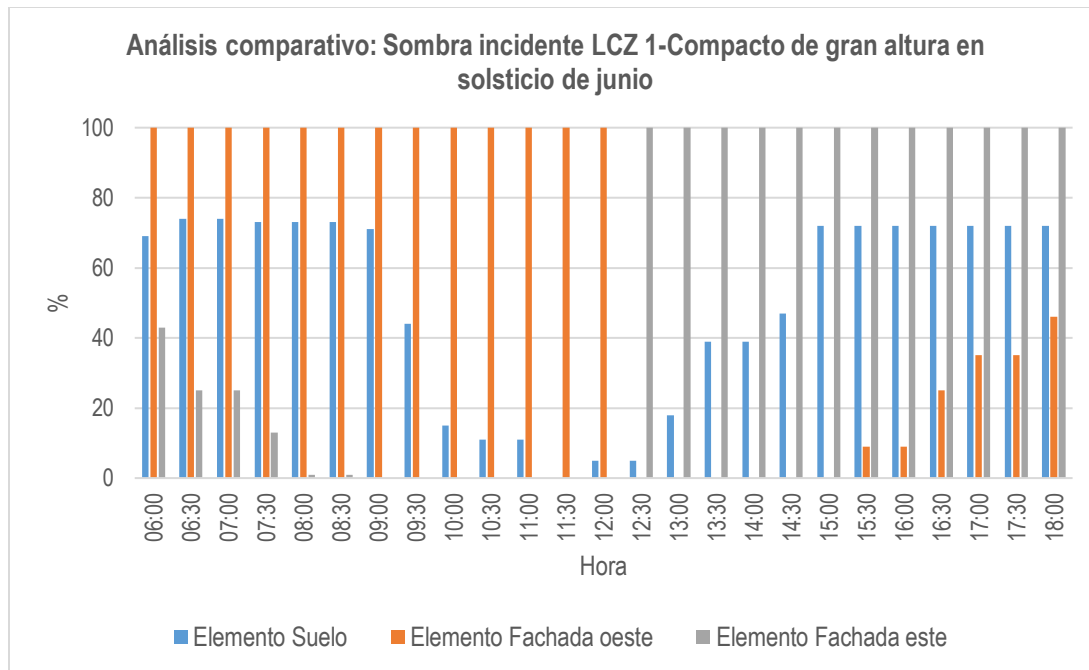


Figura 55. Análisis comparativo de sombra incidente por elementos del cañón urbano para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

Para la fachada oeste en el solsticio de junio, el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 58.36 %, de seis de la mañana hasta 12 del mediodía los porcentajes de sombras son bastantes favorables, igual a 100%; en horas de la tarde, después de doce y media de la tarde hasta la puesta de sol, los porcentajes son desfavorables, oscilando entre 0 % a 46 %, significando, que en este tipo de espacios urbanos sin arborización, la fachada oeste se encuentra en un punto crítico de incidencia solar y poca o nula generación de sombras en horas de la tarde y más favorable en horas de la mañana.

Para el elemento suelo en el solsticio de junio, el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 49.8 %, de nueve y treinta de la mañana hasta dos y treinta de la tarde los porcentajes de sombras no son favorables, oscilan entre 0 % a 47 %; entre seis a nueve de la mañana y después de tres de la tarde hasta la puesta de sol, los porcentajes son favorables, oscilando entre 69 % a 74 %. Para la fachada este en el solsticio de junio, el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 52.32 %, de seis de la mañana hasta 12 del

mediodía los porcentajes de sombras son bajos, incluso, no superando, el 0 %; en horas de la tarde, después de doce y media de la tarde hasta la puesta de sol, los porcentajes son iguales a 100 %, significando, que en este tipo de espacios urbanos sin arborización, la fachada este se encuentra en un punto crítico de incidencia solar y poca o nula generación de sombras en hora de la mañana y más favorable en horas de la tarde.

De cierto, en un espacio urbano sin arborización con edificaciones de gran altura, el elemento del cañón urbano más afectado es el suelo, puesto que la sombra artificial que se genera en este es producto de las edificaciones que se oponen a la posición del sol. Por su parte, las fachadas oeste y este, tienen porcentajes de sombras favorables en horas de la mañana y tarde, respectivamente. En cuanto al solsticio de diciembre, se analizan los mismos elementos del cañón urbano, cambiando únicamente el lapso de tiempo, puesto que las horas de incidencia solar son distintas para el mes de diciembre (ver tabla 20) (ver figura 56).

Tabla 20 *Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 1 con h/w igual a 1 con orientación Norte-Sur*

Análisis comparativo: Sombra incidente (%) LCZ			
1-Compacto de gran altura en solsticio de diciembre			
Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada oeste (%)	Fachada este (%)
06:30	94	100	69
07:00	94	100	69
07:30	94	100	49
08:00	91	100	28
08:30	91	100	28
09:00	59	100	7
09:30	35	100	0
10:00	21	100	0
10:30	21	100	0
11:00	12	100	0
11:30	15	100	0
12:00	0	0	100

12:30	11	0	100
13:00	20	0	100
13:30	44	0	100
14:00	55	0	100
14:30	68	0	100
15:00	85	0	100
15:30	84	1	100
16:00	84	1	100
16:30	92	34	100
17:00	92	65	100
17:30	92	65	100

Nota. Elaboración propia

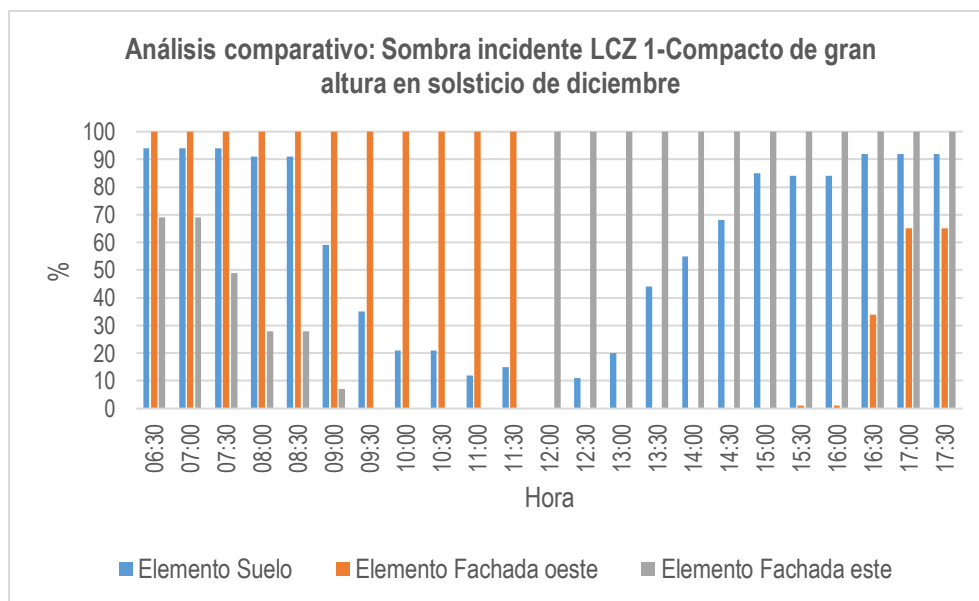


Figura 56. Análisis comparativo de sombra incidente por elementos del cañón urbano para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

Para la fachada este, el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 63.04 %, de seis de la mañana hasta 12 del mediodía los porcentajes de sombras son poco favorables, oscilan entre 0 a 69 %; en horas de la tarde, después de doce de la tarde hasta la puesta de sol, los porcentajes son favorables, iguales a 100 % significando, que en este tipo de espacios urbanos sin arborización, la fachada este se encuentra en un punto crítico de incidencia

solar y poca o nula generación de sombras en horas de la mañana y más favorable en horas de la tarde.

Para la fachada oeste en el solsticio de diciembre, el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 55.04 %, de seis de la mañana hasta once y treinta de la mañana, los porcentajes de sombras son bastantes favorables, igual a 100%; en horas de la tarde, después de doce de la tarde hasta la puesta de sol, los porcentajes son desfavorables, oscilando entre 0 % a 65 %, significando, que en este tipo de espacios urbanos sin arborización, la fachada oeste se encuentra en un punto crítico de incidencia solar y poca o nula generación de sombras en horas de la tarde y más favorable en horas de la mañana. En cuanto al elemento suelo en el solsticio de diciembre, el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 58.86 %, de nueve de la mañana hasta dos y treinta de la tarde los porcentajes de sombras oscilan entre 0 % a 68 %; entre seis a ocho y treinta de la mañana y después de tres de la tarde hasta la puesta de sol, los porcentajes son favorables, oscilando entre 85 % a 94 %.

En un espacio urbano sin arborización con edificaciones de gran altura, al igual que lo presentado en el solsticio de junio, el elemento del cañón urbano más afectado es el suelo, puesto que la sombra artificial que se genera en este es producto de las edificaciones que se oponen a la posición del sol. Por su parte, las fachadas oeste y este, tienen porcentajes de sombras favorables en horas de la mañana y tarde, respectivamente.

En los análisis de sombras, se obtuvieron los diagramas estereográficos por cada elemento del cañón urbano para las diez de la mañana para ambos solsticios, analizando en estos, la sombra arrojada, el factor de cielo cubierto (Overcast sky factor), el factor de cielo uniforme (Uniform sky factor) y el componente de cielo vertical (VSC) (ver figura 57-60).

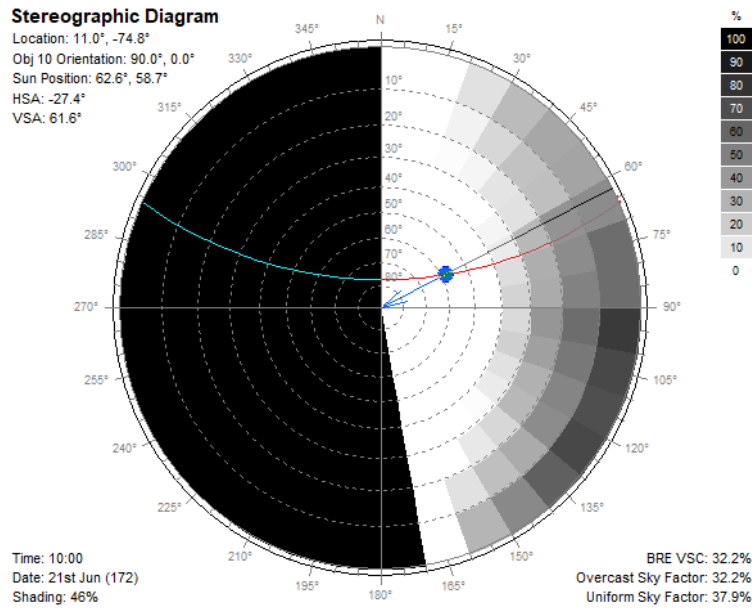


Figura 57. Diagrama estereográfico fachada este (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

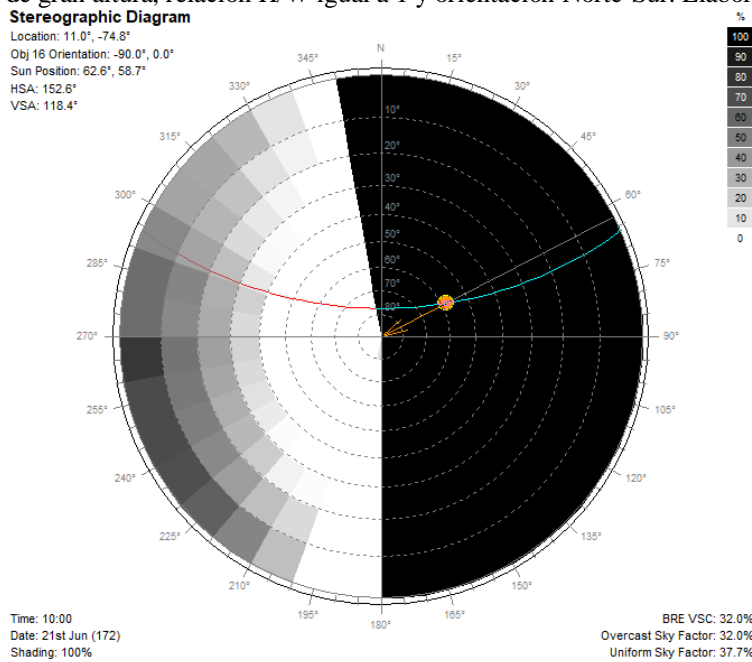


Figura 58. Diagrama estereográfico fachada oeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

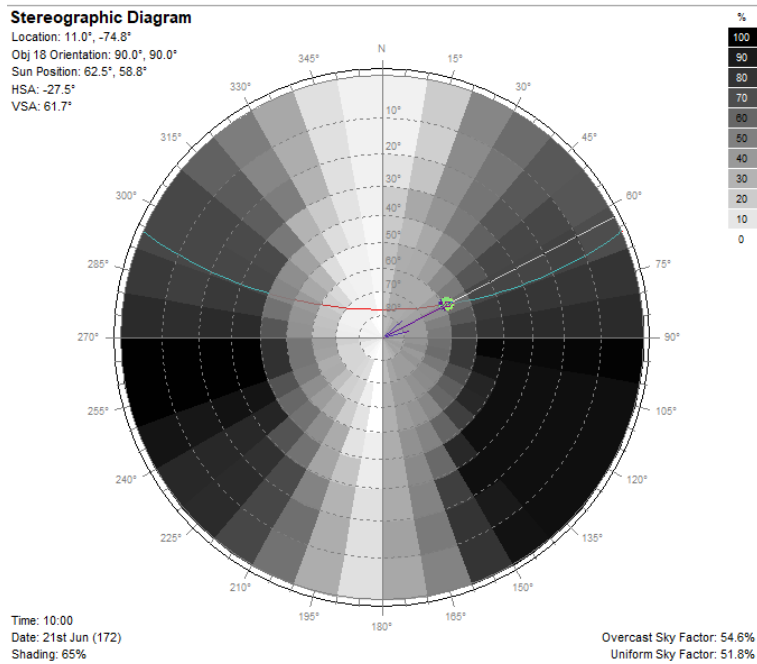


Figura 59. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

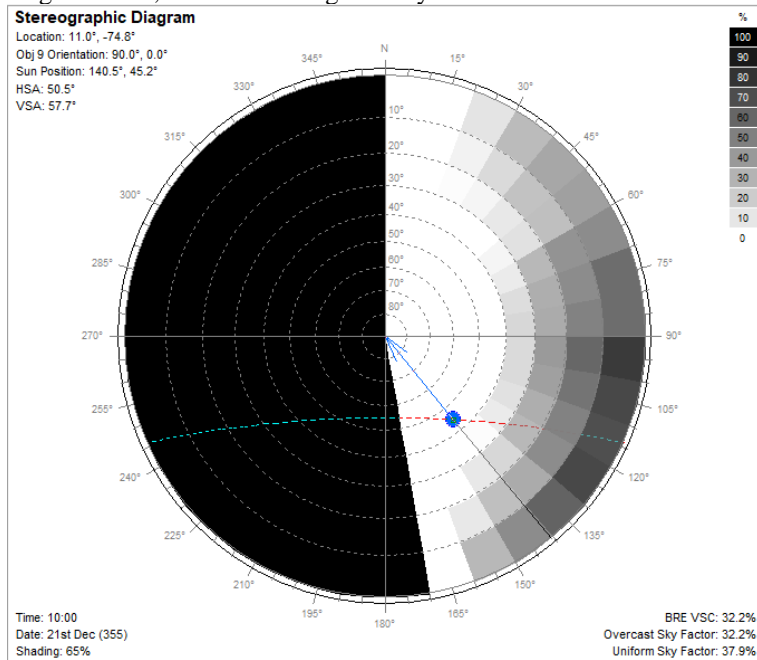


Figura 60. Diagrama estereográfico fachada este (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

En los diagramas estereográficos de elementos de cañón urbano para el 21 de junio, en la fachada este el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 32.2 %, el factor de cielo cubierto es de 32.2 % y el factor de cielo uniforme es de 37.9 %; en la fachada oeste, el BRE VSC es de

32 %, el factor de cielo cubierto es de 32 % y el factor de cielo uniforme es de 37.7 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 54.6 % y el factor de cielo uniforme es de 51.8 %. En los casos simulados para el 21 de diciembre, en la fachada este el BRE VSC es de 32.2 %, el factor de cielo cubierto es de 32.2 % y el factor de cielo uniforme es de 37.9 %; en la fachada oeste, el BRE VSC es de 34.7 %, el factor de cielo cubierto es de 34.7 % y el factor de cielo uniforme es de 41.4 %; para el elemento suelo, el factor de cielo cubierto es de 67.9 % y el factor de cielo uniforme es de 63.5 % (ver figura 61-62).

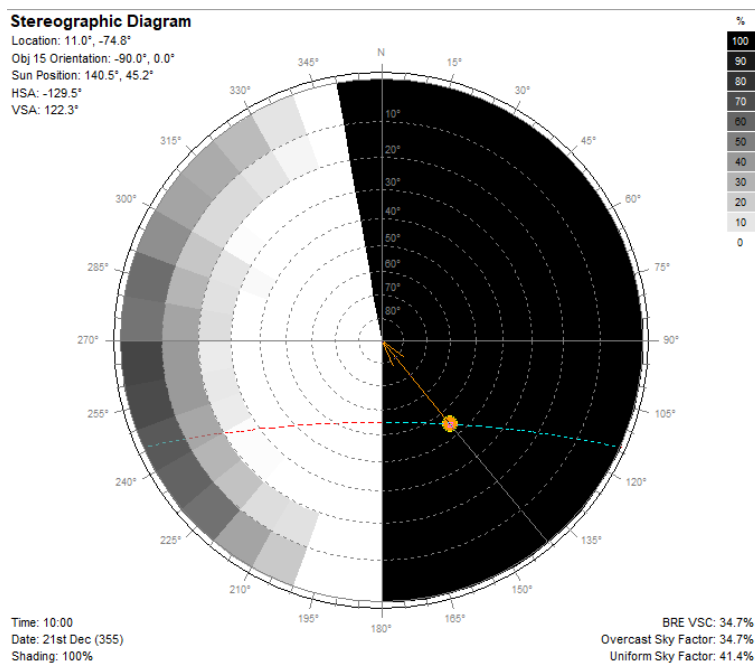


Figura 61. Diagrama estereográfico fachada oeste (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

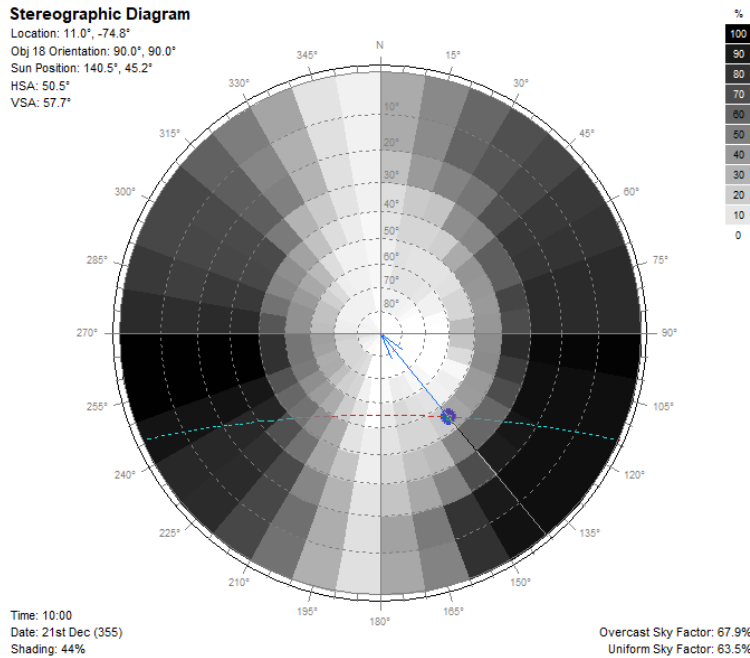


Figura 62. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

Por otra parte, se realizaron las simulaciones de Sky View Factor (SVF) o factor de vista al cielo, para ambas fechas seleccionadas (21 de junio y diciembre), analizando en este caso, el SVF para 21 de diciembre a las cuatro de la tarde (ver figura 63).

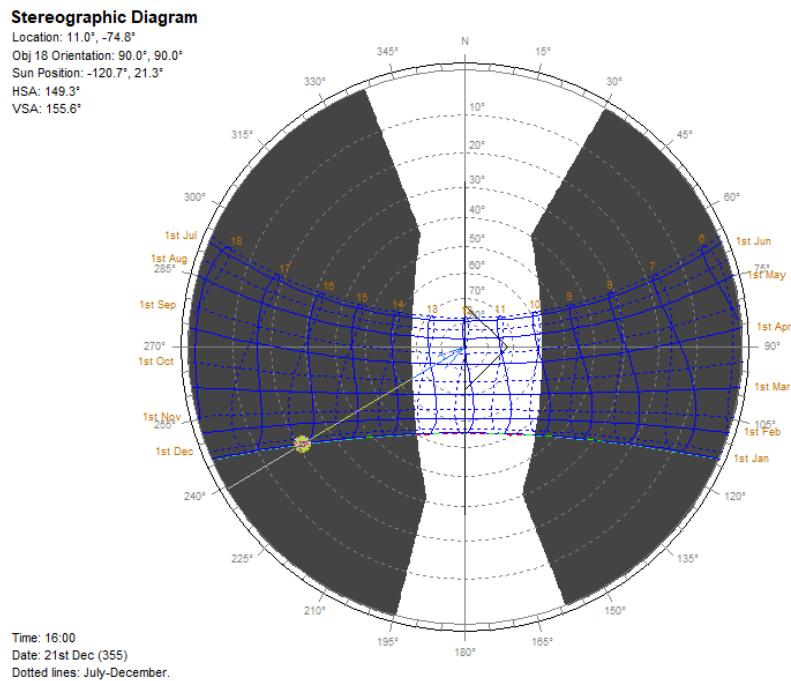


Figura 63. Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (16 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

6.2.2 Espacio urbano con tejido compacto y de gran altura (LCZ 1 Compacto de gran altura) con relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste (EO):

Para el solsticio de junio (21 de junio), con el LCZ 1 orientación Este-Oeste, las simulaciones virtuales para radiación acumulada permiten identificar que en los elementos del cañón urbano (Fachada norte, fachada sur y elemento suelo), el rango de valores de radiación que se va acumulando, de forma general en los elementos para las diez de la mañana, oscila entre 140 Wh/m² a 5000 Wh/m².

Para la diez de la mañana, la fachada sur acumula en radiación solar 626 Wh/m², la fachada norte acumula 1598 Wh/m², y el elemento suelo 1598 Wh/m² a 2570 Wh/m². Se observa que, la parte superior de las edificaciones, a 30 metros de altura, se acumula más radiación solar, exactamente 4514 Wh/m². En comparación al resto de horas simuladas, para medio día los valores de radiación acumulada varían considerablemente respecto a lo anterior; en la fachada sur se acumula 3680 Wh/m², en la fachada norte 2360 Wh/m² y en el elemento suelo entre 1480 Wh/m² a 2800 Wh/m² (ver figura 64-65).

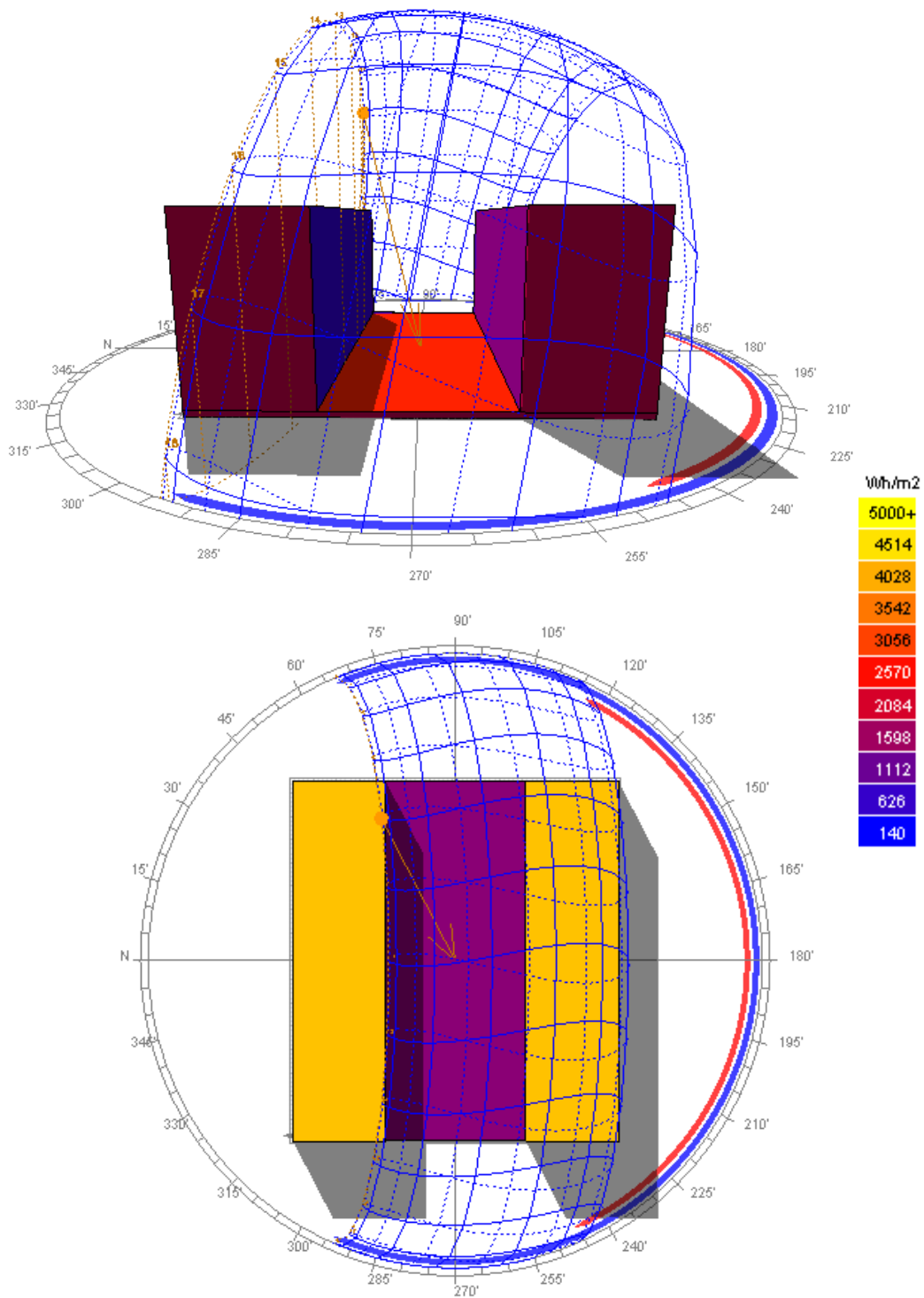


Figura 64. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

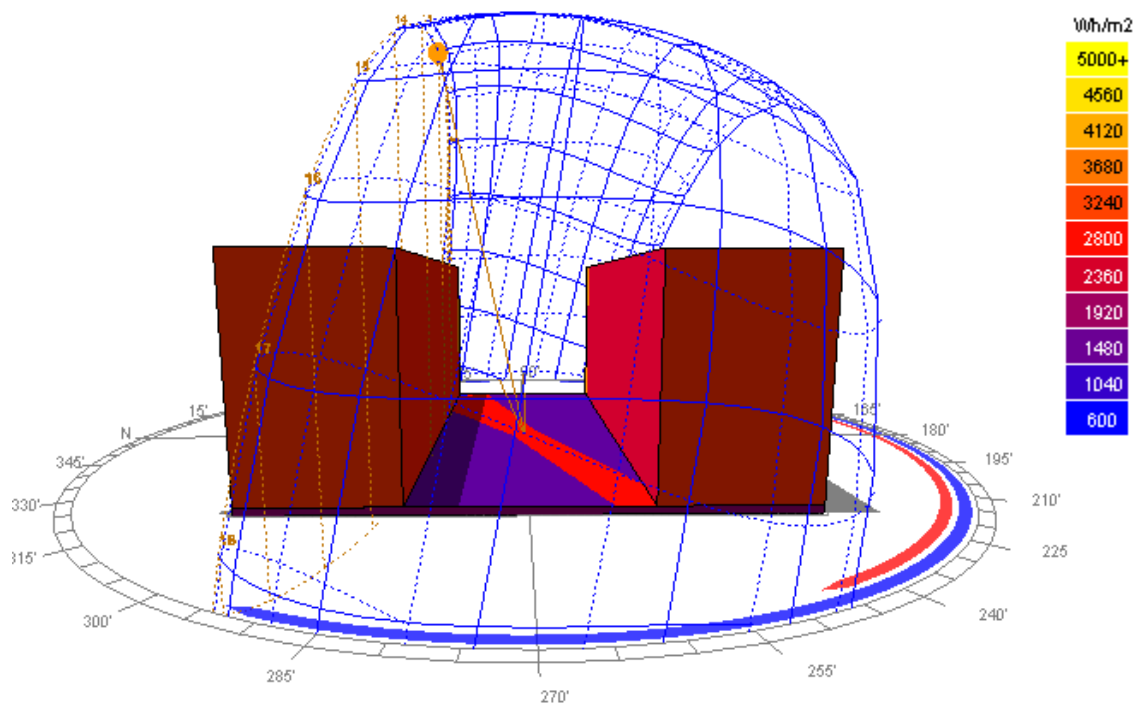


Figura 65. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 12:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

Para las cuatro de la tarde, los valores de radiación acumulada oscilan entre 600 Wh/m² a 5000 Wh/m²; la fachada sur acumula en radiación solar 3240 Wh/m², la fachada norte 2360 Wh/m² y el elemento suelo 1480 Wh/m²; la parte superior de las edificaciones acumulan en radiación más de 4560 Wh/m². De esta manera, en horas de la tarde, la radiación que se acumula en los elementos del cañón urbano es mayor que en horas de la mañana; la fachada sur acumula más radiación solar después del mediodía y menos en horas de la mañana, al igual que la fachada norte (Ver figura 66).

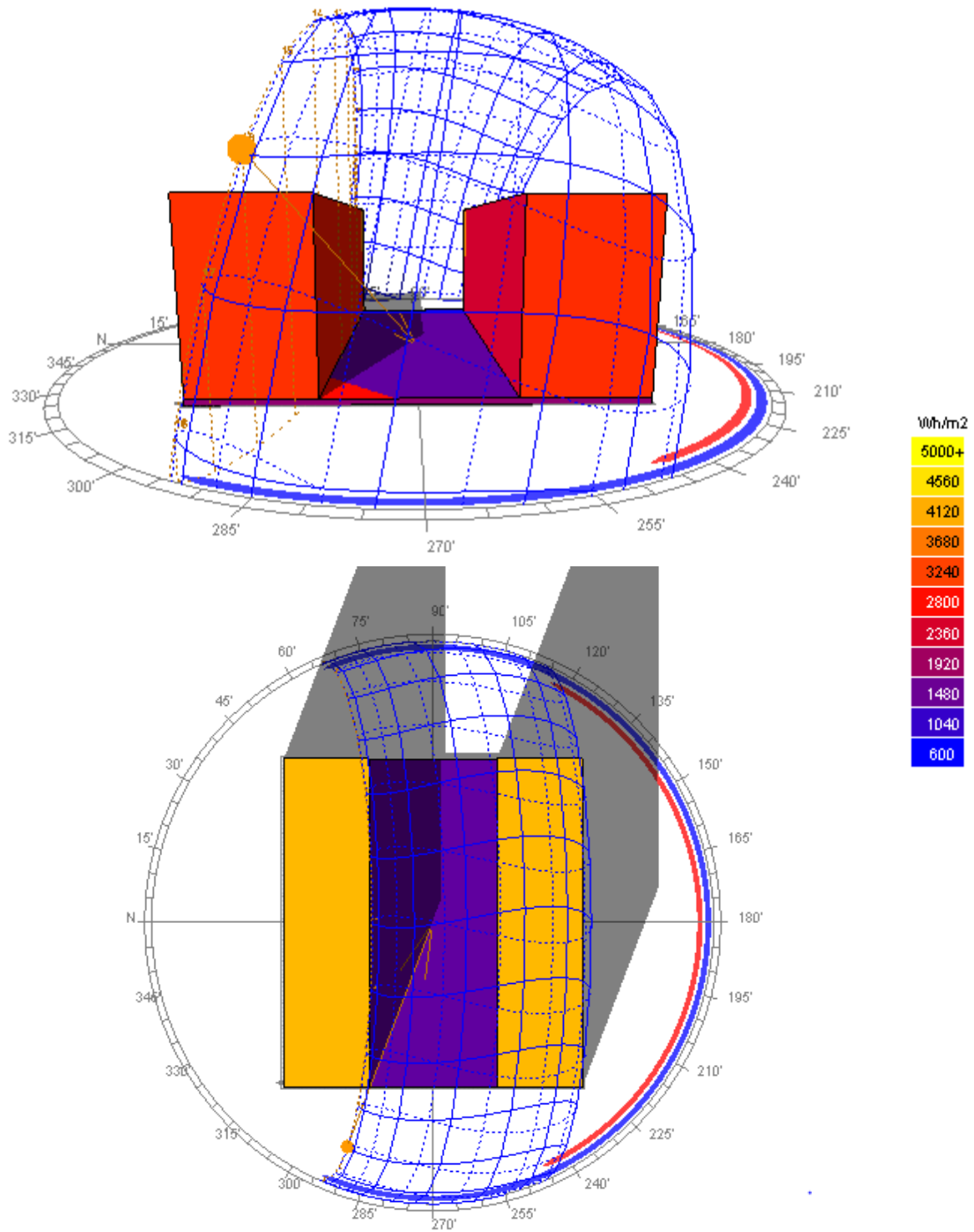


Figura 66. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

En el caso de las simulaciones de radiación solar acumulada para el solsticio de diciembre (21 de diciembre), los valores son diferentes a los que se presentan en el solsticio de junio, debido a la época del año y ángulo de incidencia de los rayos del sol. Para las diez de la mañana, los elementos del cañón urbano, acumulan en radiación solar entre 0 Wh/m² a 2000 Wh/m². En la fachada sur se acumula 1600 Wh/m², la fachada norte acumula 1800 Wh/m² y el elemento suelo acumula entre 600 Wh/m² a 800 Wh/m²; la parte superior de las edificaciones, a 30 metros de altura, acumulan 1400 Wh/m² (ver figura 67-68). Para el medio día (12:00 p.m.), los valores que se presentan de radiación acumulada son similares o coinciden con los valores de diez de la mañana. A las cuatro de la tarde, la radiación acumulada en el cañón urbano oscila entre 0 Wh/m² a 2000 Wh/m² (ver figura 69). La fachada sur acumula en radiación solar 1600 Wh/m², la fachada norte entre 1800 Wh/m² y el elemento suelo acumula entre 600 Wh/m² a 800 Wh/m².

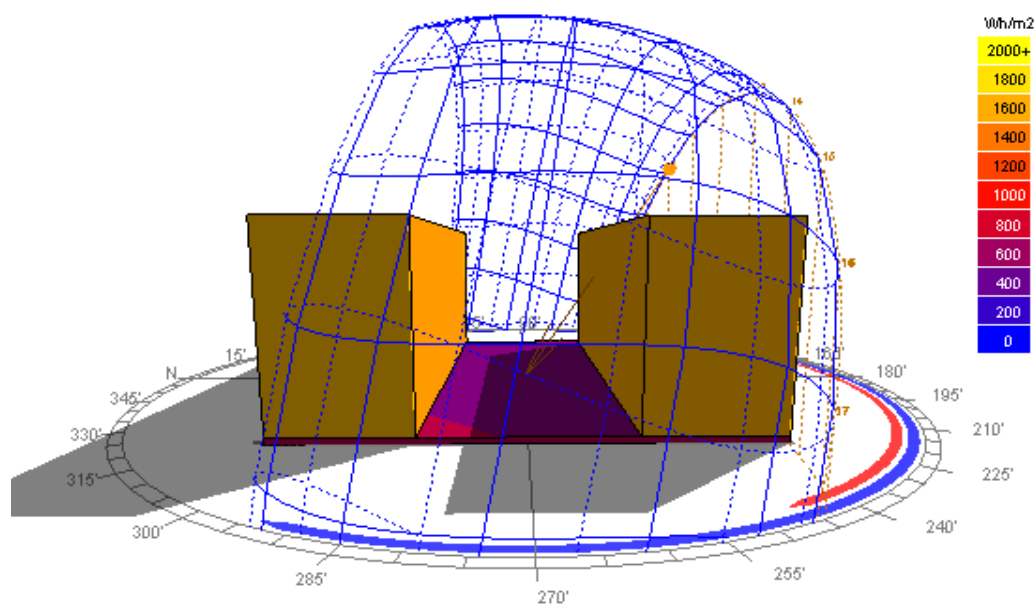


Figura 67. Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

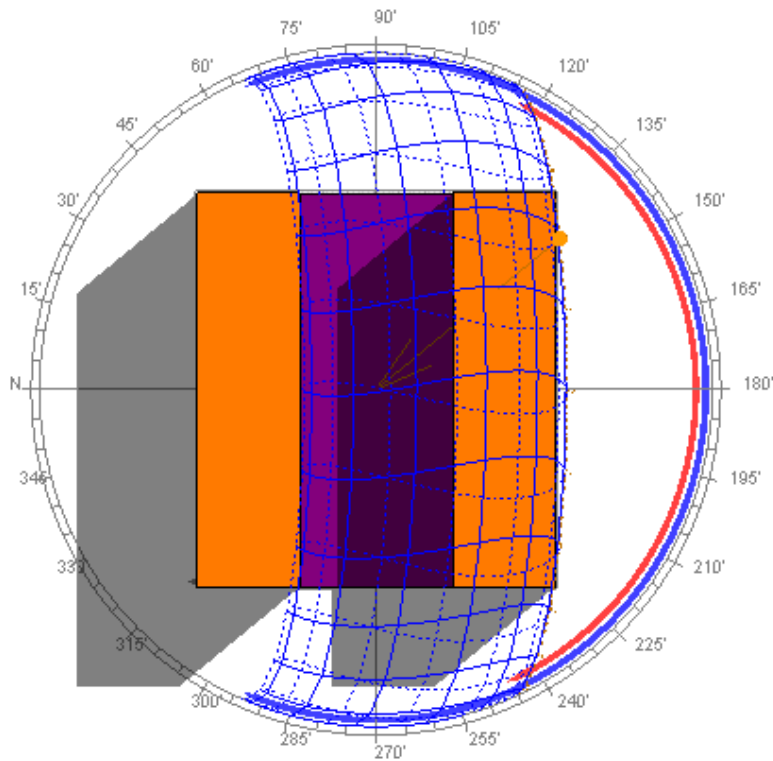


Figura 68. Análisis radiación solar acumulada (vista en planta) 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

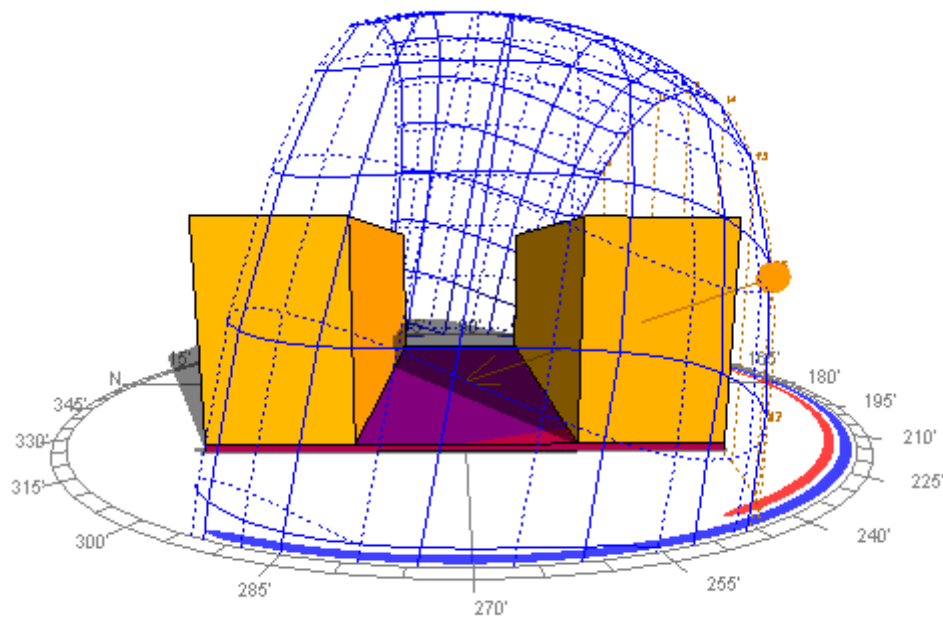


Figura 69. Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

En el caso de las simulaciones de porcentaje de sombras en el modelo LCZ 1, los resultados corresponden a datos solares diarios tabulados por elementos del cañón urbano, es decir, desde la salida hasta la puesta del sol (ver tabla 21) (ver figura 70).

Tabla 21

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 1 con h/w igual a 1 con orientación Este-Oeste

Análisis comparativo: Sombra incidente LCZ 1-Compacto de gran altura en solsticio de junio			
Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada sur (%)	Fachada norte (%)
06:00	34	100	10
06:30	32	100	5
07:00	32	100	5
07:30	32	100	0
08:00	21	100	0
08:30	21	100	0
09:00	13	100	0
09:30	5	100	0
10:00	5	100	0
10:30	6	100	0
11:00	5	100	0
11:30	5	100	0
12:00	8	100	0
12:30	16	100	0
13:00	16	100	0
13:30	18	100	0
14:00	2	100	0
14:30	2	100	0
15:00	33	100	0
15:30	36	100	0
16:00	36	100	0
16:30	49	100	1
17:00	57	100	14
17:30	57	100	14
18:00	55	100	24

Nota. Elaboración propia

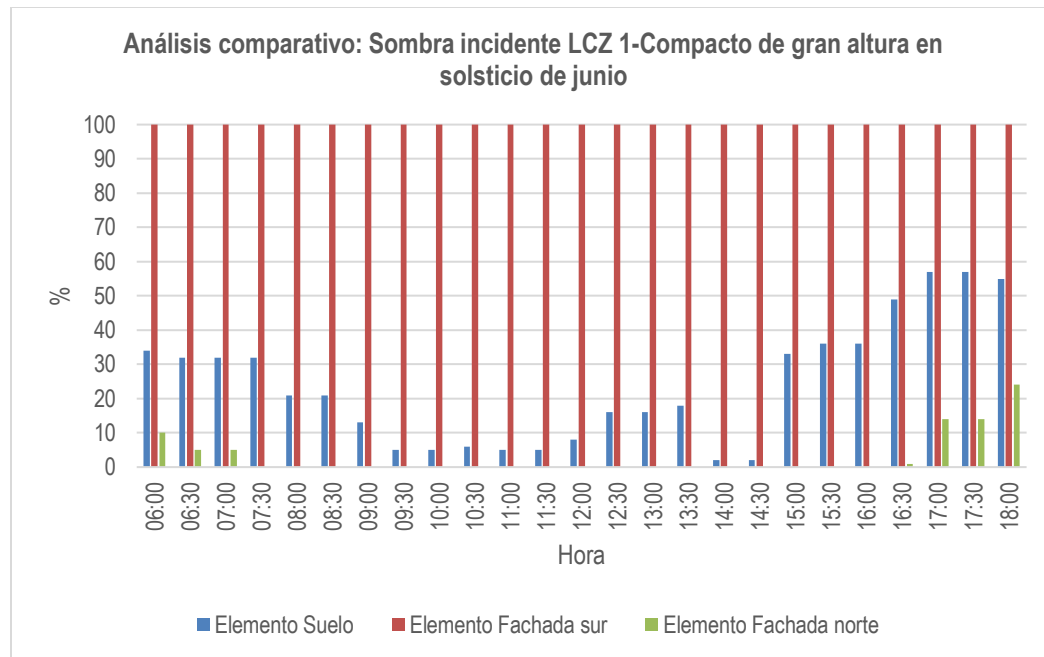


Figura 70. Análisis comparativo de sombra incidente por elementos del cañón urbano para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

Para la fachada sur en el solsticio de junio, el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 100 %, de seis de la mañana hasta seis de la tarde los porcentajes de sombras son iguales a 100 %, significando que, en este tipo de espacios urbanos sin arborización para la fecha analizada, la fachada sur se encuentra en un punto favorable de incidencia solar y excelente generación de sombras en horas de la mañana y en horas de la tarde.

Para la fachada norte en el solsticio de junio, el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 3 %, de seis de la mañana hasta seis de la tarde los porcentajes de sombras no superan el 24 % o incluso son iguales a 0 %, significando que, en este tipo de espacios urbanos sin arborización para la fecha analizada, la fachada norte se encuentra en un punto crítico de incidencia solar y poca o nula generación de sombras en horas de la mañana y en horas de la tarde.

Con respecto al elemento suelo en el solsticio de junio, el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 23.84 %, de seis de la mañana hasta seis de la tarde los

porcentajes de sombras no superan el 60 %, significando que, en este tipo de espacios urbanos sin arborización para la fecha analizada, el elemento suelo se encuentra en un punto crítico de incidencia solar y poca o nula generación de sombras después de nueve de la mañana hasta las cuatro de la tarde.

En el solsticio de diciembre, el promedio diario de porcentaje de sombra originado en la fachada sur es de 7 %; en la mayor parte del día los porcentajes de sombras no son favorables (ver tabla 22) (ver figura 71).

Tabla 22

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 1 con h/w igual a 1 con orientación Este-Oeste

**Análisis comparativo: Sombra incidente (%) LCZ 1-
Compacto de gran altura en solsticio de diciembre**

Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada sur (%)	Fachada norte (%)
06:30	54	29	100
07:00	58	29	100
07:30	60	15	100
08:00	65	9	100
08:30	67	0	100
09:00	67	0	100
09:30	63	0	100
10:00	61	0	100
10:30	61	0	100
11:00	60	0	100
11:30	60	0	100
12:00	60	0	100
12:30	58	0	100
13:00	57	0	100
13:30	56	0	100
14:00	55	0	100
14:30	55	1	100
15:00	54	0	100
15:30	54	9	100
16:00	53	9	100

16:30	52	6	100
17:00	52	29	100
17:30	52	29	100

Nota. Elaboración propia.

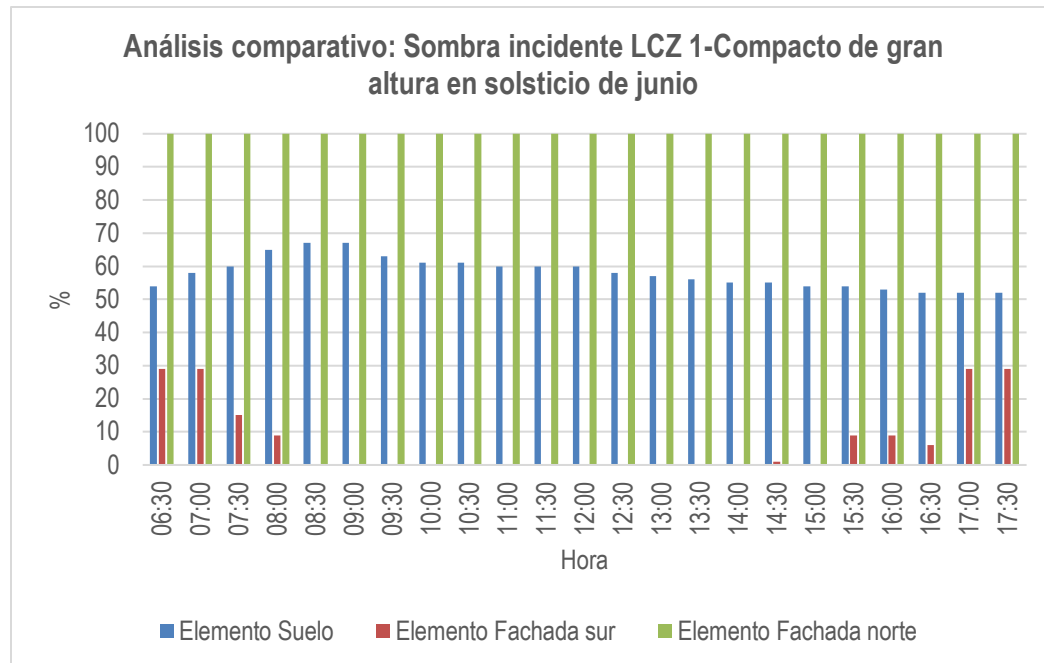


Figura 71. Análisis comparativo de sombra incidente por elementos del cañón urbano para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

Para la fachada norte en el solsticio de diciembre, el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 100 %, de seis de la mañana hasta seis de la tarde los porcentajes de sombras son iguales a 100 %, significando que, en este tipo de espacios urbanos sin arborización para la fecha analizada, la fachada norte se encuentra en un punto favorable de incidencia solar y excelente generación de sombras en horas de la mañana y en horas de la tarde, así como sucede con la fachada sur en el solsticio de junio. Para el elemento suelo en el solsticio de diciembre, el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 58 %.

En los diagramas estereográficos de elementos de cañón urbano para el 21 de junio, para las diez de la mañana, en la fachada sur el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 32.2 %, el factor de cielo cubierto es de 32.2 % y el factor de cielo uniforme es de 38 %; en la fachada

norte, el BRE VSC es de 32 %, el factor de cielo cubierto es de 32 % y el factor de cielo uniforme es de 37.6 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 53 % y el factor de cielo uniforme es de 50 % (ver figura 72-74).

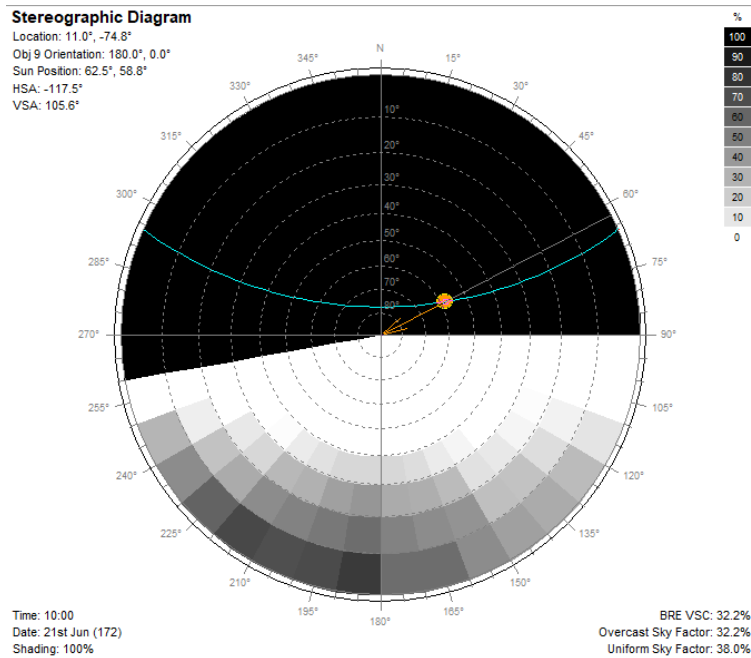


Figura 72. Diagrama estereográfico fachada sur (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

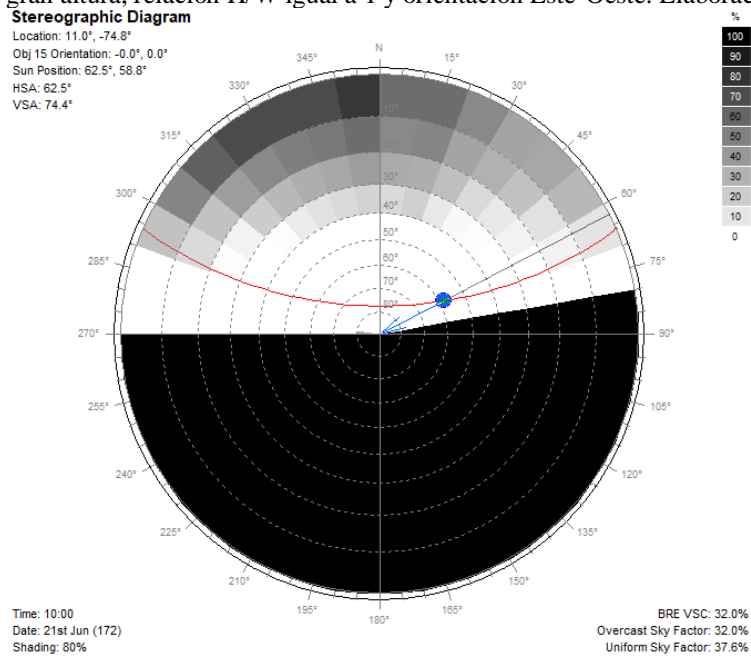


Figura 73. Diagrama estereográfico fachada norte (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

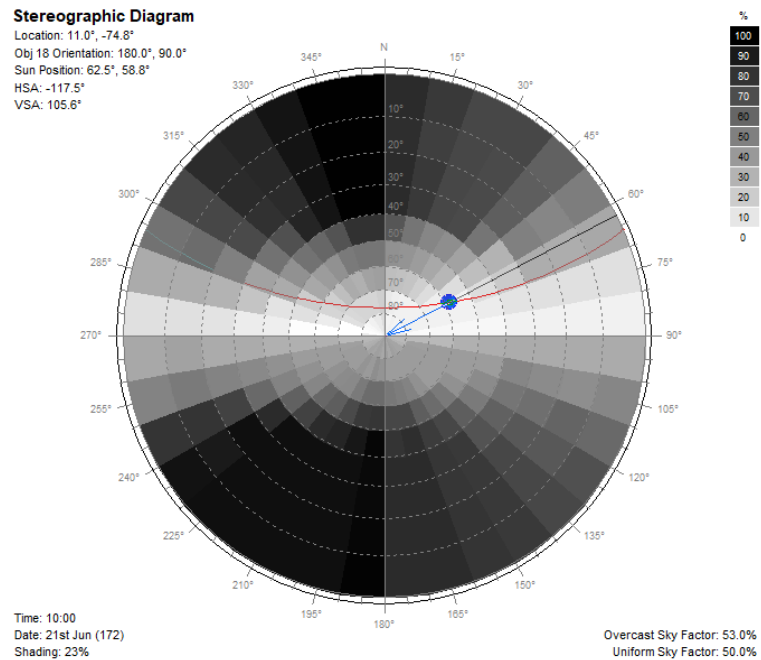


Figura 74. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

En los casos simulados para el 21 de diciembre, en la fachada sur el BRE VSC es de 32.2 %, el factor de cielo cubierto es de 32.2 % y el factor de cielo uniforme es de 38 %; en la fachada norte, el BRE VSC es de 34.7 %, el factor de cielo cubierto es de 34.7 % y el factor de cielo uniforme es de 41.3 %; para el elemento suelo, el factor de cielo cubierto es de 67.9 % y el factor de cielo uniforme es de 63.5 % (ver figura 87-89).

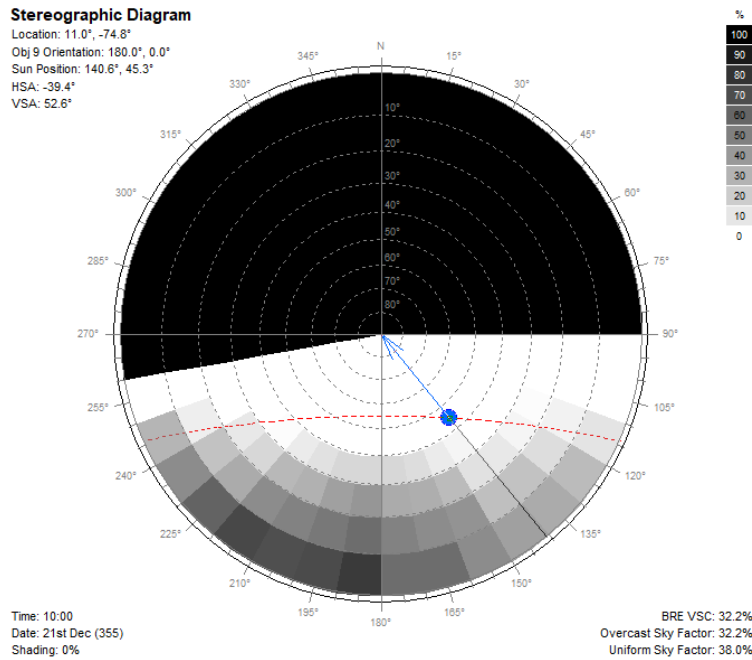


Figura 75. Diagrama estereográfico fachada sur (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

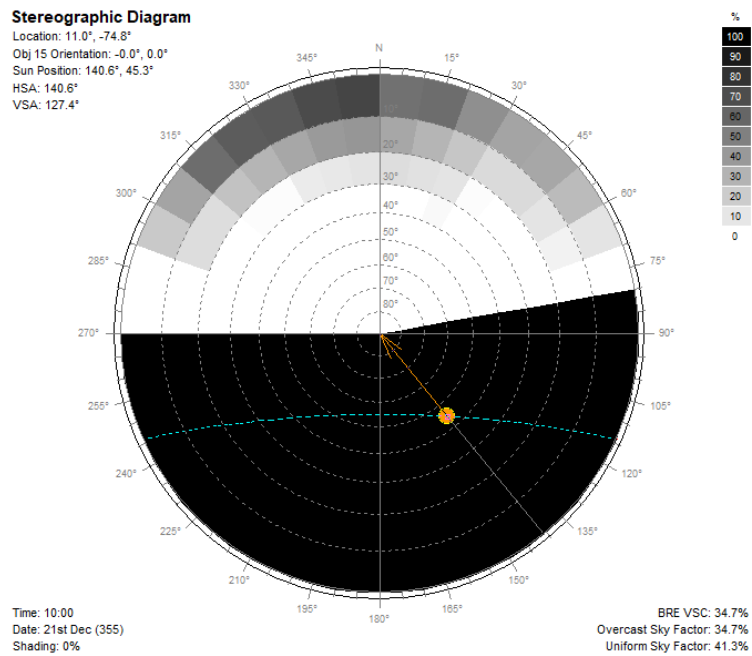


Figura 76. Diagrama estereográfico fachada norte (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

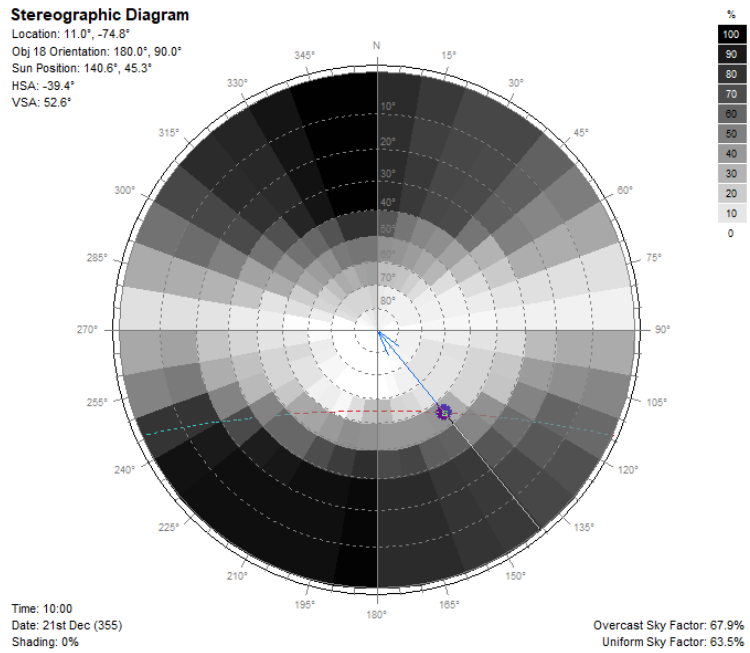


Figura 77. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

Por otro lado, se realizaron las simulaciones de Sky View Factor (SVF) o factor de vista al cielo, para ambas fechas seleccionadas (21 de junio y diciembre), analizando en este caso, el SVF para 21 de diciembre a las cuatro de la tarde (ver figura 78).

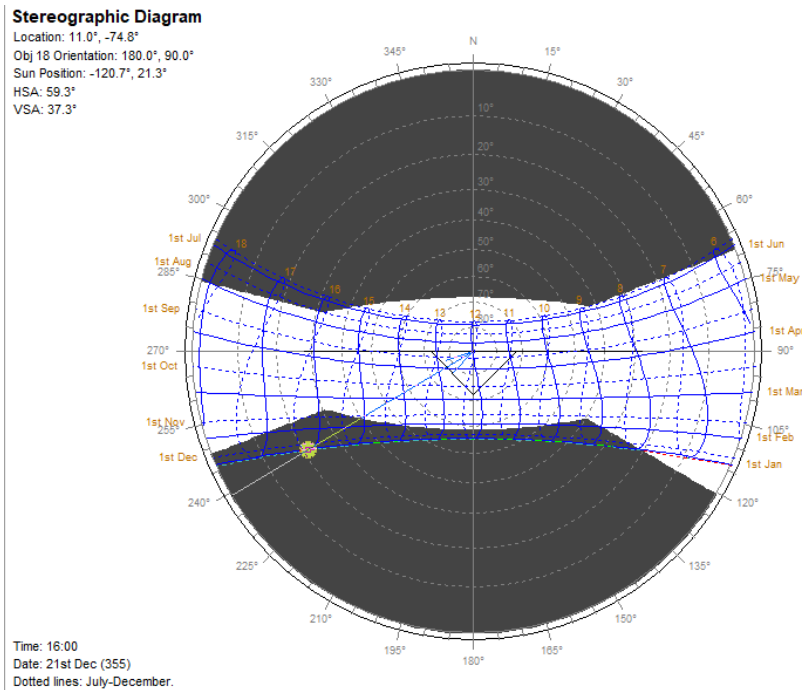


Figura 78. Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (16 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

6.2.3 Espacio urbano con tejido compacto y de gran altura (LCZ 1 Compacto de gran altura) con relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste (NESO):

Para el solsticio de junio (21 de junio), con el LCZ 1 orientación Noreste-Suroeste, las simulaciones virtuales para radiación acumulada permiten identificar que en los elementos del cañón urbano (Fachada noroeste, fachada sureste y elemento suelo), el rango de valores de radiación que se va acumulando, de forma general en los elementos para las diez de la mañana, oscila entre 140 Wh/m² a 5000 Wh/m² (ver figura 79). La fachada sureste acumula en radiación 140 Wh/m², la fachada noroeste entre 140 Wh/m² a 626 Wh/m² y el elemento suelo entre 1598 Wh/m² a 2570 Wh/m². La parte superior de las edificaciones, a 30 metros de altura, acumulan 4514 Wh/m². Para el mediodía y las cuatro de la tarde, los valores identificados son similares o iguales a los que se presentan a las diez de la mañana (ver figura 80).

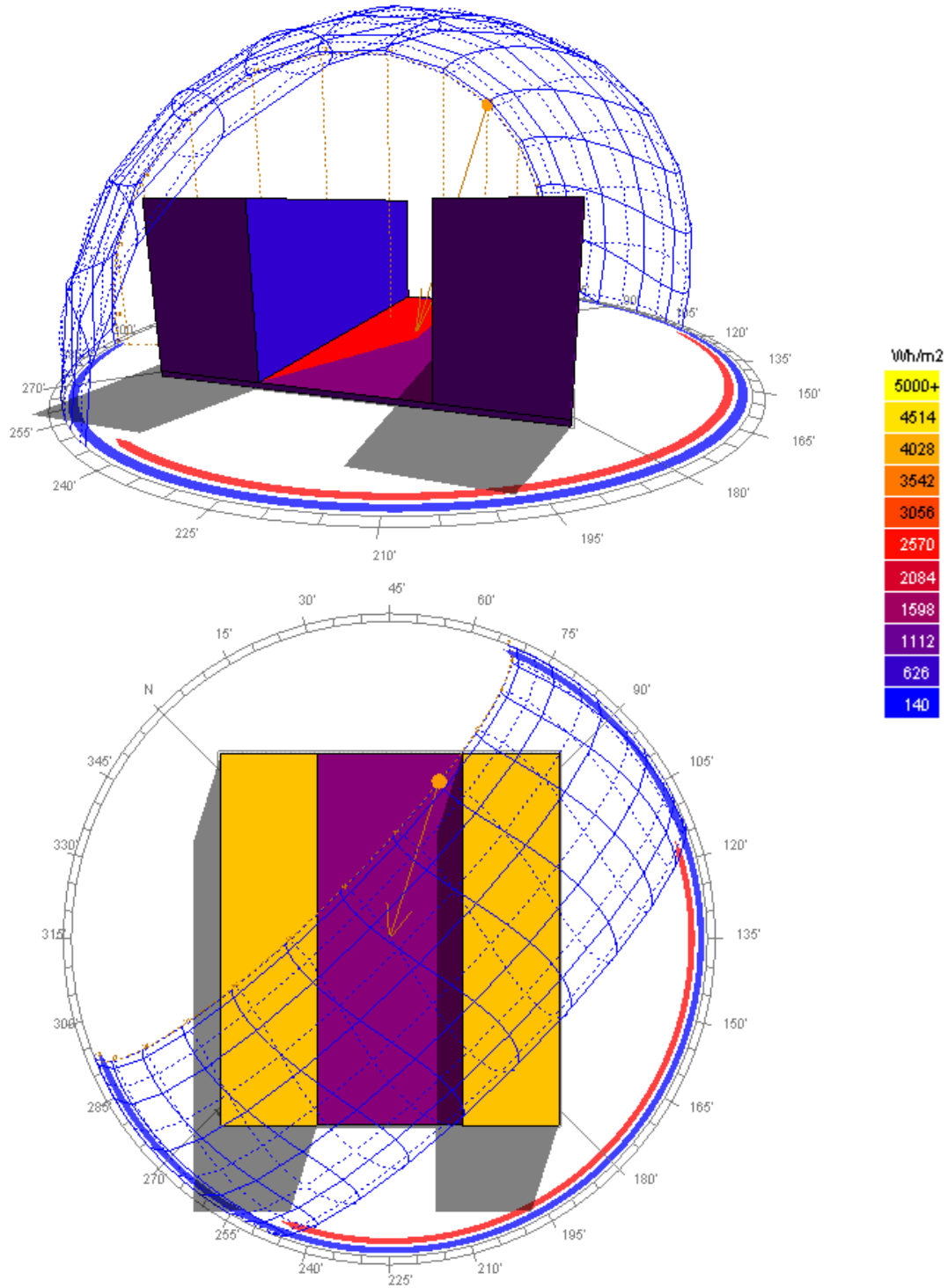


Figura 79. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

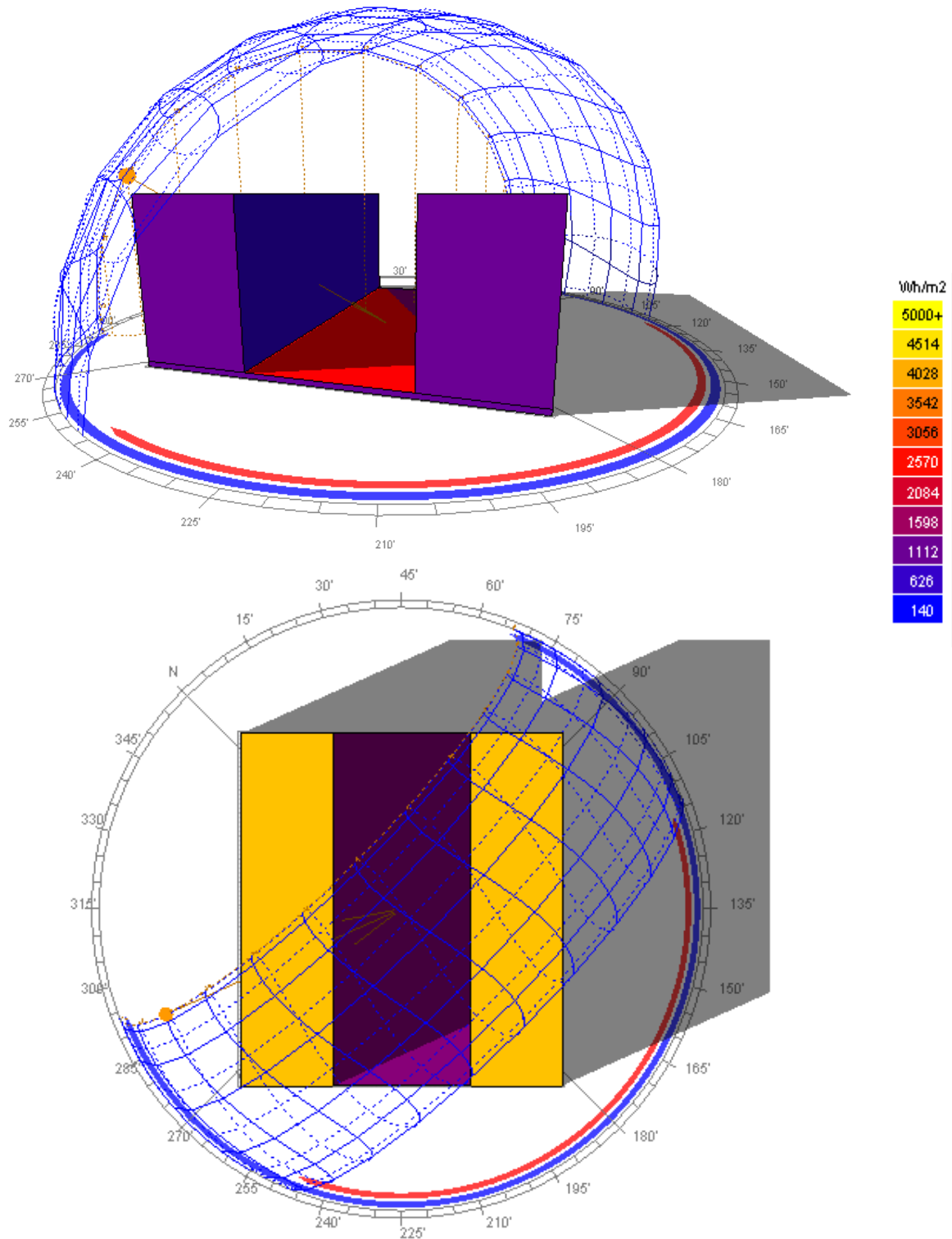


Figura 80. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido

compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

Para el solsticio de diciembre (21 de diciembre), con el LCZ 1 orientación Noreste-Suroeste, el rango de valores de radiación que se va acumulando, de forma general en los elementos para las diez de la mañana, oscila entre 0 Wh/m² a 2000 Wh/m². La fachada sureste acumula en radiación 1600 Wh/m², la fachada noroeste entre 1400 Wh/m² a 1600 Wh/m² y el elemento suelo 600 Wh/m² (ver figura 81-82). La parte superior de las edificaciones, a 30 metros de altura, acumula 1600 Wh/m². Para el mediodía y las cuatro de la tarde, los valores identificados son similares o iguales a los que se presentan a las diez de la mañana (ver figura 83). En este caso, la fachada sureste, con respecto al solsticio de junio, acumula mayor radiación incidente, sucediendo lo contrario con la fachada noroeste y el elemento suelo.

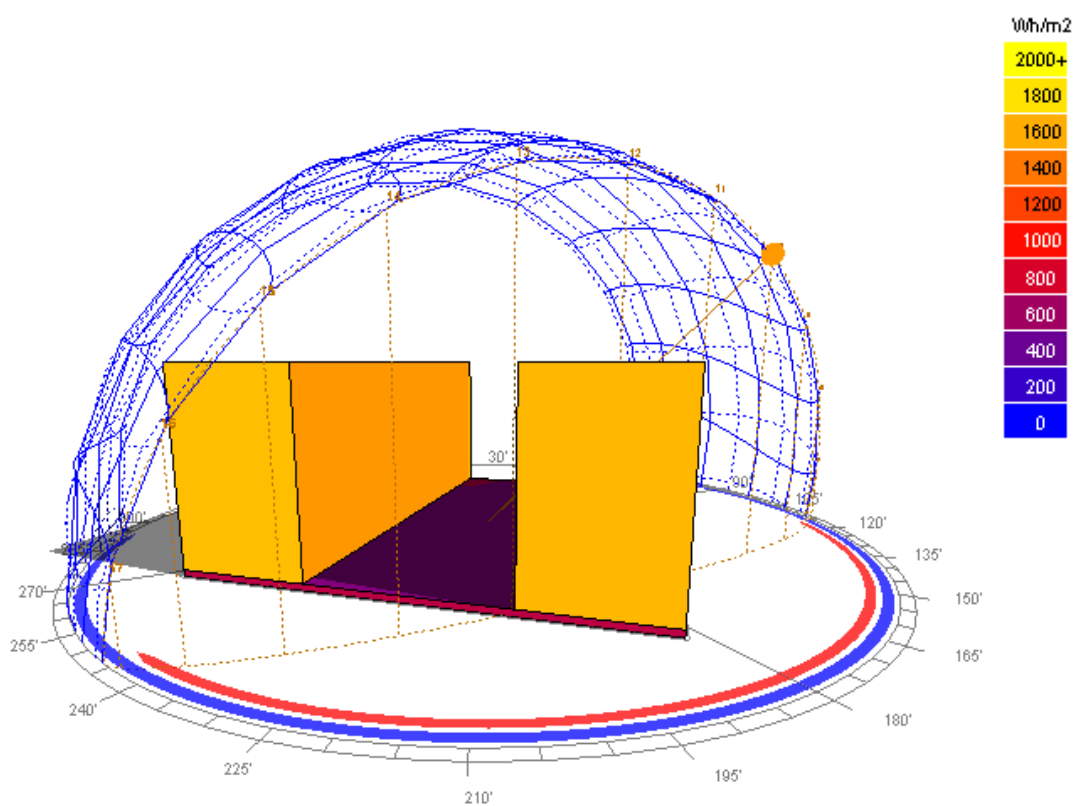


Figura 81. Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

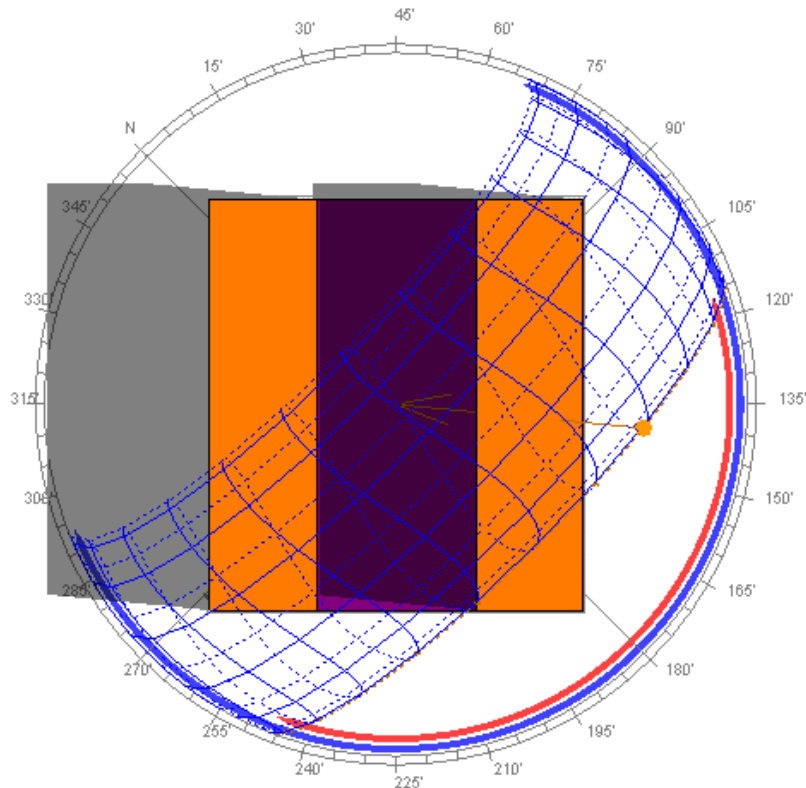


Figura 82. Análisis radiación solar acumulada (vista en planta) 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

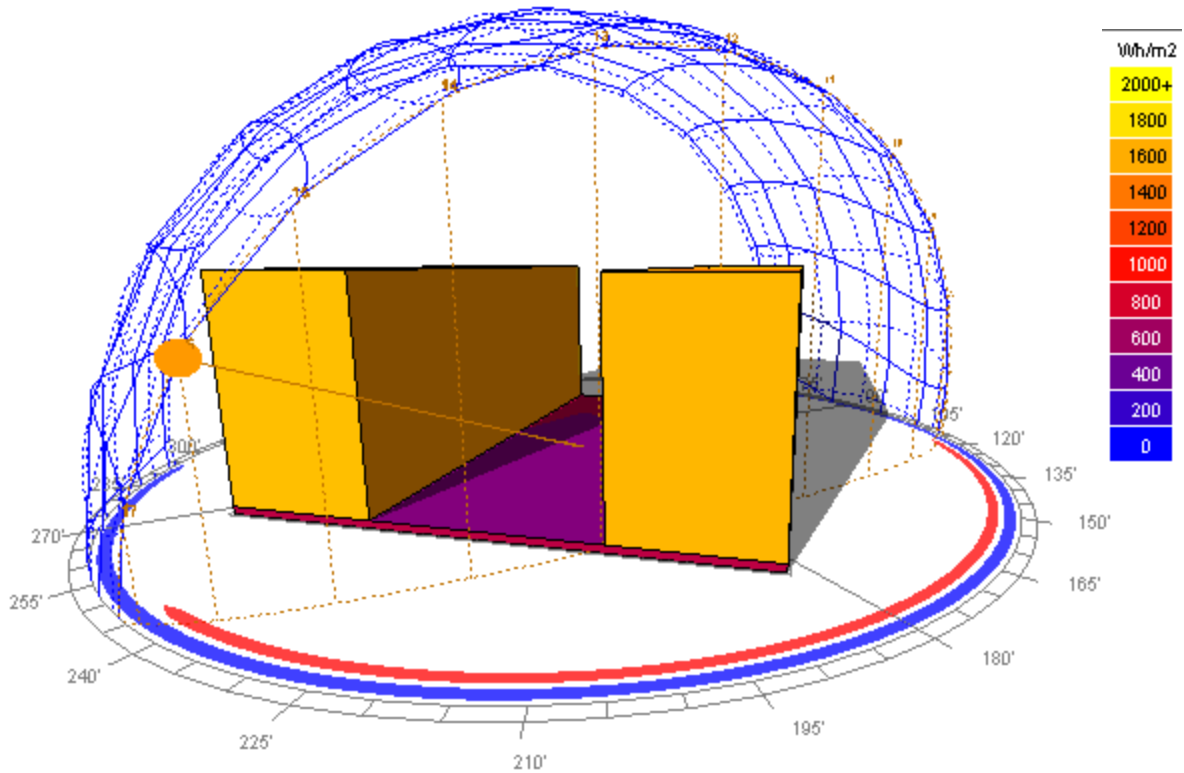


Figura 83. Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

En el caso de las simulaciones de porcentaje de sombras en el modelo LCZ 1, con orientación Noreste-Suroeste, los resultados corresponden a datos solares diarios tabulados por elementos del cañón urbano, es decir, desde la salida hasta la puesta del sol. Para la fachada sureste en el solsticio de junio, el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 56.84 %, desde las seis de la mañana hasta las once de la mañana, los valores presentados no son favorables a para el elemento, mientras que, después de once y media hasta el atardecer los porcentajes presentados son iguales a 100% (ver tabla 23) (ver figura 84).

Tabla 23

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 1 con h/w igual a 1 con orientación Noreste-Suroeste

Análisis comparativo: Sombra incidente (%) LCZ 1- Compacto de gran altura en solsticio de junio			
Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada sureste (%)	Fachada noroeste (%)
06:00	47	10	100
06:30	45	5	100
07:00	45	5	100
07:30	43	1	100
08:00	41	0	100
08:30	41	0	100
09:00	34	0	100
09:30	33	0	100
10:00	32	0	100
10:30	33	0	100
11:00	22	0	100
11:30	5	100	0
12:00	5	100	0
12:30	6	100	0
13:00	18	100	0
13:30	36	100	0
14:00	54	100	0
14:30	52	100	0
15:00	67	100	0

15:30	92	100	12
16:00	92	100	12
16:30	93	100	31
17:00	92	100	49
17:30	92	100	49
18:00	92	100	70

Nota. Elaboración propia

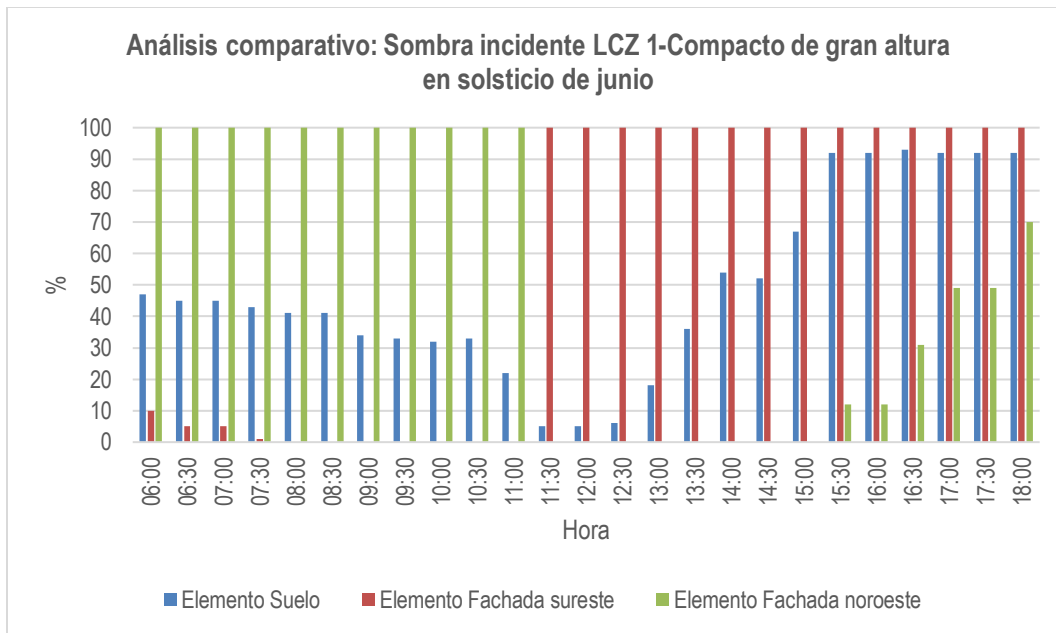


Figura 84. Análisis comparativo de sombra incidente por elementos del cañón urbano para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

En el caso de la fachada noroeste en el solsticio de junio, el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 52.92 %, desde las seis de la mañana hasta las once de la mañana, los valores presentados son favorables para el elemento, mientras que, después de once y media hasta el atardecer los porcentajes presentados son poco satisfactorios. Para el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra sobre este es igual a 48.48 %, presentándose datos regulares a lo largo del día, a excepción, de las tres, cuatro, cinco y seis de la tarde.

En la fachada sureste para el solsticio de diciembre, el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 44.65 %, se presenta una variación en los porcentajes a lo largo del día, después de dos de la tarde los porcentajes son iguales a 100 %. Para la fachada

noroeste y el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es igual a 70.47 % y 37.5 %, respectivamente (ver tabla 24) (ver figura 85).

Tabla 24

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 1 con h/w igual a 1 con orientación Noreste-Suroeste

**Análisis comparativo: Sombra incidente LCZ 1-
Compacto de gran altura en solsticio de diciembre**

Hora	Elemento		
	Suelo	Fachada sureste	Fachada noroeste
06:30	79	45	100
07:00	83	58	100
07:30	83	45	100
08:00	83	31	100
08:30	83	31	100
09:00	71	17	100
09:30	41	0	100
10:00	44	0	100
10:30	44	0	100
11:00	3	0	100
11:30	6	0	100
12:00	5	0	100
12:30	11	0	100
13:00	11	0	100
13:30	16	0	100
14:00	11	100	100
14:30	6	100	0
15:00	6	100	0
15:30	29	100	0
16:00	29	100	0
16:30	32	100	0
17:00	32	100	0
17:30	55	100	21

Nota. Elaboración propia.

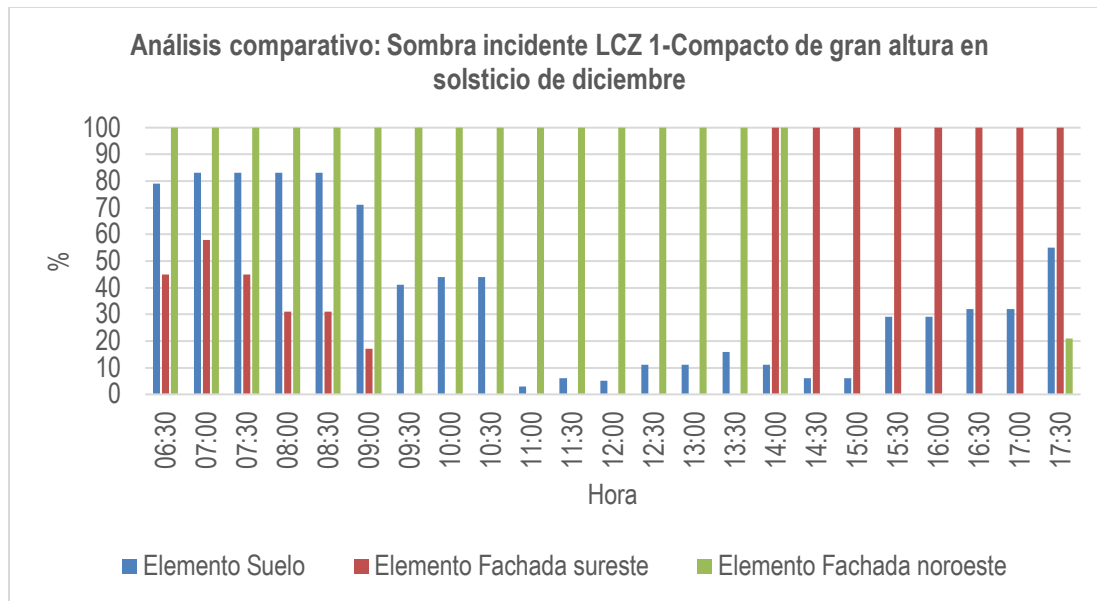


Figura 85. Análisis comparativo de sombra incidente por elementos del cañón urbano para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

En los diagramas estereográficos de elementos de cañón urbano para el 21 de junio, para las diez de la mañana, en la fachada sureste el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 32.2 %, el factor de cielo cubierto es de 32.2 % y el factor de cielo uniforme es de 37.9 %; en la fachada noroeste, el BRE VSC es de 32.1 %, el factor de cielo cubierto es de 32.1 % y el factor de cielo uniforme es de 37.7 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 54.6 % y el factor de cielo uniforme es de 51.8 % (ver figura 86-88).

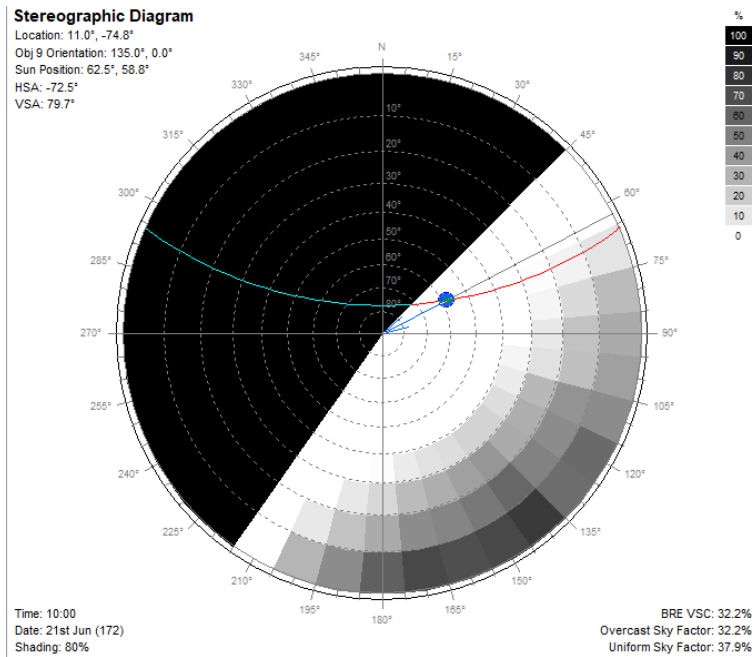


Figura 86. Diagrama estereográfico fachada sureste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

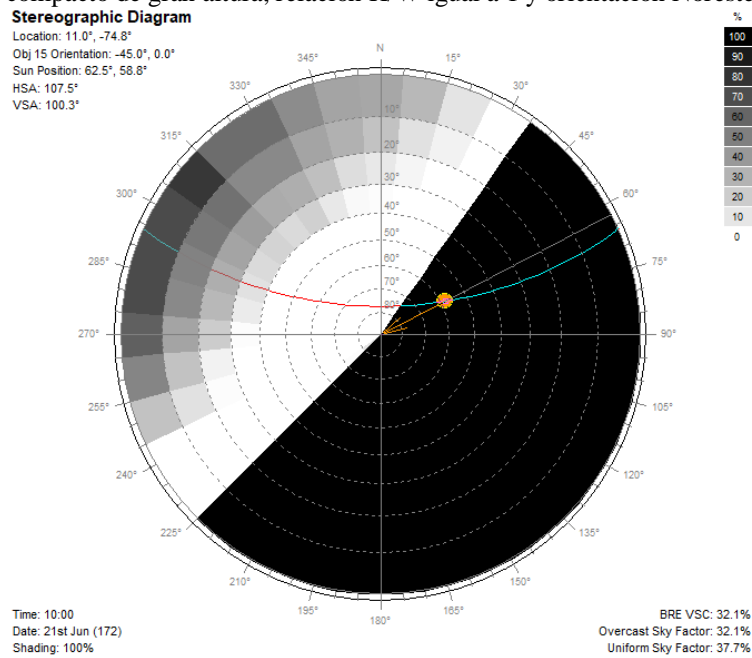


Figura 87. Diagrama estereográfico fachada noroeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

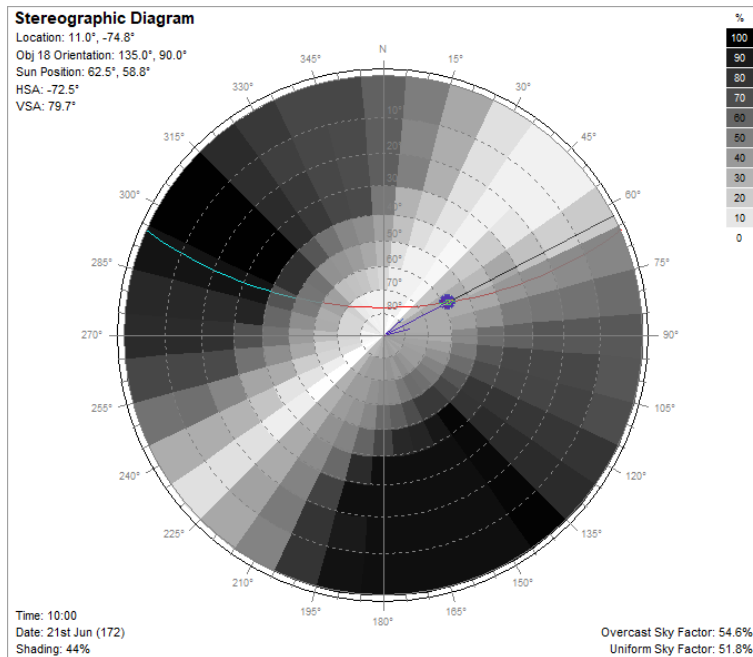


Figura 88. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

En el solsticio de diciembre, para las diez de la mañana, en la fachada sureste el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 32.2 %, el factor de cielo cubierto es de 32.2 % y el factor de cielo uniforme es de 37.9 %; en la fachada noroeste, el BRE VSC es de 34.8 %, el factor de cielo cubierto es de 34.8 % y el factor de cielo uniforme es de 41.4 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 67.9 % y el factor de cielo uniforme es de 63.5 % (ver figura 89-91).

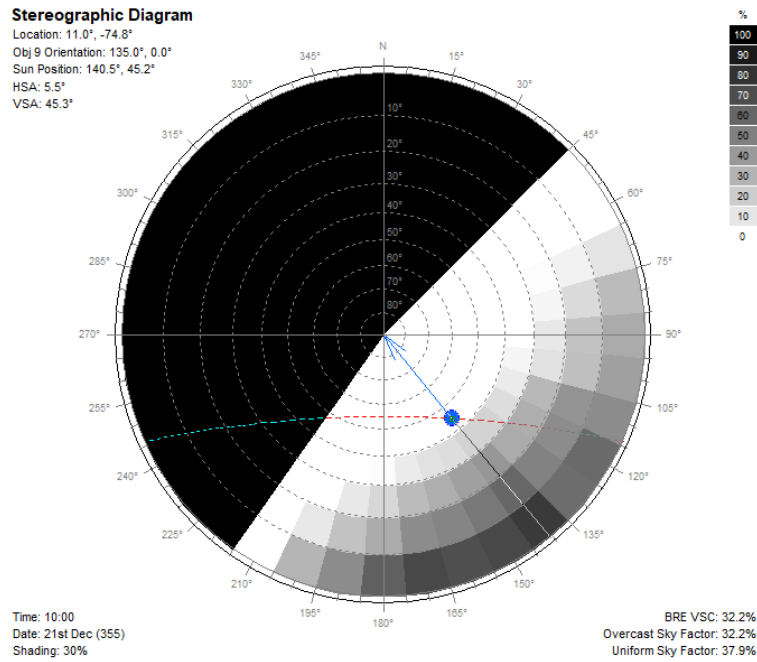


Figura 89. Diagrama estereográfico fachada sureste (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

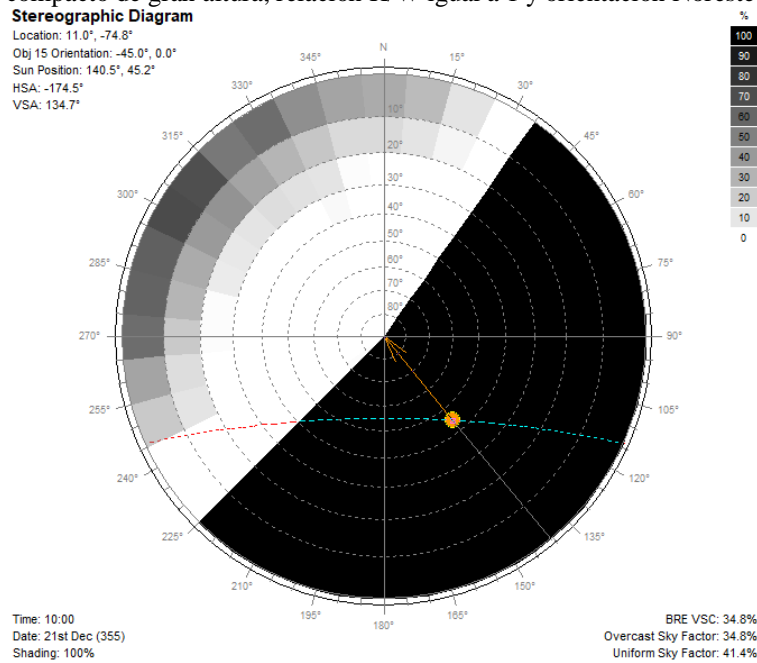


Figura 90. Diagrama estereográfico fachada noroeste (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

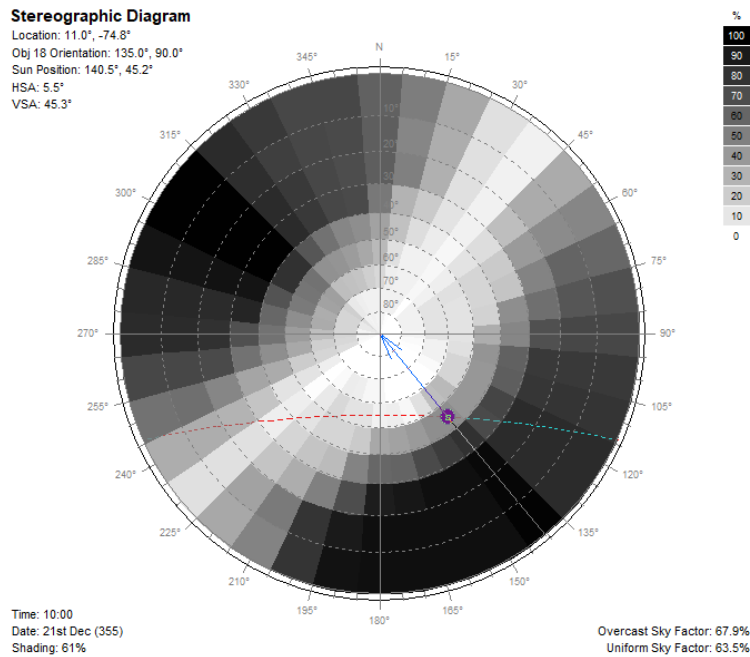


Figura 91. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

Por otra parte, se realizaron las simulaciones de Sky View Factor (SVF) o factor de vista al cielo, para ambas fechas seleccionadas (21 de junio y diciembre), analizando en este caso, el SVF para 21 de diciembre a las cuatro de la tarde (ver figura 92).

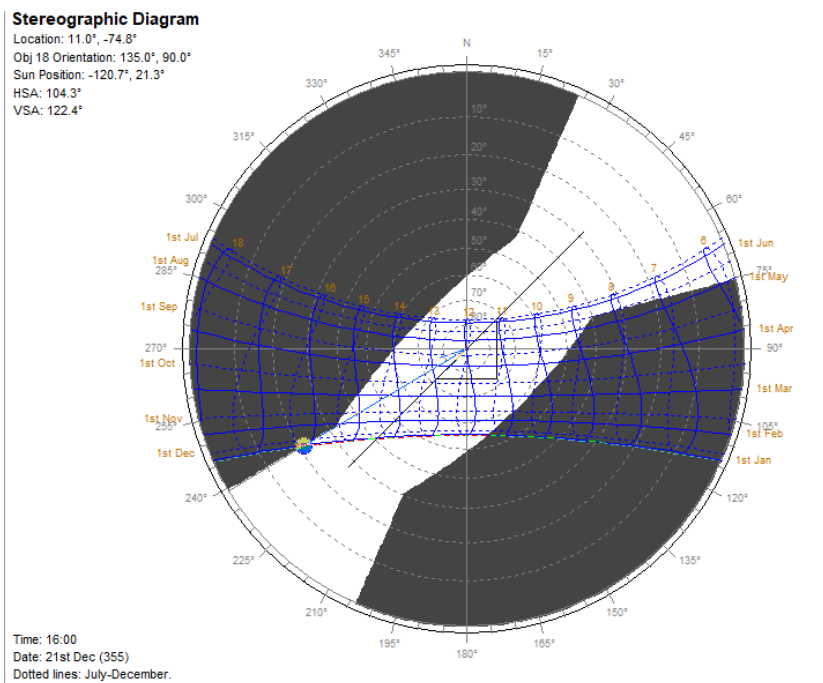


Figura 92. Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (16 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

6.2.4 Espacio urbano con tejido compacto y de gran altura (LCZ 1 Compacto de gran altura) con relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste (NOSE):

Para el solsticio de junio (21 de junio), con el LCZ 1 orientación Noroeste-Sureste, las simulaciones virtuales para radiación acumulada permiten identificar que en los elementos del cañón urbano (Fachada noreste, fachada suroeste y elemento suelo), el rango de valores de radiación que se va acumulando, de forma general en los elementos para las diez de la mañana, oscila entre 140 Wh/m² a 5000 Wh/m². La fachada suroeste acumula en radiación aproximadamente 1598 Wh/m², la fachada noreste 626 Wh/m² y el elemento suelo entre 1598 Wh/m² a 2570 Wh/m² (ver figura 193). La parte superior de las edificaciones, a 30 metros de altura, acumulan 4514 Wh/m². Para el mediodía y las cuatro de la tarde, los valores identificados son similares o iguales a los que se presentan a las diez de la mañana (ver figura 94).

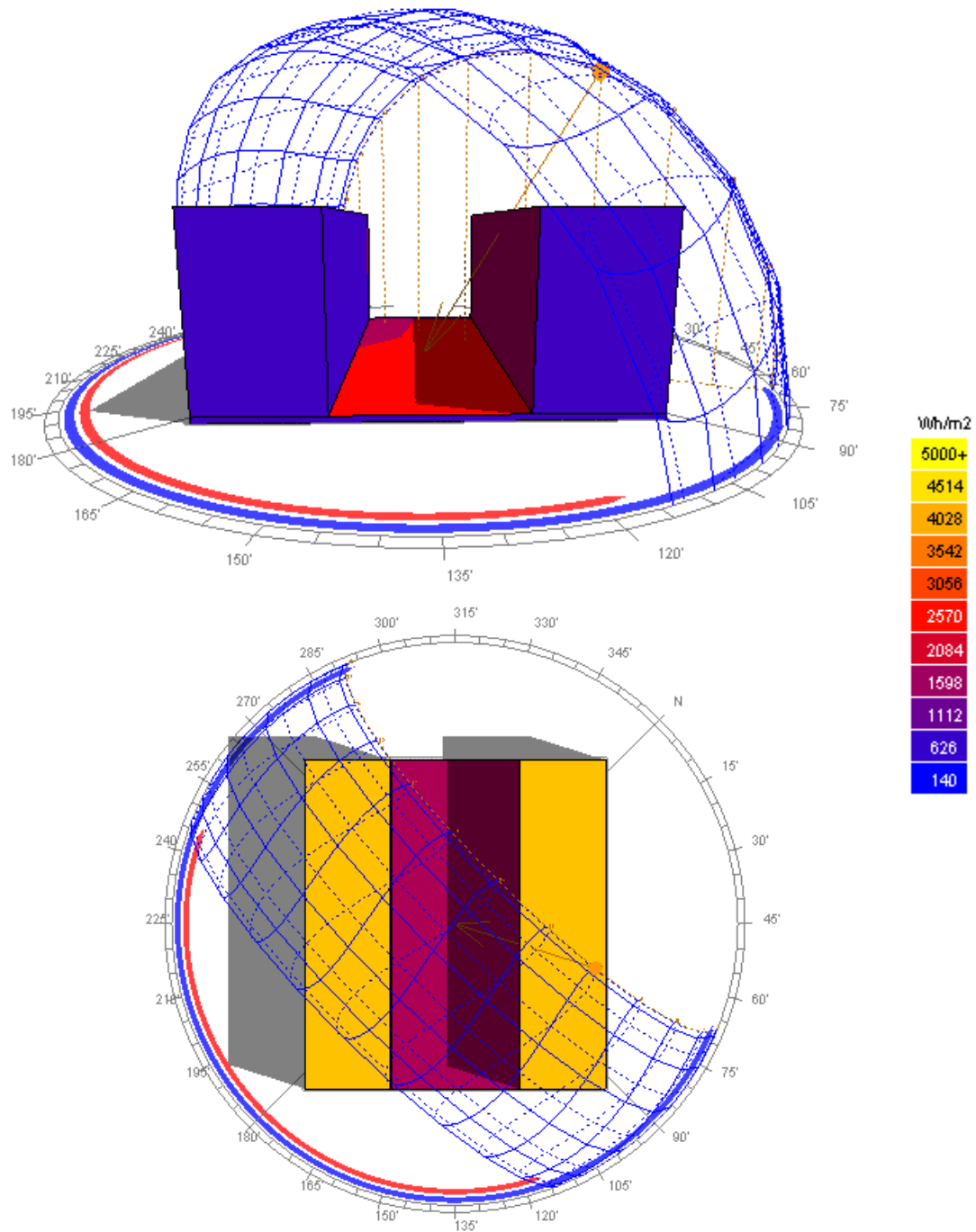


Figura 93. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

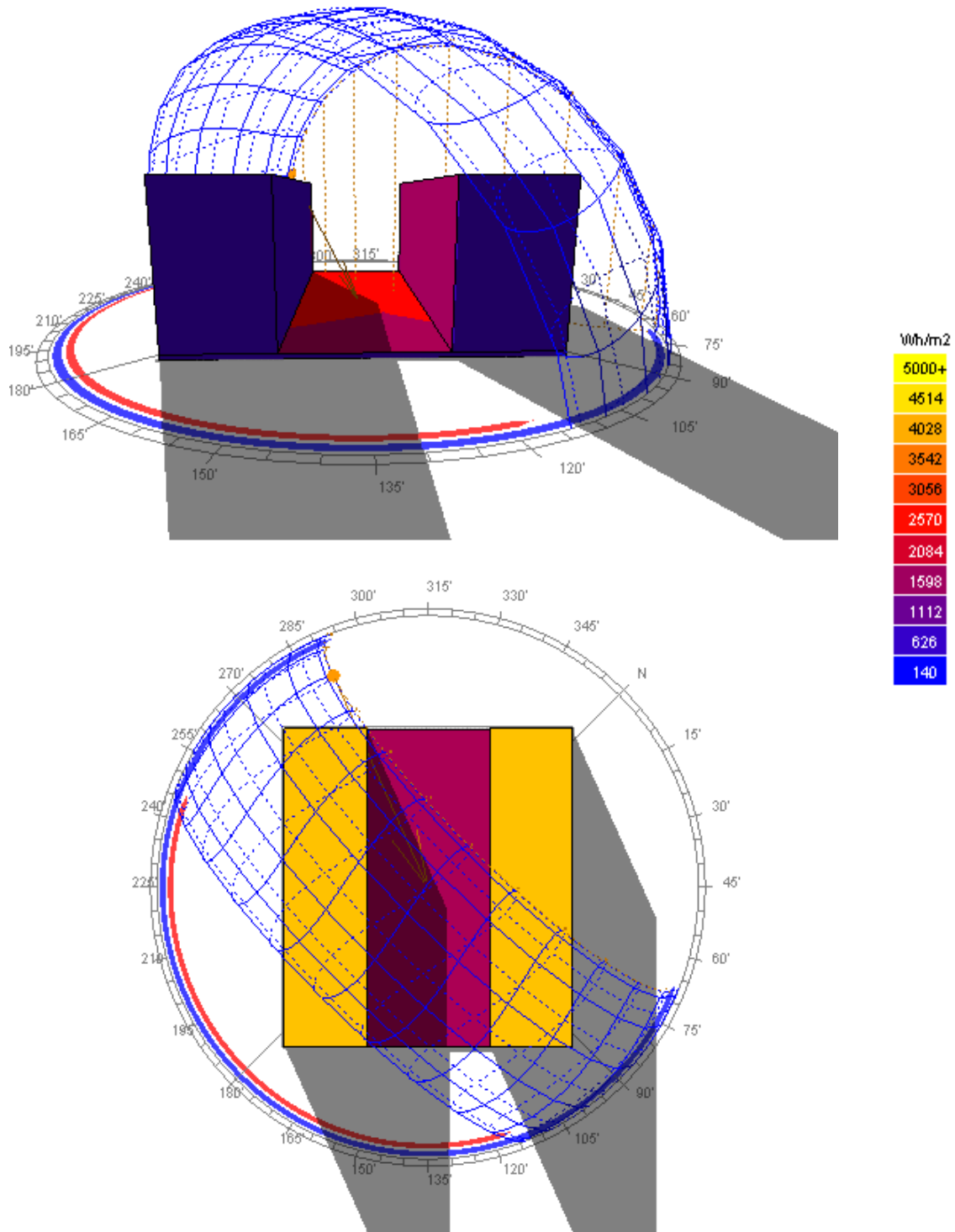


Figura 94. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

En las simulaciones realizadas para el solsticio de diciembre (día 21 del mes), el rango de valores de radiación que se va acumulando, de forma general en los elementos para las diez de la mañana, oscila entre 0 Wh/m² a 2000 Wh/m². La fachada suroeste acumula en radiación aproximadamente 1600 Wh/m², la fachada noreste 1800 Wh/m² y el elemento suelo entre 600 Wh/m² a 800 Wh/m² (ver figura 95-96). La parte superior de las edificaciones, a 30 metros de altura, acumulan 1600 Wh/m². Para el mediodía y las cuatro de la tarde, los valores identificados son similares o iguales a los que se presentan a las diez de la mañana (ver figura 97-98). De igual manera, como se ha observado en las anteriores orientaciones, con este mismo modelo, la radiación incidente sobre los elementos del cañón urbano es menor en el solsticio de diciembre, con respecto, al solsticio de junio.

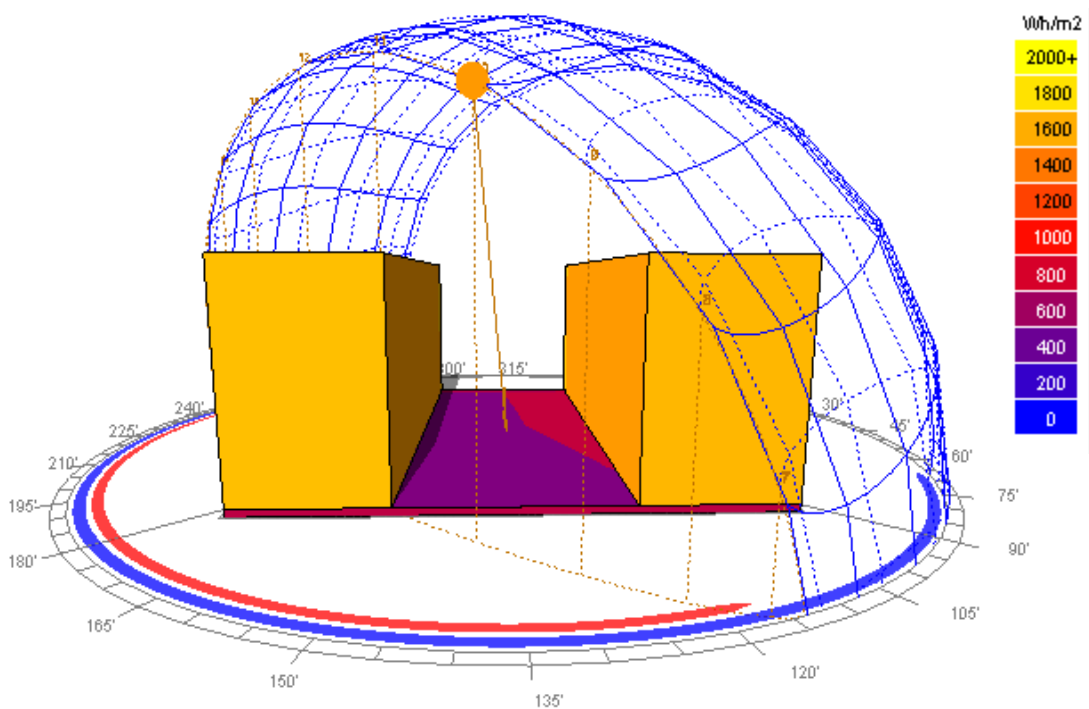


Figura 95. Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

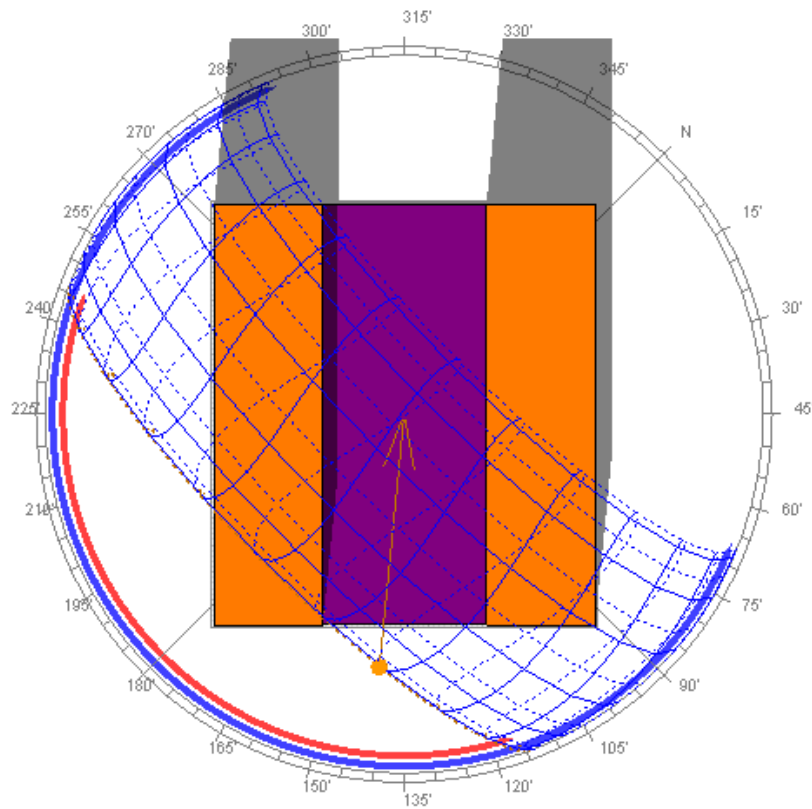


Figura 96. Análisis radiación solar acumulada (vista en planta) 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

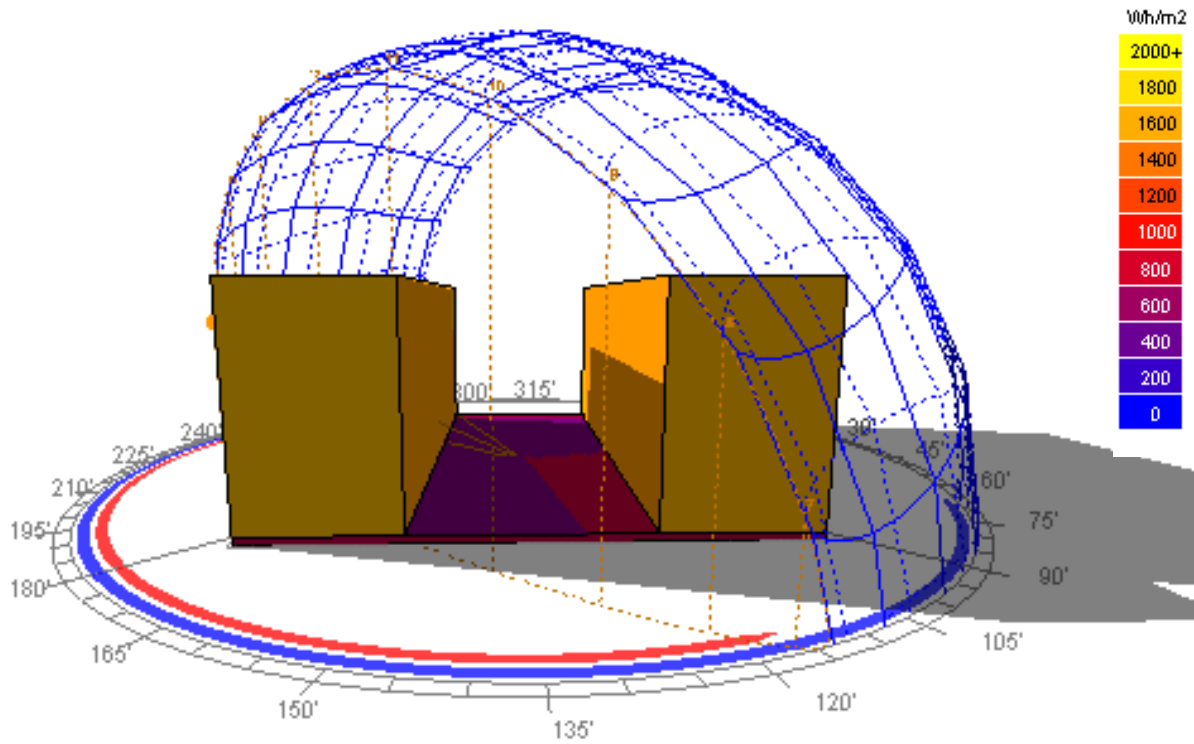


Figura 97. Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

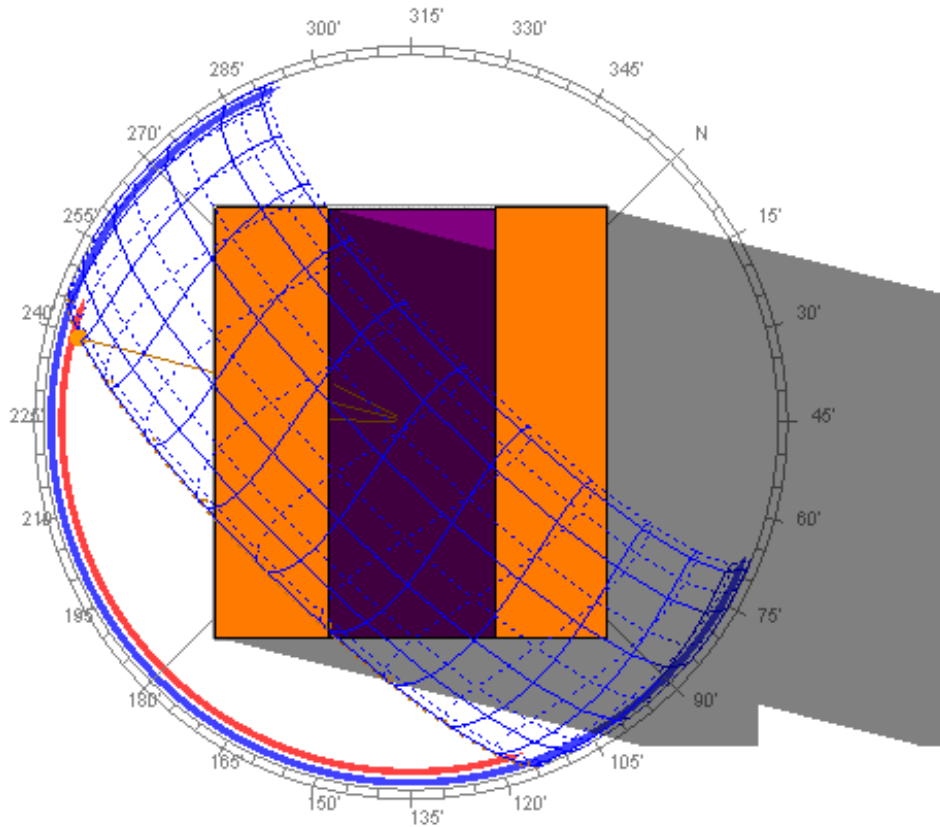


Figura 98. Análisis radiación solar acumulada (vista en planta) 21 de diciembre a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

En el caso de las simulaciones de porcentaje de sombras en el modelo LCZ 1, con orientación Noroeste-Sureste, los resultados corresponden a datos solares diarios tabulados por elementos del cañón urbano, es decir, desde la salida hasta la puesta del sol. Para la fachada noreste en el solsticio de junio, el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 52.84 %, se presenta una variación desfavorable en los porcentajes de sombra en horas de la mañana, no obstante, después de una de la tarde los porcentajes son iguales a 100 %; en la fachada suroeste, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 60.8 %, para este elemento las horas de la mañana son favorables, los porcentajes de sombra son iguales a 100 %, no obstante, después de una y media de la tarde, estos porcentajes descienden desfavorablemente;

en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 48.4 %, de seis a diez de la mañana los porcentajes generados son buenos (ver tabla 25) (ver figura 99).

Tabla 25

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 1 con h/w igual a 1 con orientación Noroeste-Sureste

Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada suroeste (%)	Fachada noreste (%)
06:00	94	100	69
06:30	94	100	49
07:00	94	100	49
07:30	94	100	30
08:00	94	100	12
08:30	94	100	12
09:00	85	100	0
09:30	71	100	0
10:00	77	100	0
10:30	57	100	0
11:00	42	100	0
11:30	38	100	0
12:00	38	100	0
12:30	37	100	0
13:00	1	100	100
13:30	5	0	100
14:00	5	0	100
14:30	5	0	100
15:00	13	0	100
15:30	21	0	100
16:00	21	0	100
16:30	31	0	100
17:00	32	5	100
17:30	32	5	100
18:00	35	10	100

Nota. Elaboración propia

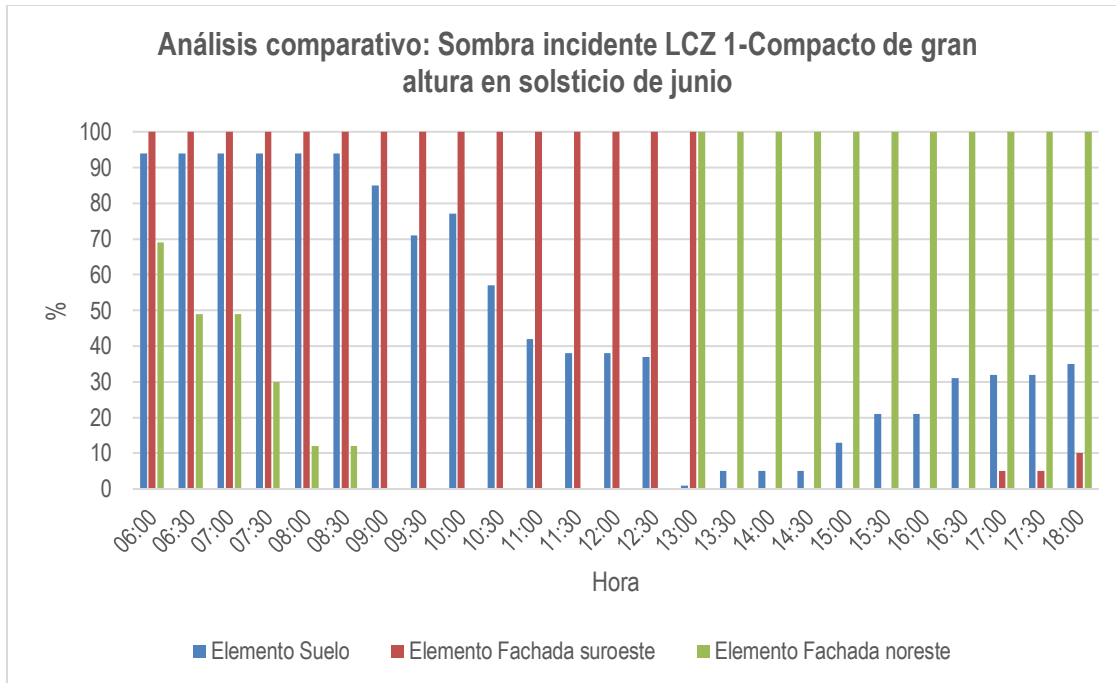


Figura 99. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

Para la fachada noreste en el solsticio de diciembre, el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 79.52 %, se presenta una variación desfavorable en los porcentajes de sombra entre las seis y media hasta las ocho y media de la mañana, no obstante, después de nueve de la mañana los porcentajes son iguales a 100 %; en la fachada suroeste, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 37.08 %, para este elemento entre las seis y media y nueve de la mañana los porcentajes de sombra son iguales a 100 %, no obstante, después de diez de la mañana, estos porcentajes descienden desfavorablemente; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 51.43 %, en horas de la tarde los porcentajes generados son buenos (ver tabla 26) (ver figura 100).

Tabla 26

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 1 con h/w igual a 1 con orientación Noroeste-Sureste

**Análisis comparativo: Sombra incidente (%)
LCZ 1-Compacto de gran altura en solsticio de
diciembre**

Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada suroeste (%)	Fachada noreste (%)
06:30	79	100	29
07:00	48	100	0
07:30	51	100	0
08:00	33	100	0
08:30	33	100	0
09:00	16	100	100
09:30	11	100	100
10:00	6	0	100
10:30	11	0	100
11:00	20	0	100
11:30	34	0	100
12:00	38	0	100
12:30	44	0	100
13:00	52	0	100
13:30	81	0	100
14:00	82	0	100
14:30	83	0	100
15:00	83	0	100
15:30	77	12	100
16:00	77	12	100
16:30	75	29	100
17:00	77	57	100
17:30	72	43	100

Nota. Elaboración propia.

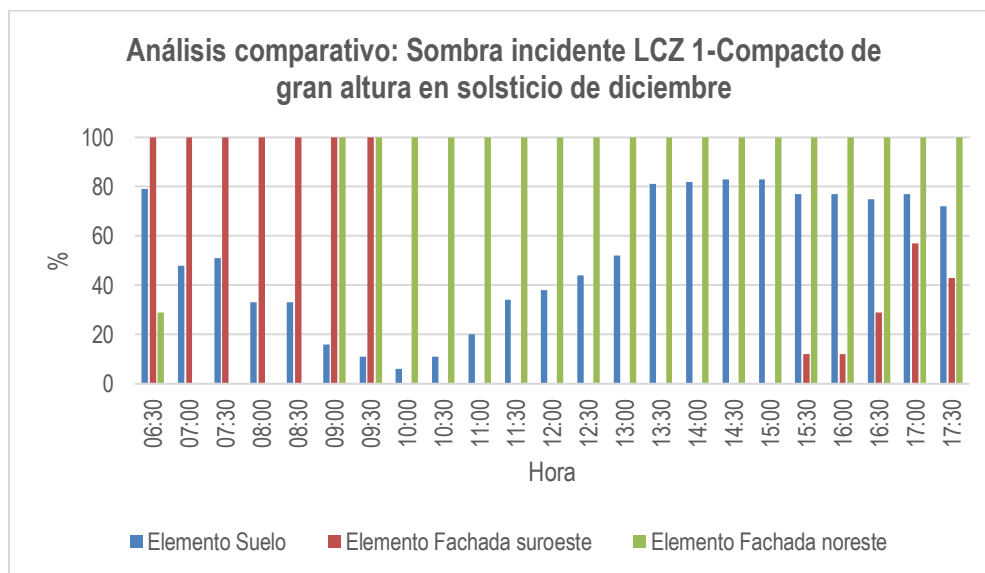


Figura 100. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

En los diagramas estereográficos de elementos de cañón urbano para el 21 de junio, para las diez de la mañana, en la fachada noreste el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 32.2 %, el factor de cielo cubierto es de 32.2 % y el factor de cielo uniforme es de 37.9 %; en la fachada suroeste, el BRE VSC es de 32 %, el factor de cielo cubierto es de 32 % y el factor de cielo uniforme es de 37.7 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 53 % y el factor de cielo uniforme es de 50.1 % (ver figura 101-103).

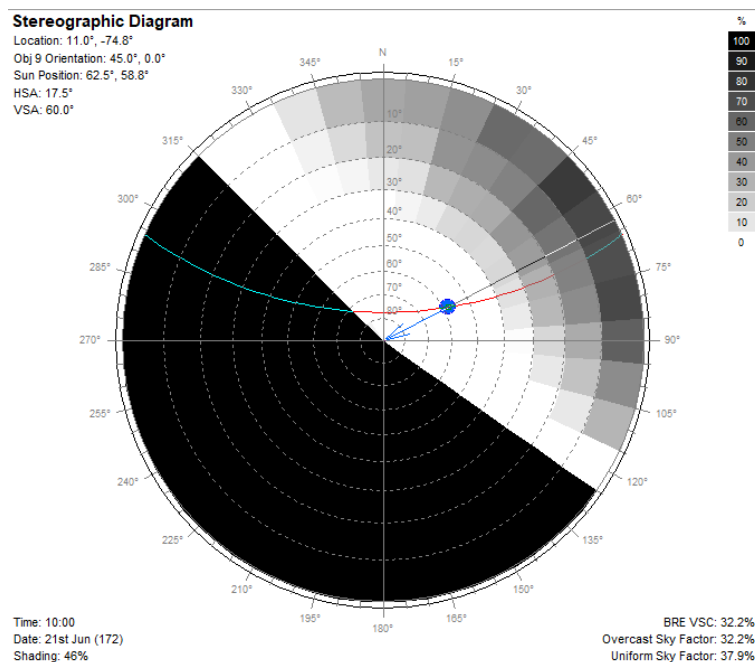


Figura 101. Diagrama estereográfico fachada noreste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

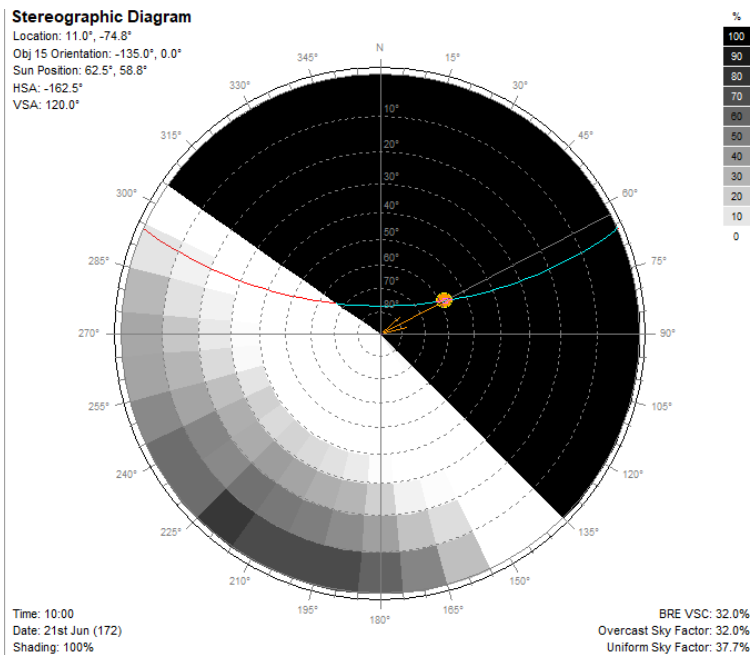


Figura 102. Diagrama estereográfico fachada suroeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

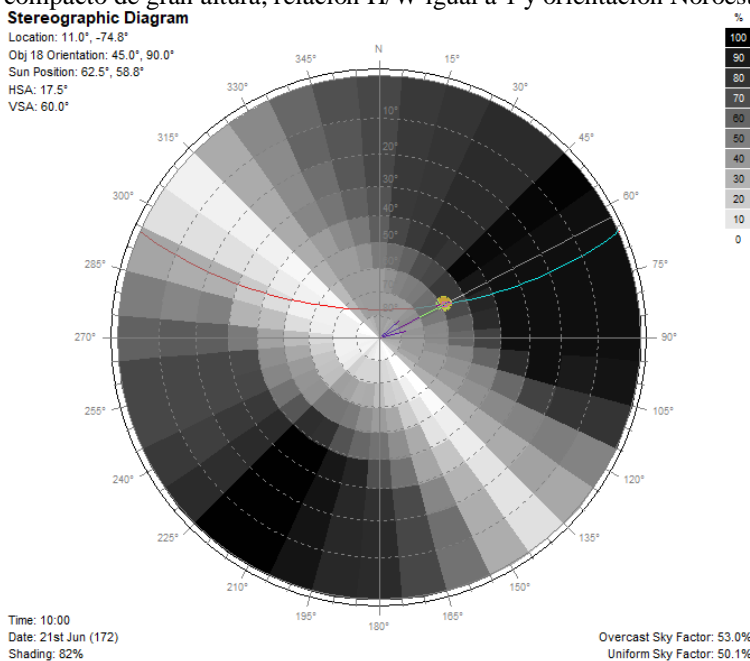


Figura 103. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

Para el solsticio de diciembre, a las diez de la mañana, en la fachada noreste el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 32.2 %, el factor de cielo cubierto es de 32.2 % y el factor de cielo uniforme es de 37.9 %; en la fachada suroeste, el BRE VSC es de 34.7 %, el factor de cielo

cubierto es de 34.7 % y el factor de cielo uniforme es de 41.3 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 67.9 % y el factor de cielo uniforme es de 63.5 % (ver figura 104-106).

De igual manera, se presenta un gráfico de Sky View Factor o factor de vista al cielo del modelo en el solsticio de diciembre para las cuatro de la tarde (ver figura 107).

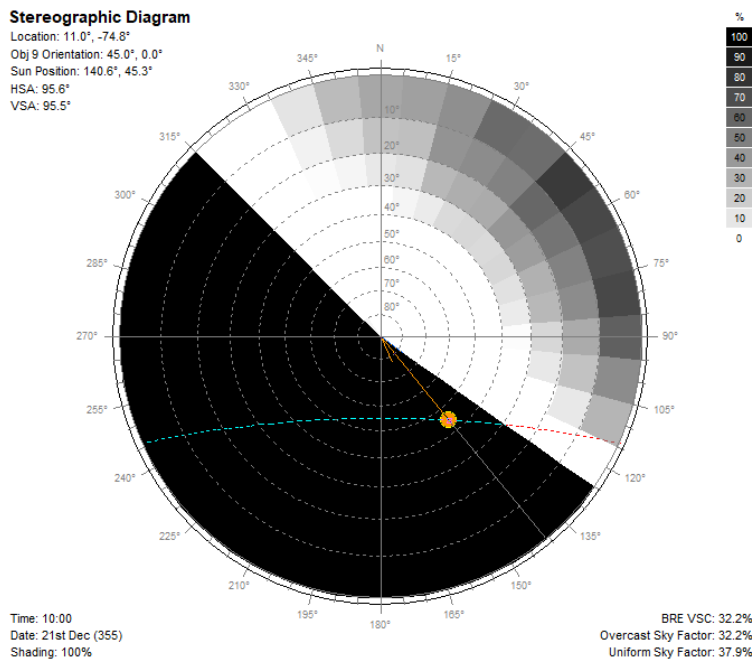


Figura 104. Diagrama estereográfico fachada noreste (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

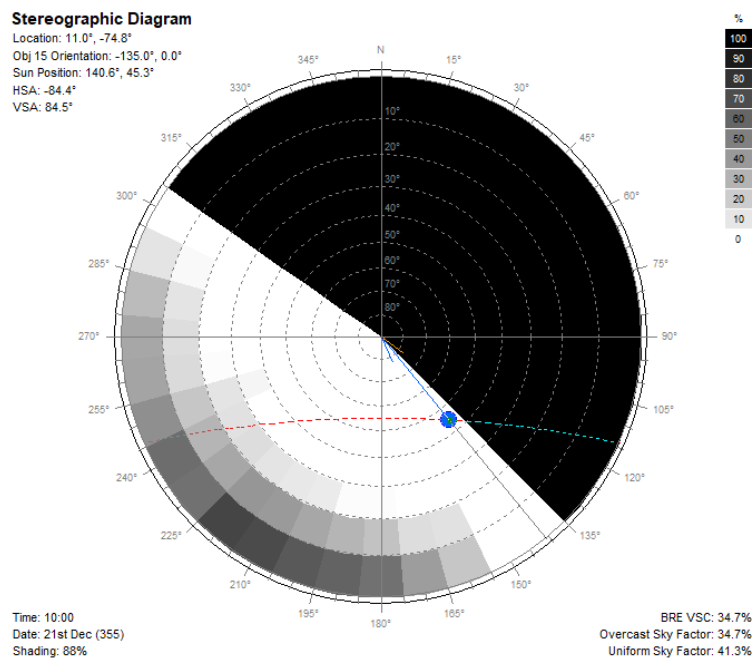


Figura 105. Diagrama estereográfico fachada suroeste (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

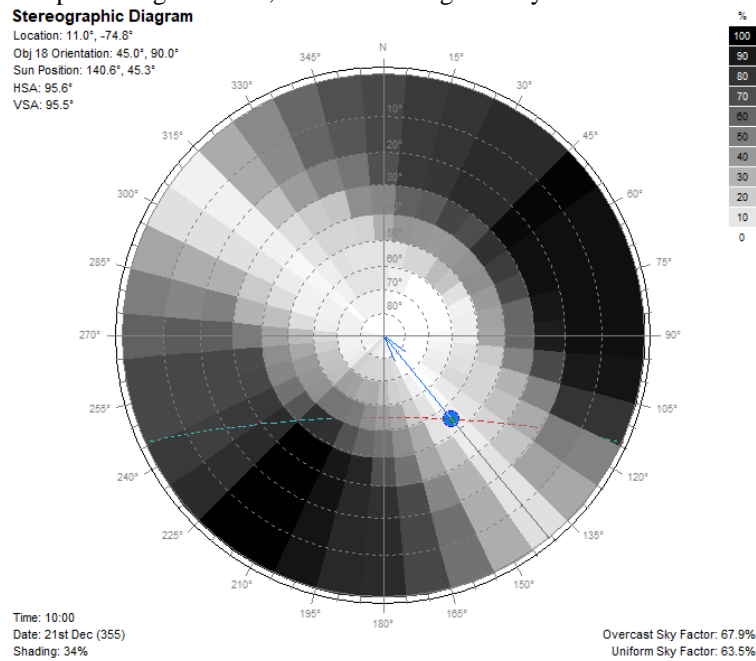


Figura 106. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

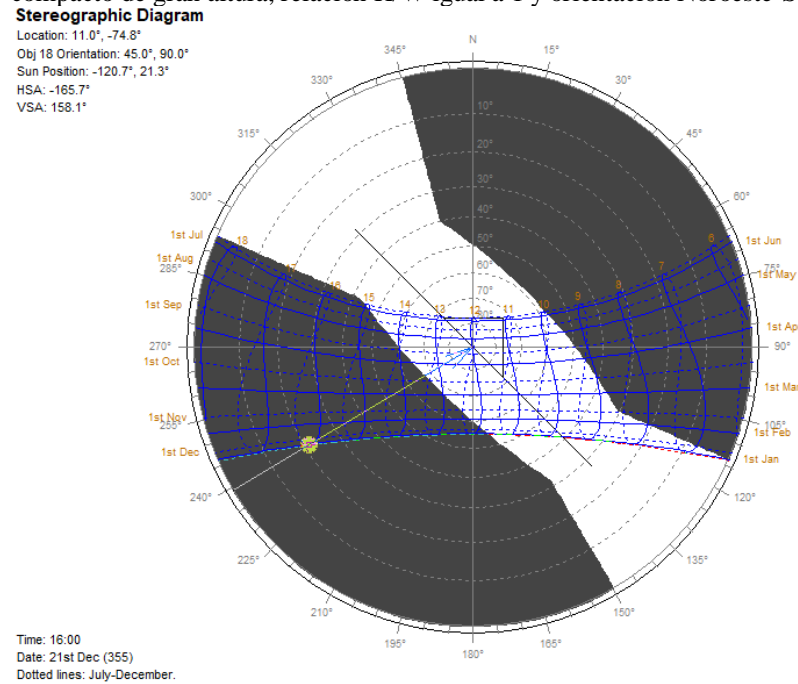


Figura 107. Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (16 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

6.2.5 Espacio urbano con tejido compacto y de baja altura (LCZ 3 Compacto de baja altura) con relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur (NS):

Para el espacio urbano con tejido compacto y de baja altura (LCZ 3) con relación H/W igual 0.75, en el solsticio de junio (21 de junio), con el LCZ 3 orientación Norte-Sur, el rango de valores de radiación que se va acumulando, de forma general en los elementos para las diez de la mañana, oscila entre 140 Wh/m² a 5000 Wh/m². La fachada este acumula en radiación 626 Wh/m², la fachada oeste entre 626 Wh/m² a 1112 Wh/m², y el elemento suelo 1598 Wh/m² (ver figura 108). Se observa que, la parte superior de las edificaciones, a 9 metros de altura, se acumula más radiación solar, exactamente 4514 Wh/m². Estos mismos valores se presentan a medio día y a las cuatro de la tarde (ver figura 109).

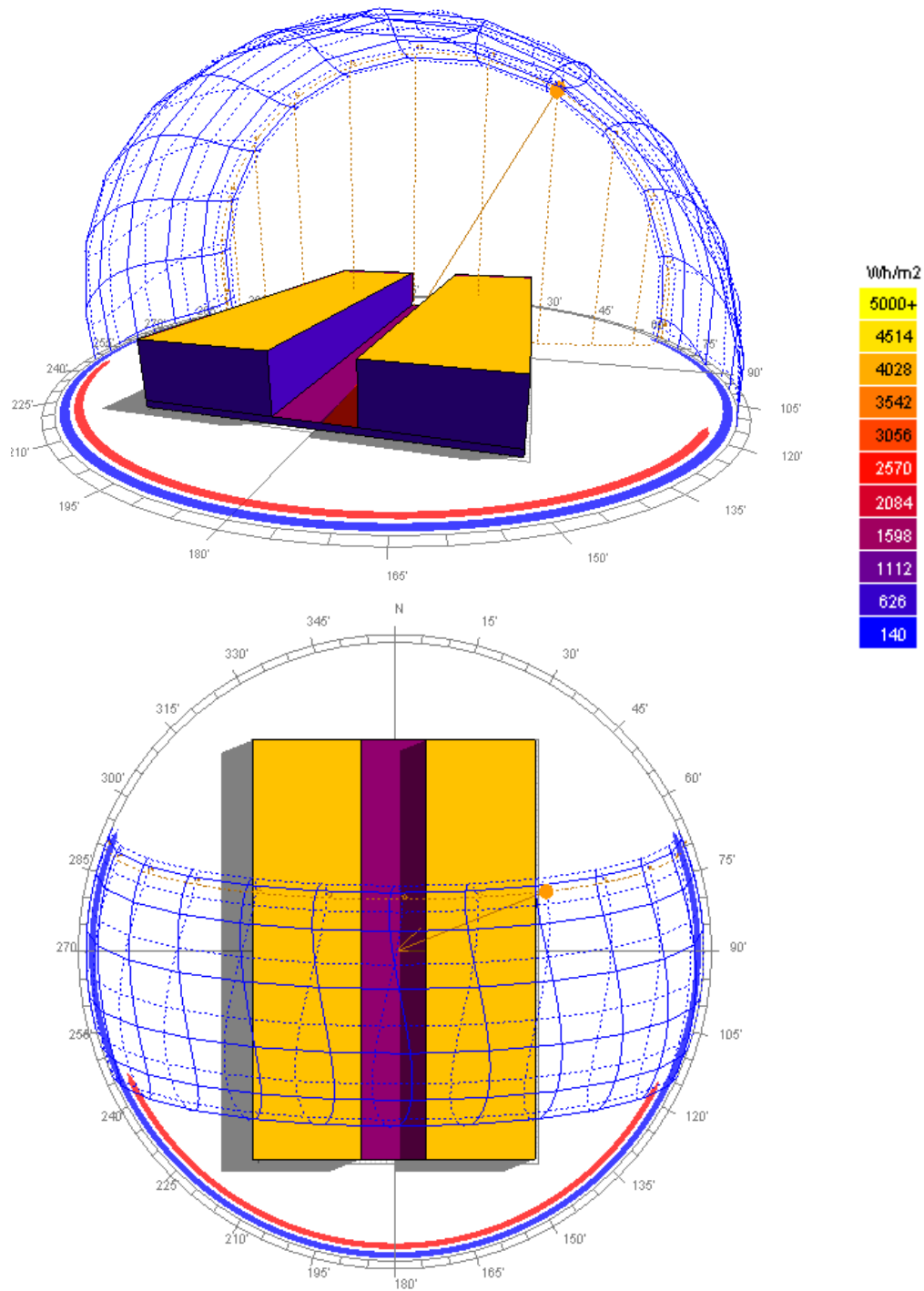


Figura 108. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

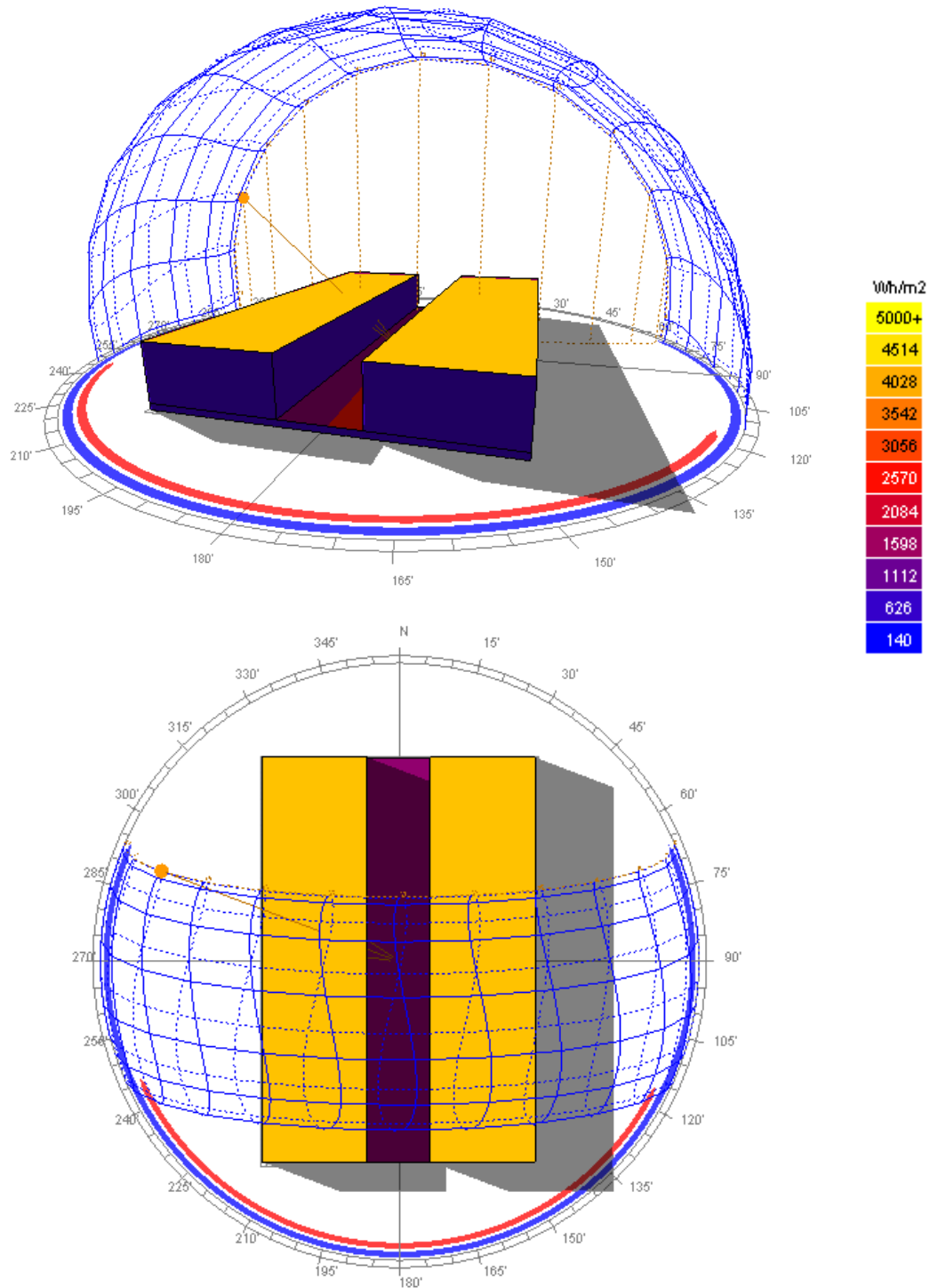


Figura 109. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

Para el 21 de diciembre, el rango de valores de radiación que se va acumulando, de forma general en los elementos para las diez de la mañana, oscila entre 0 Wh/m² a 2000 Wh/m². La fachada este acumula en radiación 600 Wh/m², la fachada oeste entre 600 Wh/m² a 800 Wh/m², y el elemento suelo 400 Wh/m² (ver figura 110). Se observa que, la parte superior de las edificaciones, a 9 metros de altura, se acumula más radiación solar, entre 1400 Wh/m² a 1600 Wh/m². Estos mismos valores de radiación incidente en los elementos del cañón urbano del modelo simulado se presentan a medio día y a las cuatro de la tarde (ver figura 111-112). Es decir, que en espacios urbanos orientados de Norte-Sur cuya altura de las edificaciones no son mayores a 9 metros, la radiación incidente en los elementos del cañón urbano, no varían a lo largo de las horas de sol.

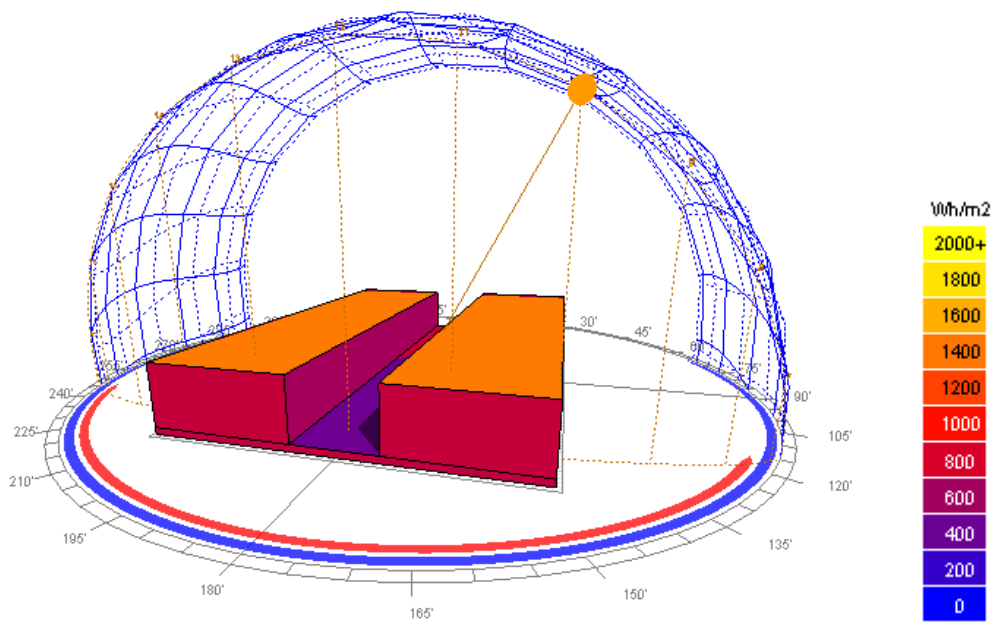


Figura 110. Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

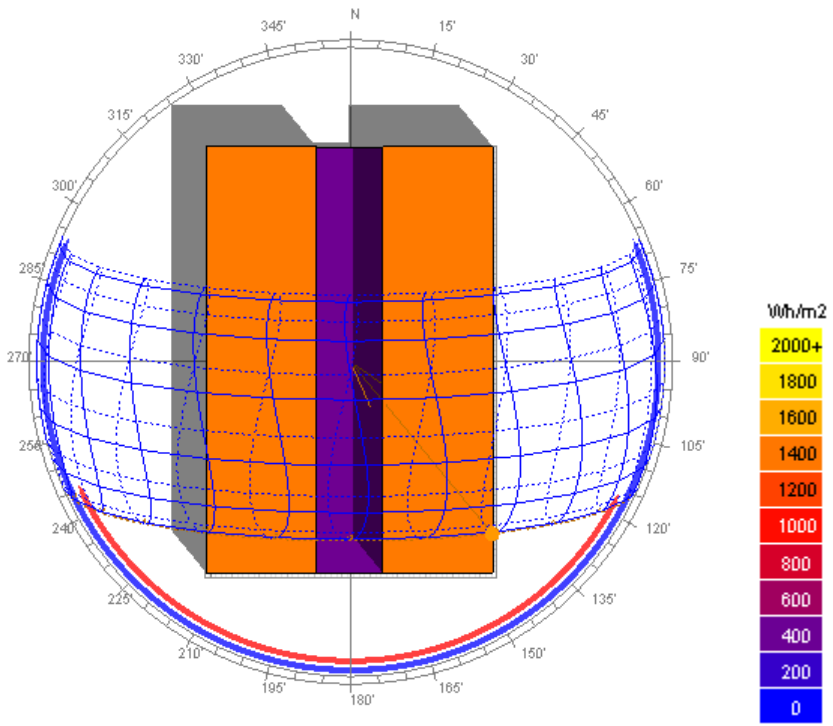


Figura 111. Análisis radiación solar acumulada (vista en planta) 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

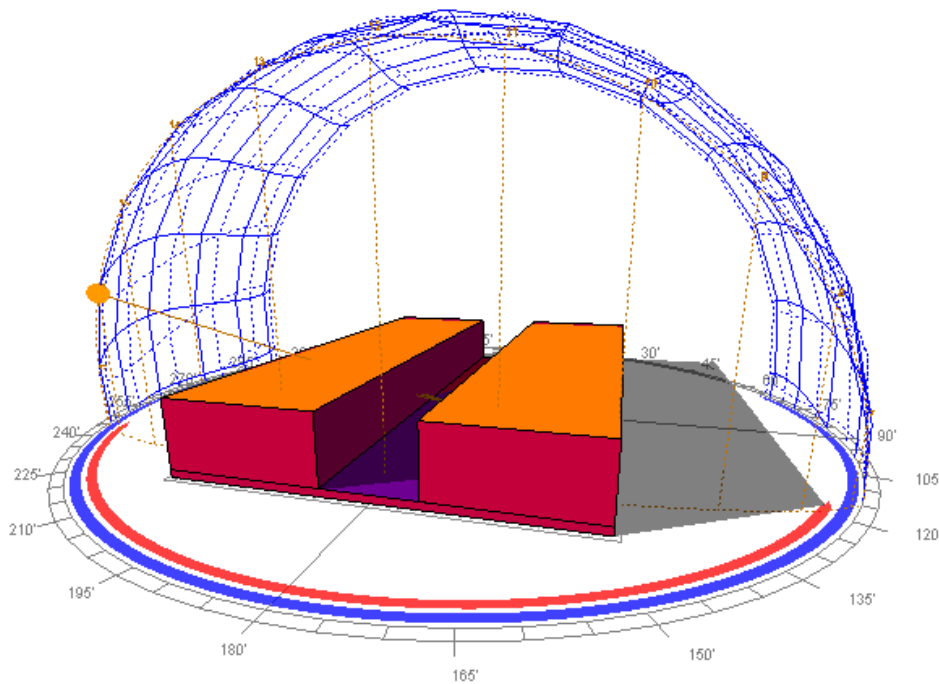


Figura 112. Análisis radiación solar acumulada (vista en planta) 21 de diciembre a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

En el caso de las simulaciones de porcentaje de sombras en el modelo LCZ 3, con orientación Norte-Sur, en el solsticio de junio, para la fachada este el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 51 %, se presenta porcentajes de sombras favorables en horas de la tarde; en la fachada oeste, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 53 %, para este elemento las horas de la mañana hasta medio día son favorables; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 55 %, entre once de la mañana y cuatro de la tarde los porcentajes de sombras son inferiores a 50 % (ver tabla 27) (ver figura 113).

Tabla 27

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 3 con h/w igual a 0.75 con orientación Norte-Sur

Análisis comparativo: Sombra incidente (%)			
LCZ 3-Compacto de baja altura en solsticio de junio			
Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada este (%)	Fachada oeste (%)
06:00	83	28	100
06:30	83	28	100
07:00	83	28	100
07:30	83	0	100
08:00	78	0	100
08:30	78	0	100
09:00	66	0	100
09:30	66	0	100
10:00	66	0	100
10:30	64	0	100
11:00	49	0	100
11:30	49	0	100
12:00	49	0	100
12:30	6	100	0
13:00	8	100	0
13:30	16	100	0
14:00	16	100	0

14:30	16	100	0
15:00	16	100	0
15:30	46	100	0
16:00	46	100	0
16:30	74	100	0
17:00	74	100	0
17:30	74	100	0
18:00	74	100	28

Nota. Elaboración propia.

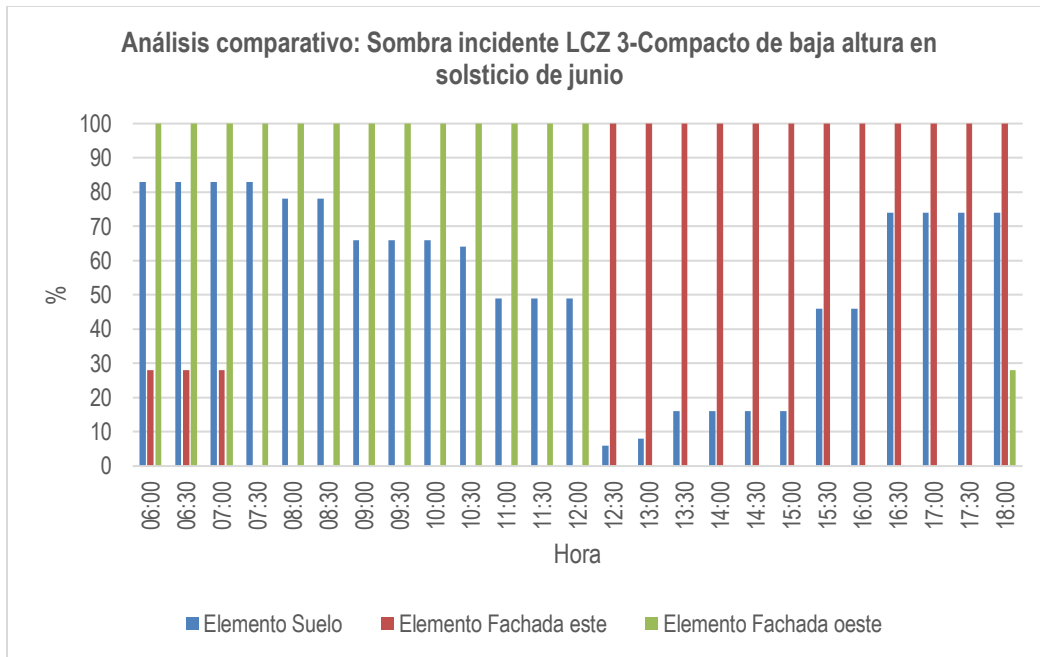


Figura 113. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

En el solsticio de diciembre, para la fachada este el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 56 %, se presenta porcentajes de sombras favorables en horas de la tarde; en la fachada oeste, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 50 %, para este elemento las horas de la mañana son favorables; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 40 %, entre ocho de la mañana y tres de la tarde los porcentajes de sombras son inferiores a 43 % (ver tabla 28) (ver figura 114).

Tabla 28 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 3 con h/w igual a 0.75 con orientación Norte-Sur

**Análisis comparativo: Sombra incidente
(%) LCZ 3-Compacto de baja altura en
solsticio de diciembre**

Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada este (%)	Fachada oeste (%)
06:30	91	28	100
07:00	91	28	100
07:30	79	28	100
08:00	5	0	100
08:30	5	0	100
09:00	0	0	100
09:30	0	0	100
10:00	0	0	100
10:30	0	0	100
11:00	0	0	100
11:30	0	0	100
12:00	1	100	0
12:30	8	100	0
13:00	25	100	0
13:30	25	100	0
14:00	25	100	0
14:30	33	100	0
15:00	43	100	0
15:30	99	100	0
16:00	99	100	0
16:30	99	100	0
17:00	99	100	25
17:30	99	100	25

Nota. Elaboración propia.

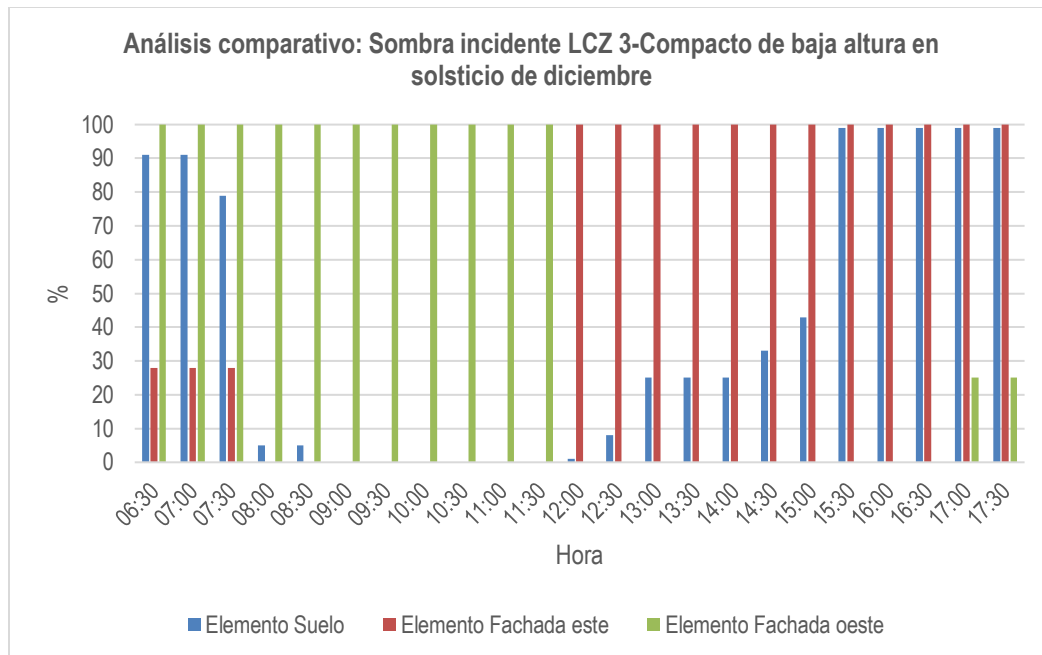


Figura 114. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

En los diagramas estereográficos de elementos de cañón urbano para el 21 de junio, a las diez de la mañana, en la fachada este el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 36.2 %, el factor de cielo cubierto es de 36.2 % y el factor de cielo uniforme es de 44.2 %; en la fachada oeste, el BRE VSC es de 38.2 %, el factor de cielo cubierto es de 38.2 % y el factor de cielo uniforme es de 47.3 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 52.9 % y el factor de cielo uniforme es de 49.9 % (ver figura 115-117). Para el 21 de diciembre, a las diez de la mañana, en la fachada este el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 36.2 %, el factor de cielo cubierto es de 36.2 % y el factor de cielo uniforme es de 44.2 %; en la fachada oeste, el BRE VSC es de 38.2 %, el factor de cielo cubierto es de 38.2 % y el factor de cielo uniforme es de 47.3 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 52.9 % y el factor de cielo uniforme es de 49.9 % (ver figura 118-120). Además, se presenta un gráfico de factor de vista al cielo (SVF) del modelo analizado, para la fecha 21 de diciembre a las diez de la mañana (ver figura 121).

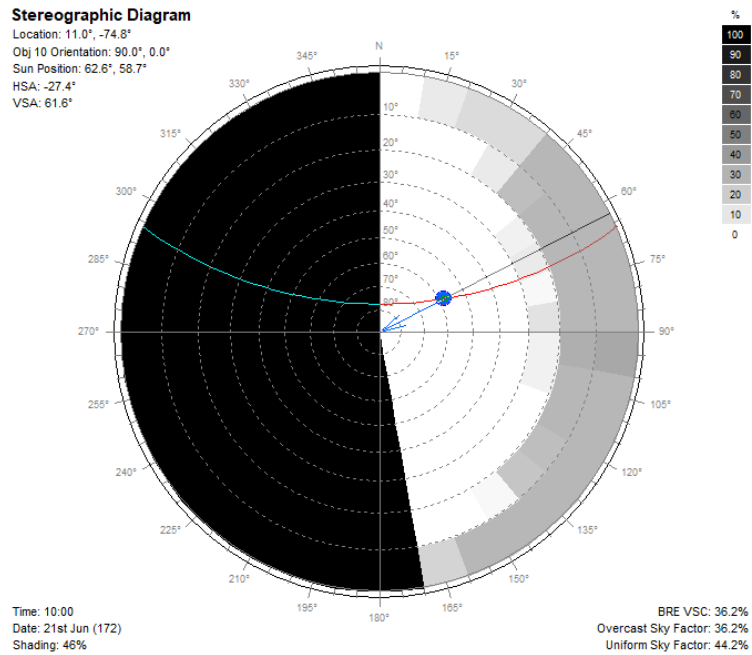


Figura 115. Diagrama estereográfico fachada este (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

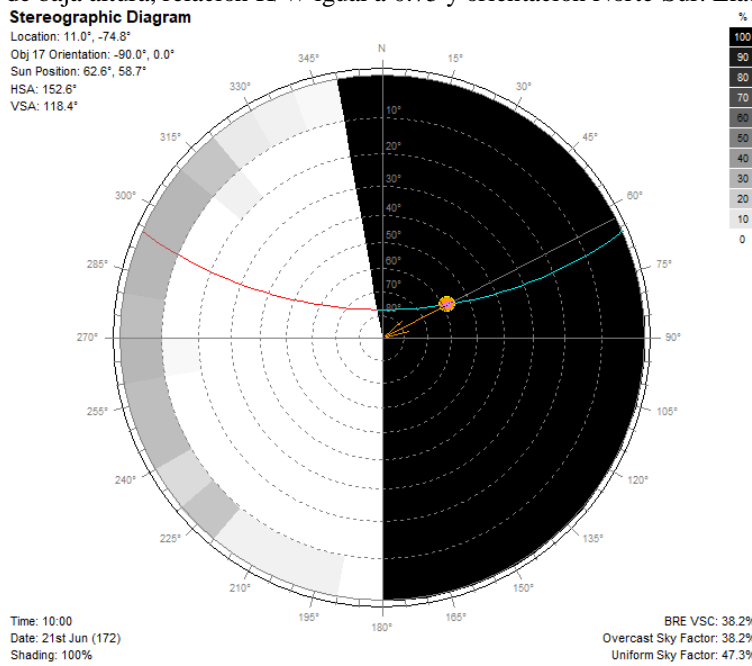


Figura 116. Diagrama estereográfico fachada oeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

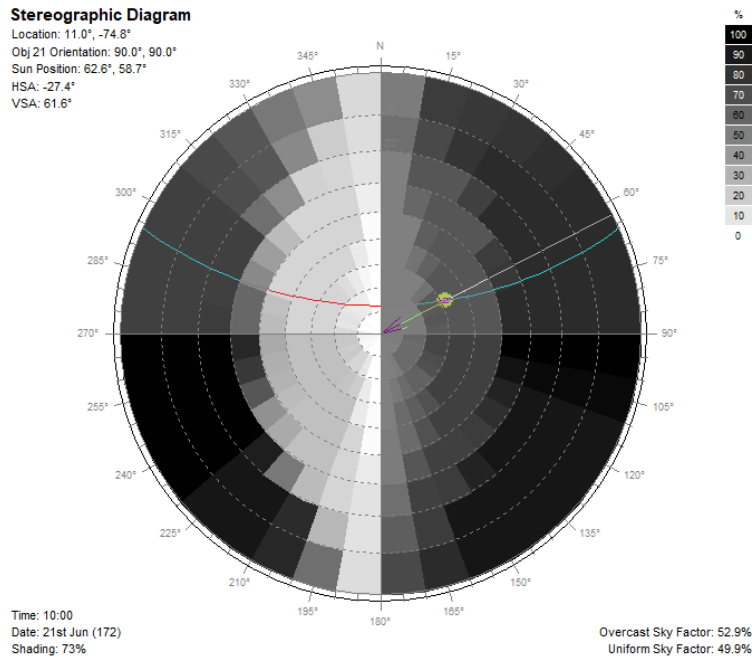


Figura 117. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

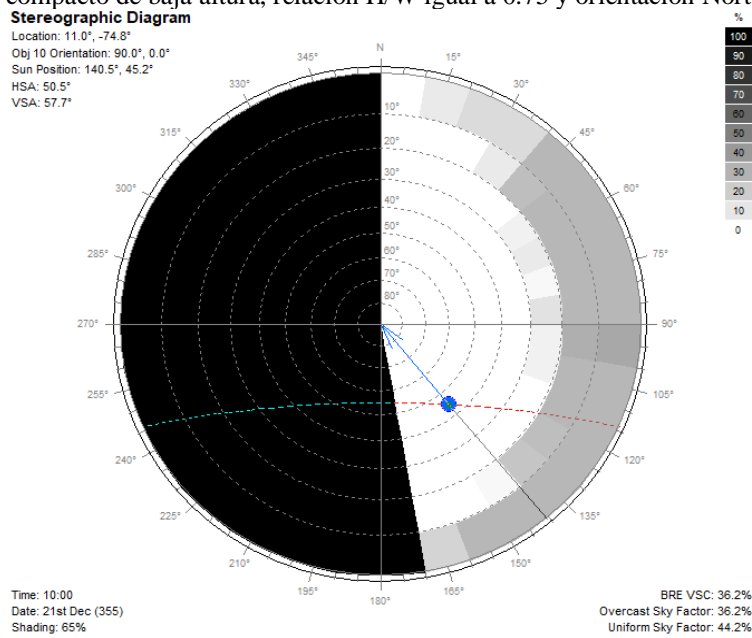


Figura 118. Diagrama estereográfico fachada este (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

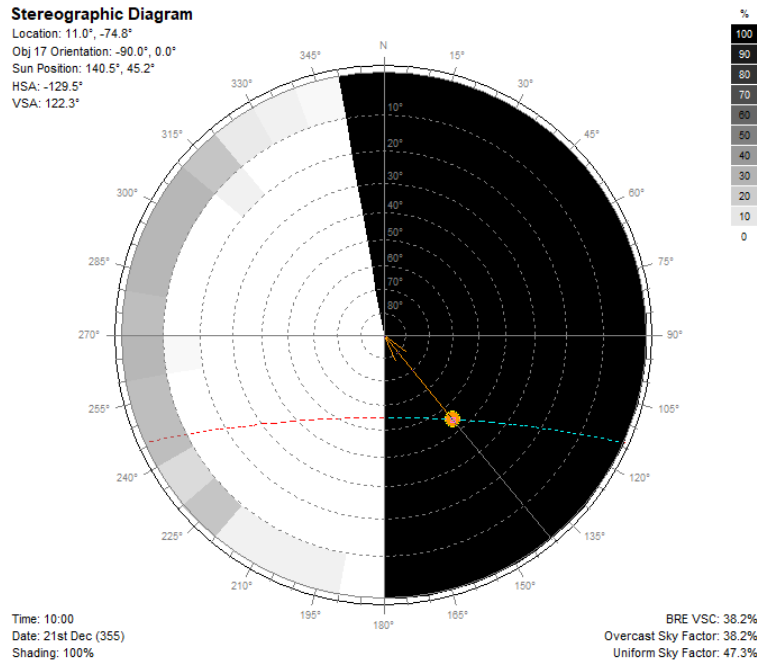


Figura 119. Diagrama estereográfico fachada oeste (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

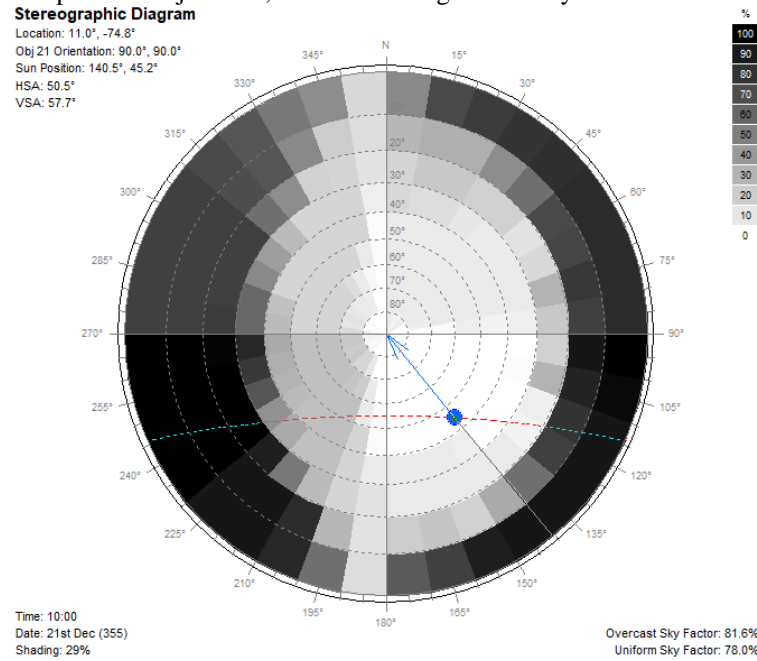


Figura 120. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

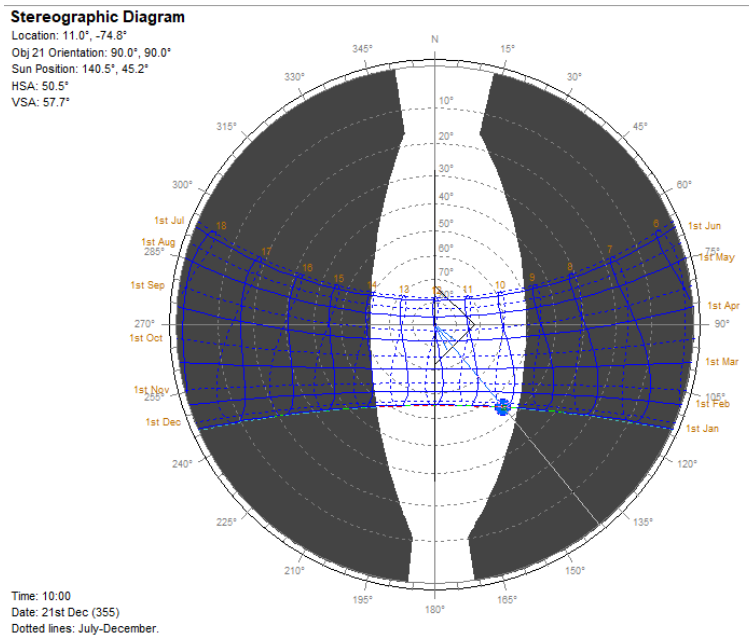


Figura 121. Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

6.2.6 Espacio urbano con tejido compacto y de baja altura (LCZ 3 Compacto de baja altura) con relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste (EO):

Para el espacio urbano con tejido compacto y de baja altura (LCZ 3) con relación H/W igual 0.75, en el solsticio de junio (21 de junio), con el LCZ 3 orientación Este-Oeste, el rango de valores de radiación que se va acumulando, de forma general en los elementos para las diez de la mañana, oscila entre 1000 Wh/m² a 5000 Wh/m². La fachada sur acumula en radiación 4600 Wh/m², la fachada norte 2200 Wh/m², y el elemento suelo 1000 Wh/m² (ver figura 122). Se observa que, la parte superior de las edificaciones, a 9 metros de altura, se acumula más radiación solar, exactamente 4200 Wh/m². Estos mismos valores se presentan a medio día y a las cuatro de la tarde, a excepción del elemento suelo que absorbe entre 1000 Wh/m² a 3000 Wh/m² (ver figura 123).

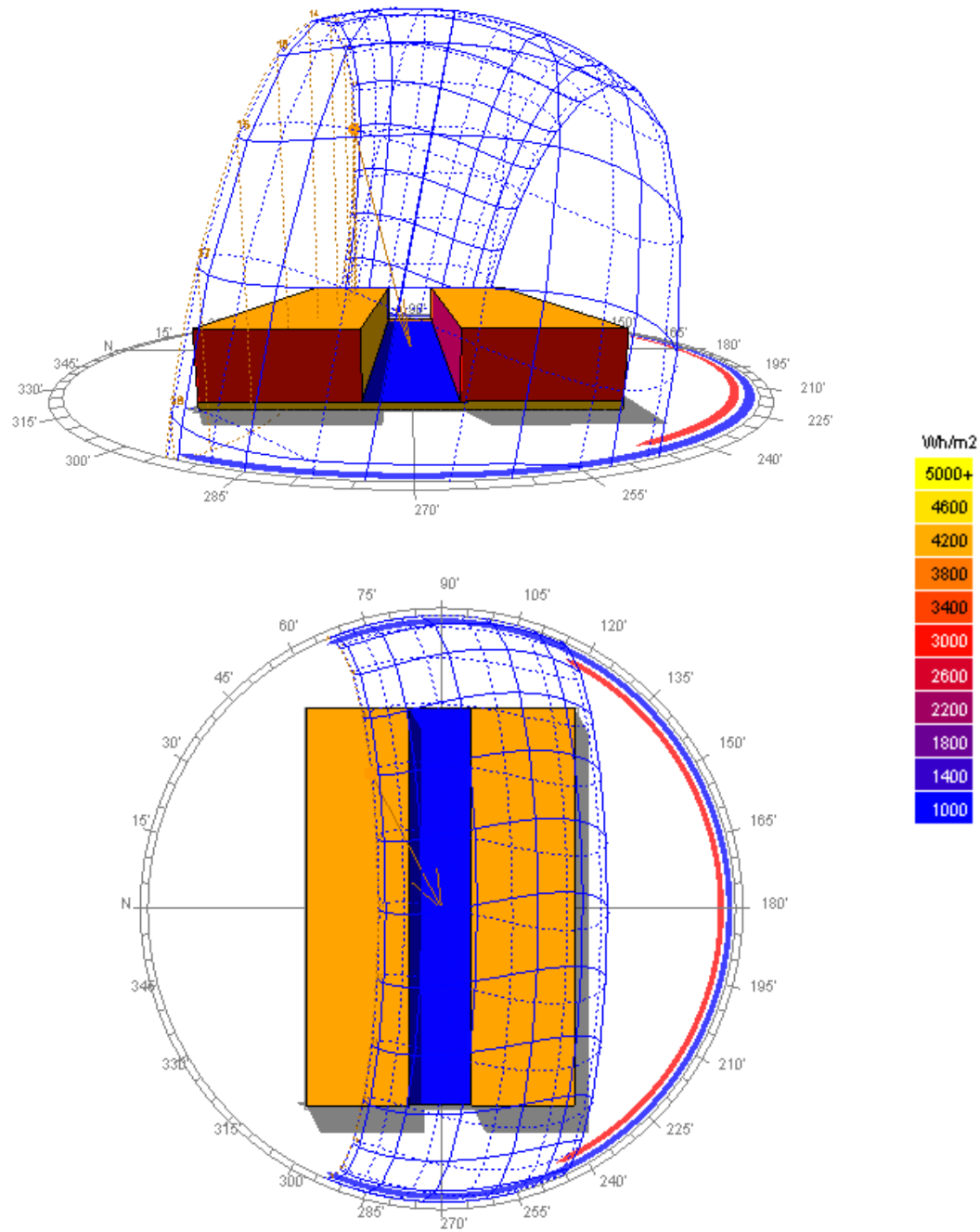


Figura 122. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

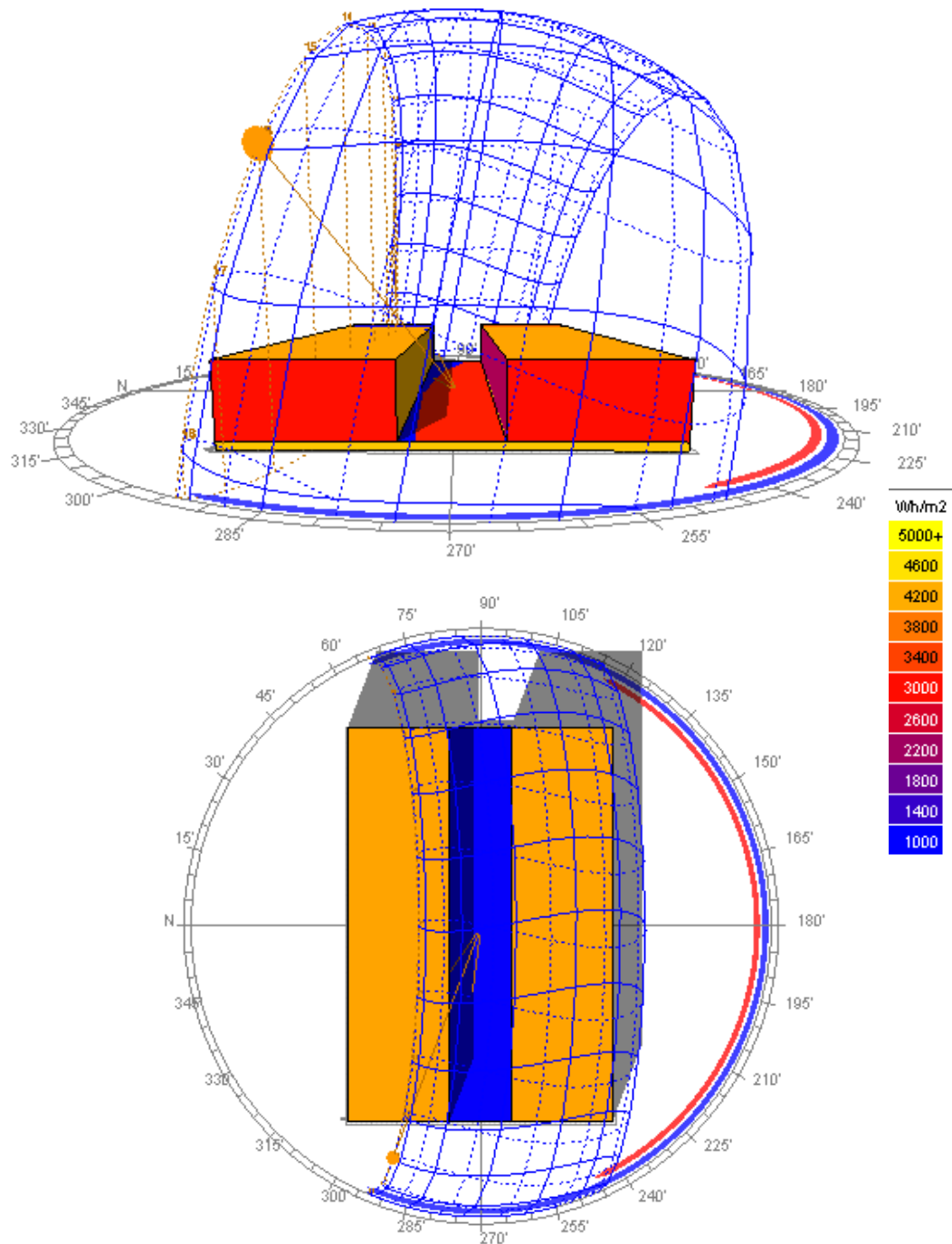


Figura 123. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

Para el 21 de diciembre, el rango de valores de radiación que se va acumulando, de forma general en los elementos para las diez de la mañana, oscila entre 0 Wh/m² a 2000 Wh/m². La fachada sur acumula en radiación 1600 Wh/m², la fachada norte 1600 Wh/m², y el elemento

suelo entre 400 Wh/m^2 a 600 Wh/m^2 (ver figura 124). Se observa que, la parte superior de las edificaciones, a 9 metros de altura, se acumula más radiación solar 1600 Wh/m^2 . Estos mismos valores de radiación incidente en los elementos del cañón urbano del modelo simulado se presentan a medio día y a las cuatro de la tarde, presentándose una variación en el elemento suelo que a las diez de la mañana oscila entre dos valores, no obstante, en estas horas se acumula 400 Wh/m^2 (ver figura 125).

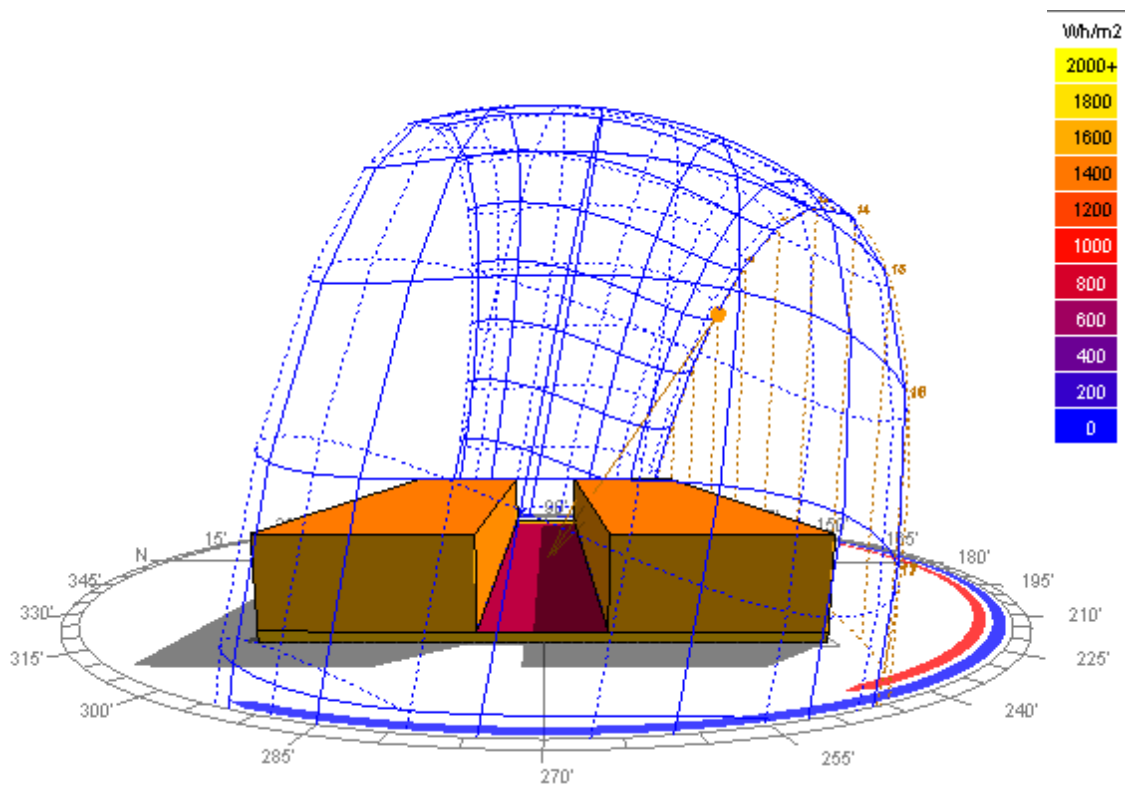


Figura 124. Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

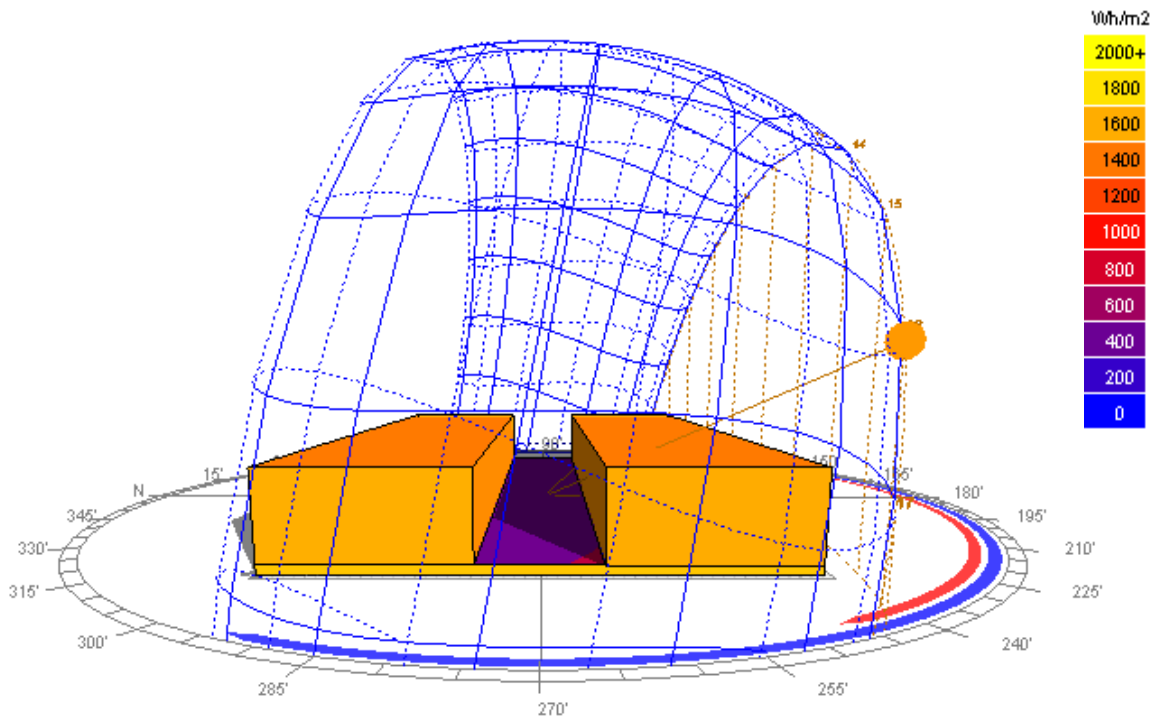


Figura 125. Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

En el caso de las simulaciones de porcentaje de sombras en el modelo LCZ 3, con orientación Este-Oeste, en el solsticio de junio, para la fachada sur el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 100 %, se presenta porcentajes de sombras favorables en mañana y tarde; en la fachada norte, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 0.40 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 30 % (ver tabla 29) (ver figura 126).

Tabla 29

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 3 con h/w igual a 0.75 con orientación Este-Oeste

Análisis comparativo: Sombra incidente (%) LCZ 3- Compacto de baja altura en solsticio de junio			
Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada sur (%)	Fachada norte (%)
6:00	53	100	5

06:30	48	100	0
07:00	48	100	0
07:30	18	100	0
08:00	16	100	0
08:30	16	100	0
09:00	16	100	0
09:30	16	100	0
10:00	16	100	0
10:30	15	100	0
11:00	8	100	0
11:30	11	100	0
12:00	15	100	0
12:30	18	100	0
13:00	16	100	0
13:30	25	100	0
14:00	25	100	0
14:30	25	100	0
15:00	25	100	0
15:30	25	100	0
16:00	25	100	0
16:30	26	100	0
17:00	83	100	0
17:30	83	100	0
18:00	84	100	5

Nota. Elaboración propia

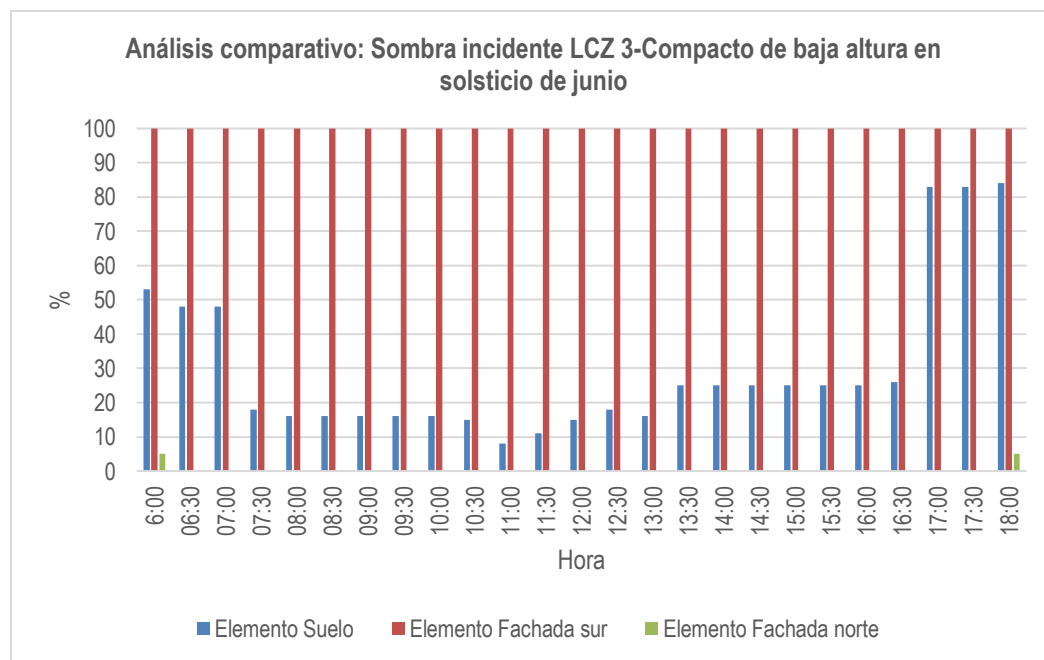


Figura 126. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

En el solsticio de diciembre, para la fachada sur el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 3 %; en la fachada norte, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 100 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 38 % (ver tabla 30) (ver figura 127).

Tabla 30

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 3 con h/w igual a 0.75 con orientación Este-Oeste

Análisis comparativo: Sombra incidente (%) LCZ 3-Compacto de baja altura en solsticio de diciembre			
Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada sur (%)	Fachada norte (%)
06:30	84	25	100
07:00	84	25	100
07:30	83	0	100
08:00	54	0	100
08:30	54	0	100
09:00	26	0	100
09:30	25	0	100
10:00	26	0	100
10:30	26	0	100
11:00	25	0	100
11:30	25	0	100
12:00	16	0	100
12:30	16	0	100
13:00	16	0	100
13:30	16	0	100
14:00	16	0	100
14:30	26	0	100
15:00	16	0	100
15:30	44	0	100
16:00	44	0	100
16:30	46	0	100
17:00	53	14	100
17:30	53	14	100

Nota. Elaboración propia.

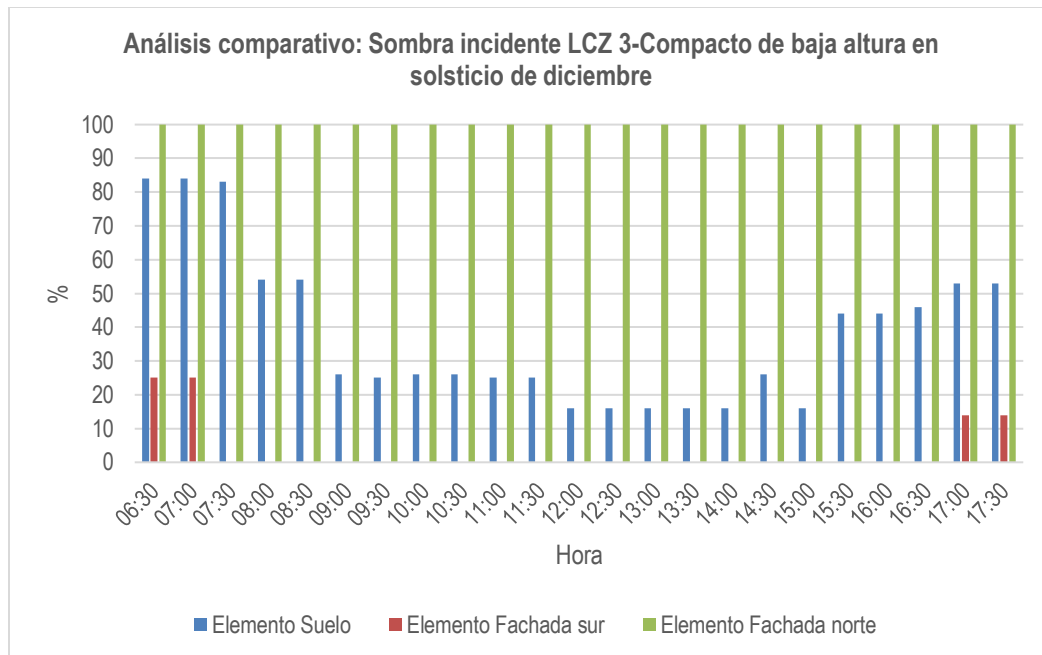


Figura 127. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

En los diagramas estereográficos de elementos de cañón urbano para el 21 de junio, a las diez de la mañana, en la fachada sur el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 36.3 %, el factor de cielo cubierto es de 36.3 % y el factor de cielo uniforme es de 44.2 %; en la fachada norte, el BRE VSC es de 38.2 %, el factor de cielo cubierto es de 38.2 % y el factor de cielo uniforme es de 47.3 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 81.5 % y el factor de cielo uniforme es de 78 % (ver figura 128-130). Para el 21 de diciembre, a las diez de la mañana, en la fachada sur el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 36.3 %, el factor de cielo cubierto es de 36.3 % y el factor de cielo uniforme es de 44.2 %; en la fachada norte, el BRE VSC es de 38.2 %, el factor de cielo cubierto es de 38.2 % y el factor de cielo uniforme es de 47.3 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 81.5 % y el factor de cielo uniforme es de 78 % (ver figura 131-133). Además, se presenta un gráfico de factor de vista al cielo (SVF) del modelo analizado, para la fecha 21 de junio a las diez de la mañana (ver figura 134).

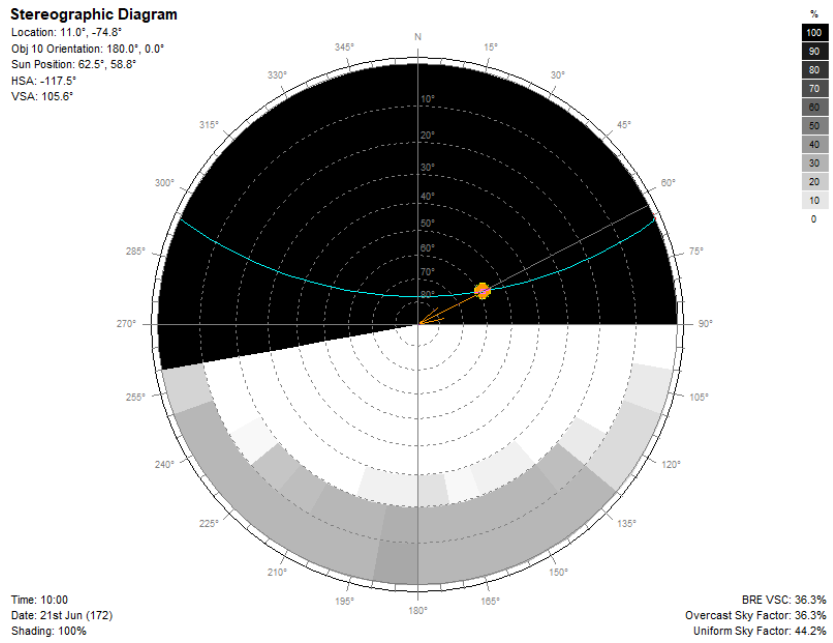


Figura 128. Diagrama estereográfico fachada sur (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

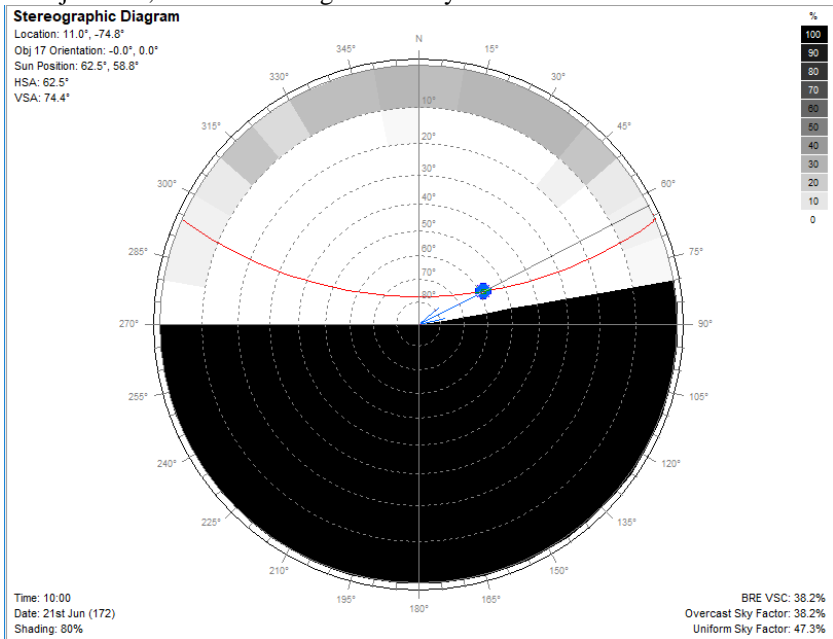


Figura 129. Diagrama estereográfico fachada norte (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

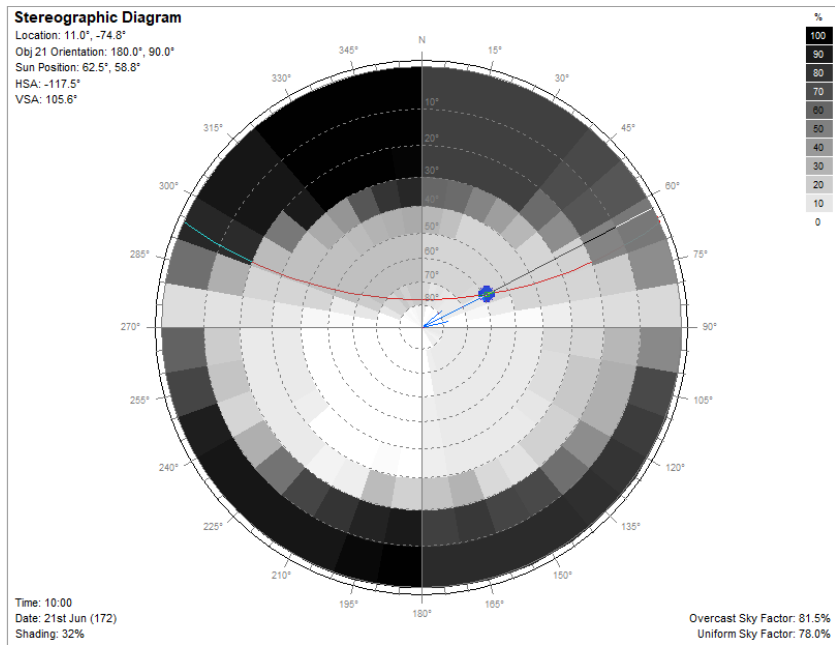


Figura 130. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

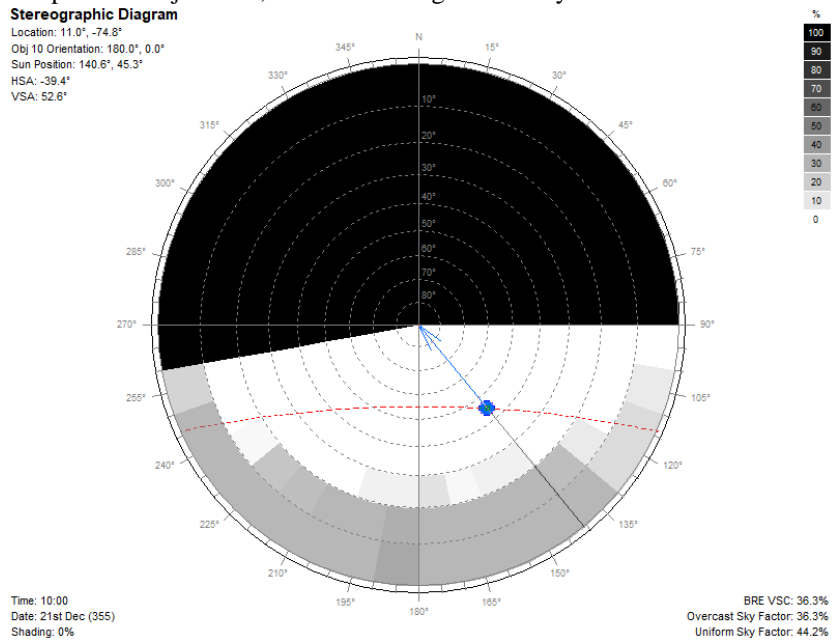


Figura 131. Diagrama estereográfico fachada sur (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

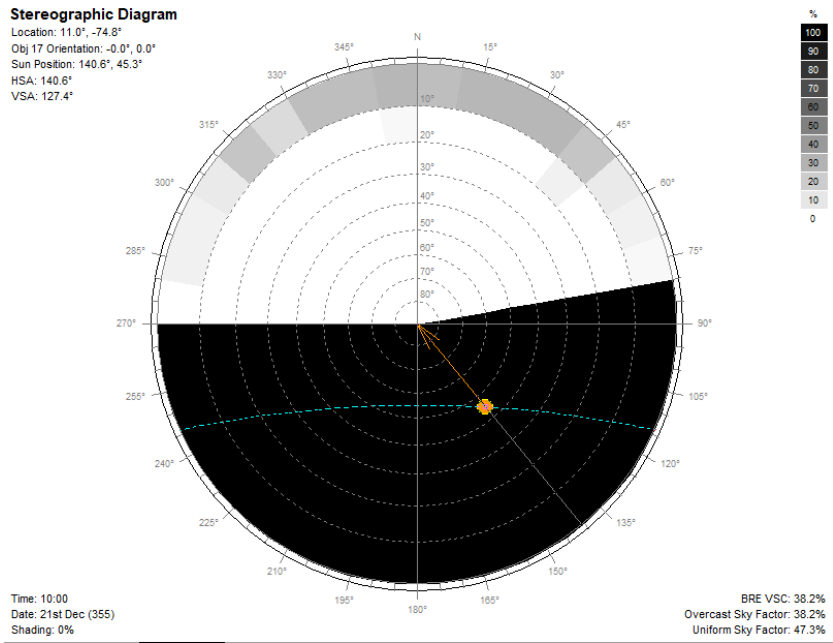


Figura 132. Diagrama estereográfico fachada norte (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

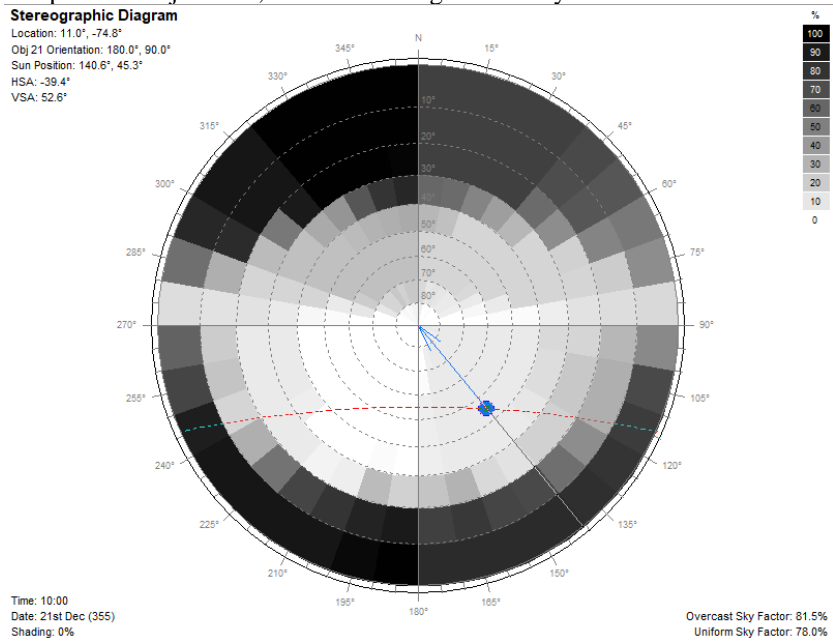


Figura 133. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

Stereographic Diagram

Location: 11.0°, -74.8°
 Obj 21 Orientation: 180.0°, 90.0°
 Sun Position: 62.5°, 58.8°
 HSA: -117.5°
 VSA: 105.6°

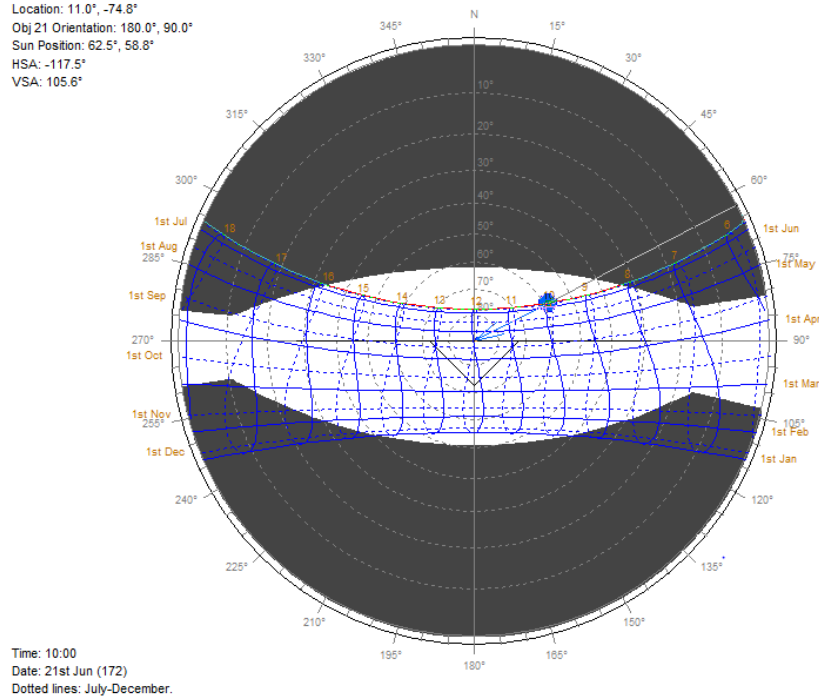


Figura 134. Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

6.2.7 Espacio urbano con tejido compacto y de baja altura (LCZ 3 Compacto de baja altura) con relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste (NOSE):

Para el espacio urbano con tejido compacto y de baja altura (LCZ 3) con relación H/W igual 0.75, en el solsticio de junio (21 de junio), con el LCZ 3 orientación Noreste-Suroeste, el rango de valores de radiación que se va acumulando, de forma general en los elementos para las diez de la mañana, oscila entre 600 Wh/m² a 5000 Wh/m². La fachada noroeste acumula en radiación 1480 Wh/m², la fachada sureste entre 600 Wh/m² a 1040 Wh/m², y el elemento suelo 2800 Wh/m² (ver figura 135). Se observa que, la parte superior de las edificaciones, a 9 metros de altura, se acumula más radiación solar, exactamente 4560 Wh/m². Estos mismos valores se presentan a medio día y a las cuatro de la tarde (ver figura 136).

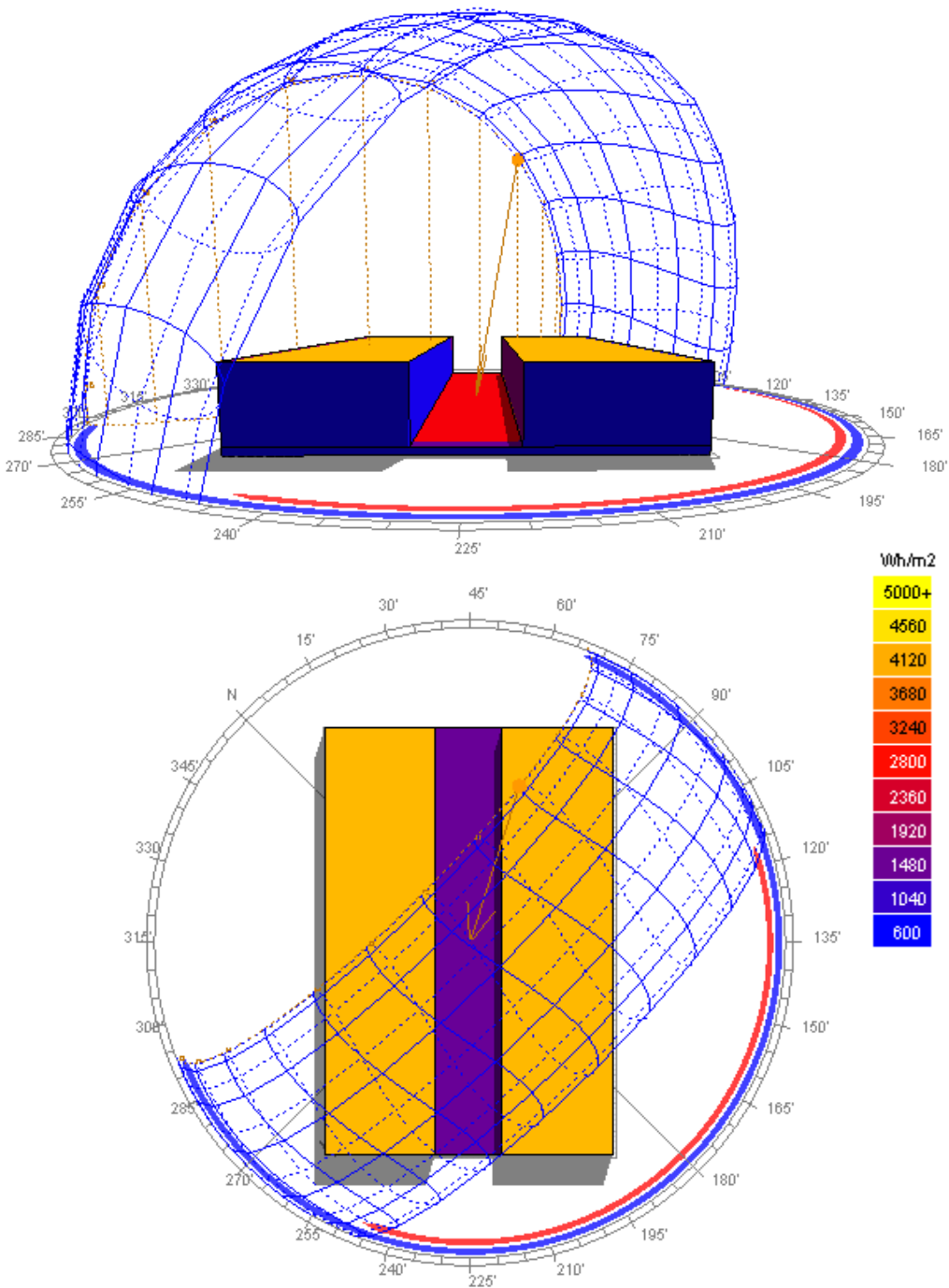


Figura 135. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

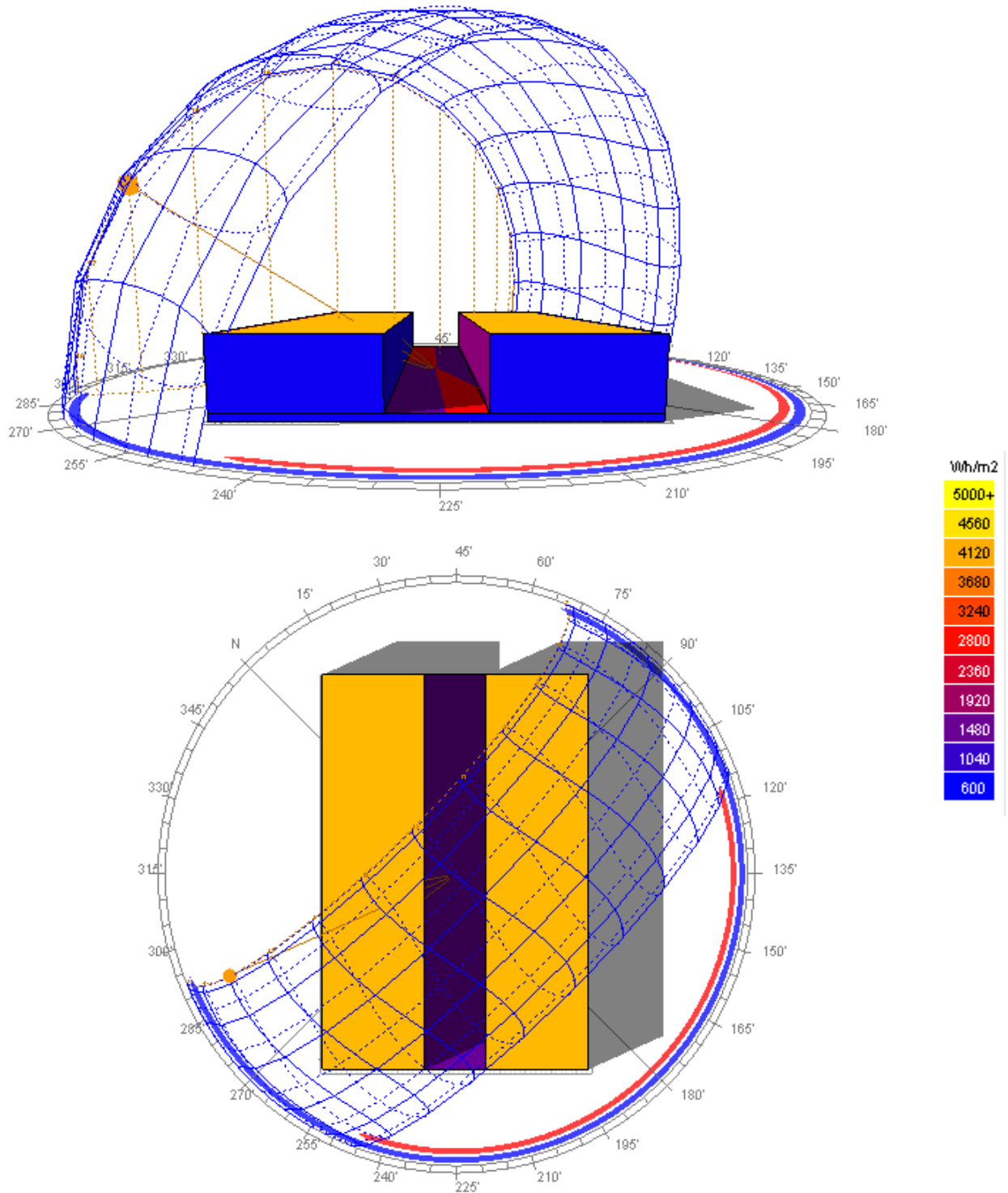


Figura 136. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

Para el 21 de diciembre, el rango de valores de radiación que se va acumulando, de forma general en los elementos para las diez de la mañana, oscila entre 0 Wh/m² a 2000 Wh/m². La fachada noroeste acumula en radiación entre 600 Wh/m² a 800 Wh/m², la fachada sureste entre 600 Wh/m² a 800 Wh/m², y el elemento suelo 400 Wh/m² (ver figura 137). Se observa que, la parte superior de las edificaciones, a 9 metros de altura, se acumula más radiación solar entre 1400 Wh/m² a 1600 Wh/m². Estos mismos valores de radiación incidente en los elementos del cañón urbano del modelo simulado se presentan a medio día y a las cuatro de la tarde (ver figura 138).

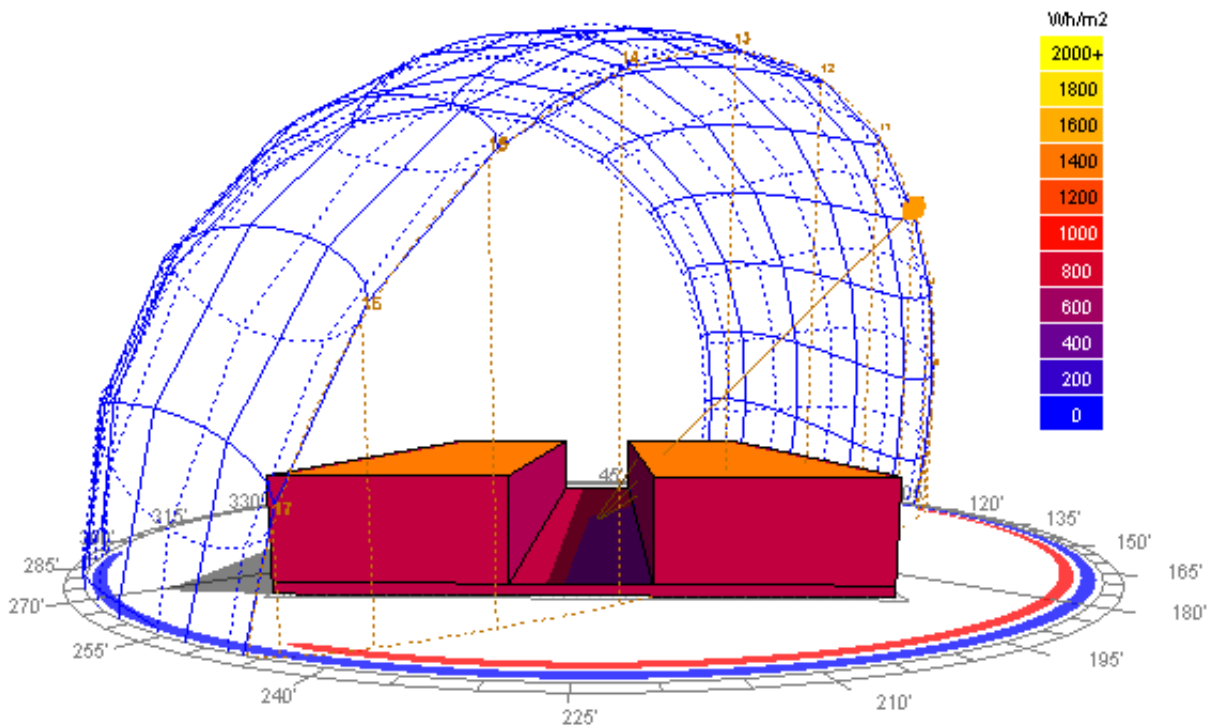


Figura 137. Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

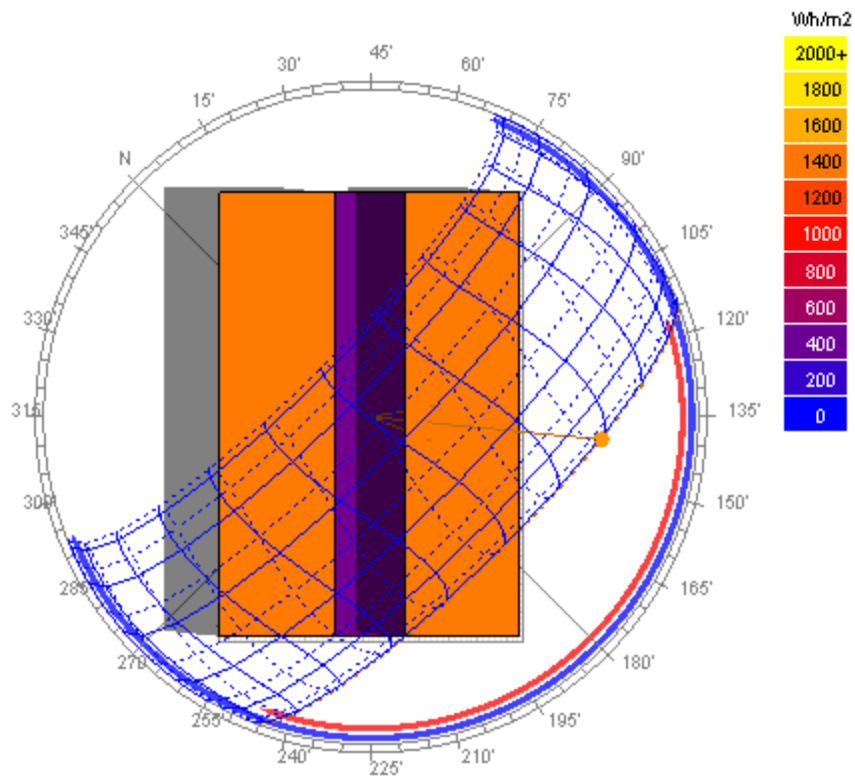


Figura 138. Análisis radiación solar acumulada (vista en planta) 21 de diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

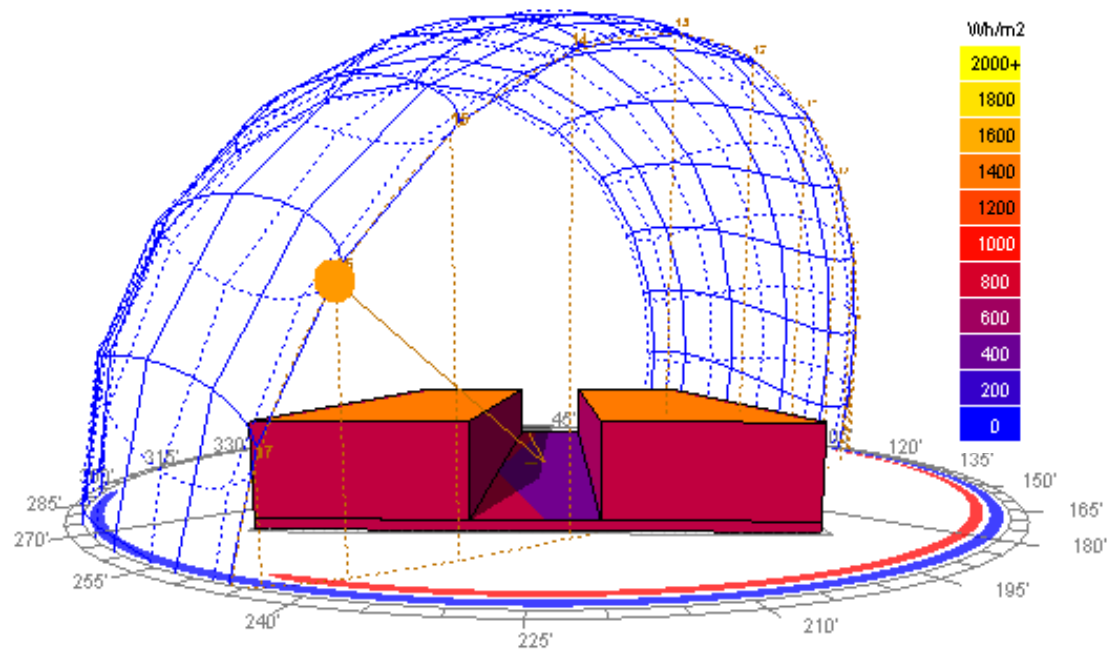


Figura 139. Análisis radiación solar acumulada 21 de diciembre a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

En el caso de las simulaciones de porcentaje de sombras en el modelo LCZ 3, con orientación Noreste-Suroeste, en el solsticio de junio, para la fachada sureste el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 56.56 %; en la fachada noroeste, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 45 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 35.8 % (ver tabla 31) (ver figura 140).

Tabla 31

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 3 con h/w igual a 0.75 con orientación Noreste-Suroeste

Análisis comparativo: Sombra incidente LCZ 3- Compacto de baja altura en solsticio de junio			
Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada sureste (%)	Fachada noroeste (%)
6:00	76	14	100
06:30	31	0	100
07:00	31	0	100
07:30	21	0	100
08:00	13	0	100
08:30	13	0	100
09:00	8	0	100
09:30	8	0	100
10:00	8	0	100
10:30	8	0	100
11:00	8	0	100
11:30	0	100	0
12:00	8	100	0
12:30	10	100	0
13:00	21	100	0
13:30	25	100	0
14:00	25	100	0
14:30	25	100	0
15:00	28	100	0
15:30	66	100	0
16:00	66	100	0
16:30	99	100	0
17:00	99	100	0

17:30	99	100	0
18:00	99	100	25

Nota. Elaboración propia

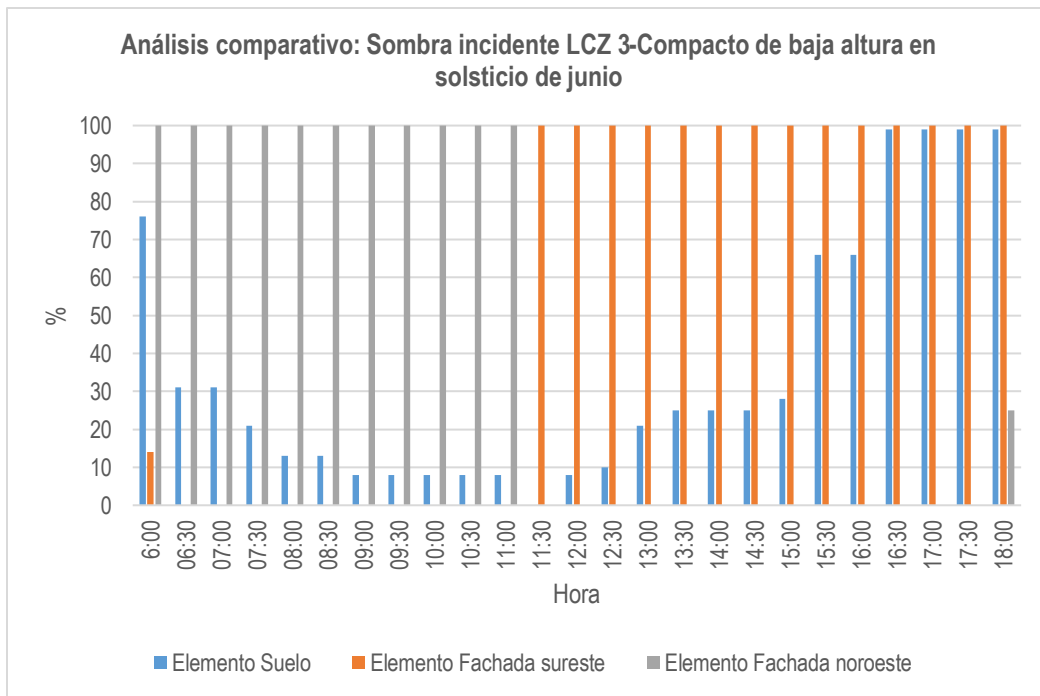


Figura 140. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

En el solsticio de diciembre, para la fachada sureste el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 39 %; en la fachada noroeste, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 70 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 23.13 % (ver tabla 32) (ver figura 141).

Tabla 32

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 3 con h/w igual a 0.75 con orientación Noreste-Suroeste

Análisis comparativo: Sombra incidente LCZ 3-Compacto de baja altura en solsticio de diciembre			
Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada sureste (%)	Fachada noroeste (%)
06:30	83	28	100
07:00	83	28	100
07:30	78	28	100

08:00	30	5	100
08:30	30	5	100
09:00	6	0	100
09:30	6	0	100
10:00	0	0	100
10:30	0	0	100
11:00	0	0	100
11:30	0	0	100
12:00	0	0	100
12:30	0	0	100
13:00	0	0	100
13:30	0	0	100
14:00	0	100	100
14:30	8	100	0
15:00	8	100	0
15:30	16	100	0
16:00	16	100	0
16:30	28	100	0
17:00	56	100	5
17:30	84	100	5

Nota. Elaboración propia.

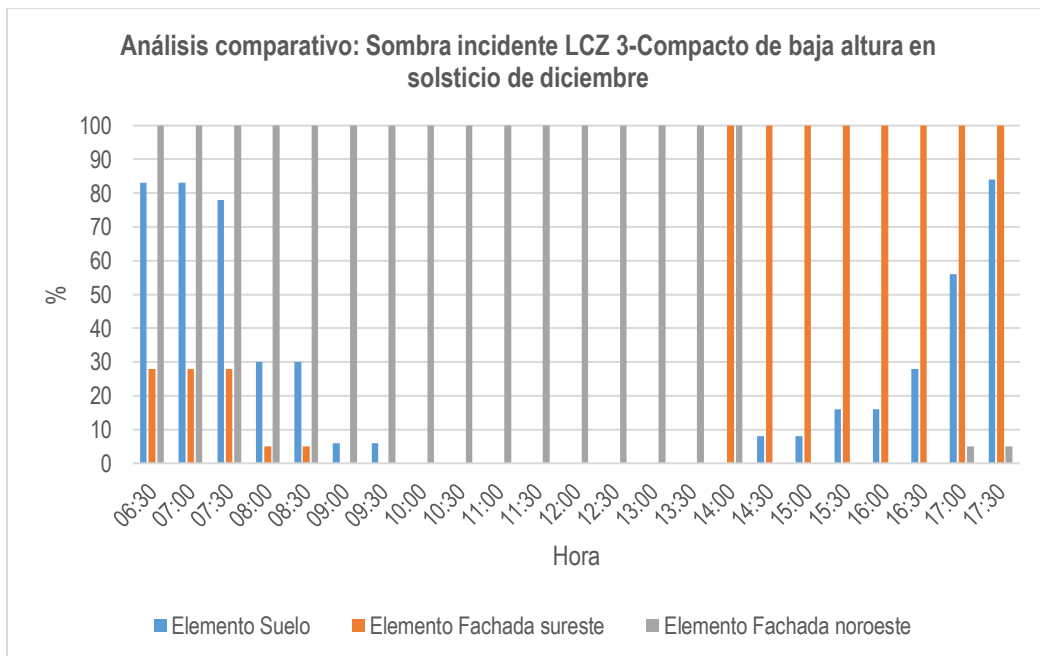


Figura 141. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

En los diagramas estereográficos de elementos de cañón urbano para el 21 de junio, a las diez de la mañana, en la fachada el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 36.2 %, el factor

de cielo cubierto es de 36.2 % y el factor de cielo uniforme es de 44.1 %; en la fachada noroeste, el BRE VSC es de 38.2 %, el factor de cielo cubierto es de 38.2 % y el factor de cielo uniforme es de 47.3 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 81.6 % y el factor de cielo uniforme es de 78 % (ver figura 142-144). Para el 21 de diciembre, a las diez de la mañana, en la fachada sureste el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 36.2 %, el factor de cielo cubierto es de 36.2 % y el factor de cielo uniforme es de 44.1 %; en la fachada noroeste, el BRE VSC es de 38.2 %, el factor de cielo cubierto es de 38.2 % y el factor de cielo uniforme es de 47.3 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 81.6 % y el factor de cielo uniforme es de 78 % (ver figura 145-147). Además, se presenta un gráfico de factor de vista al cielo (SVF) del modelo analizado, para la fecha 21 de diciembre a las cuatro de la mañana (ver figura 148).

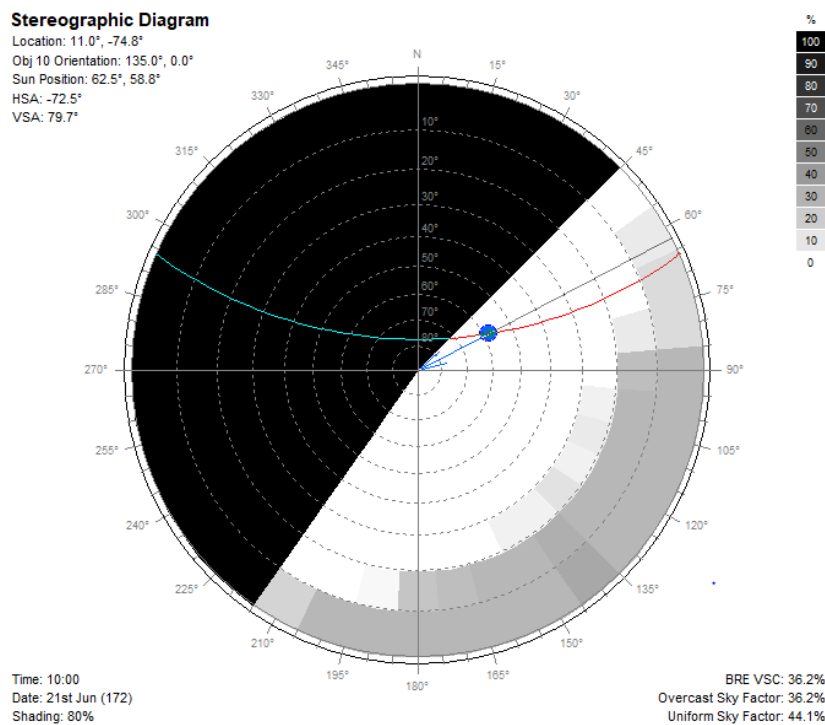


Figura 142. Diagrama estereográfico fachada sureste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

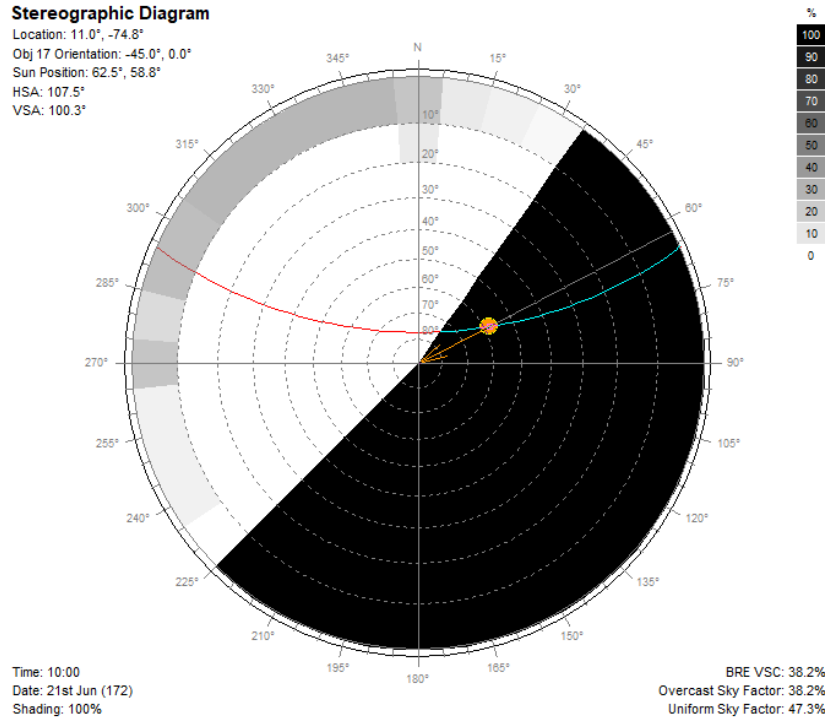


Figura 143. Diagrama estereográfico fachada noroeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

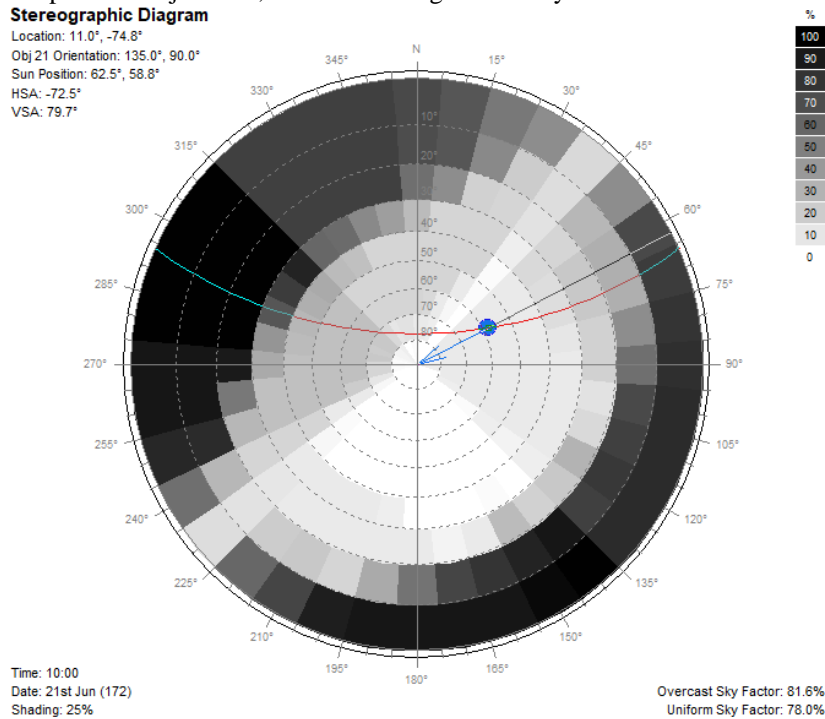


Figura 144. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

Stereographic Diagram

Location: 11.0°, -74.8°
 Obj 10 Orientation: 135.0°, 0.0°
 Sun Position: 140.6°, 45.3°
 HSA: 5.6°
 VSA: 45.4°

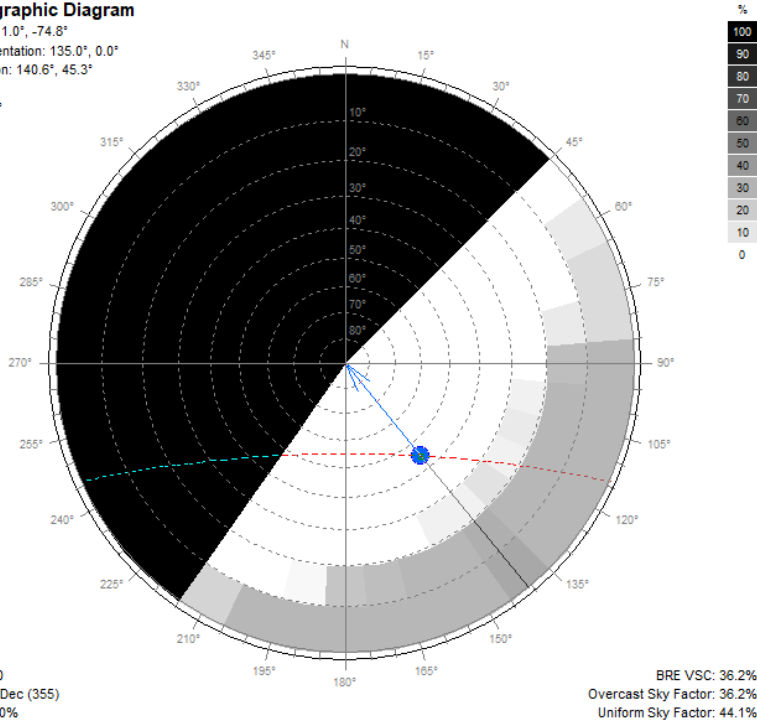


Figura 145. Diagrama estereográfico fachada sureste (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

Stereographic Diagram

Location: 11.0°, -74.8°
 Obj 17 Orientation: -45.0°, 0.0°
 Sun Position: 140.6°, 45.3°
 HSA: -174.4°
 VSA: 134.6°

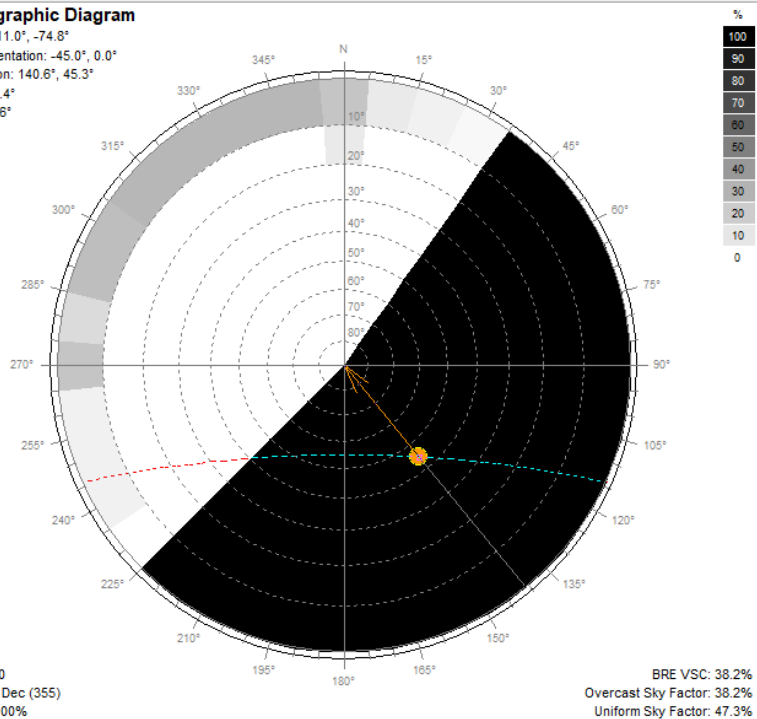
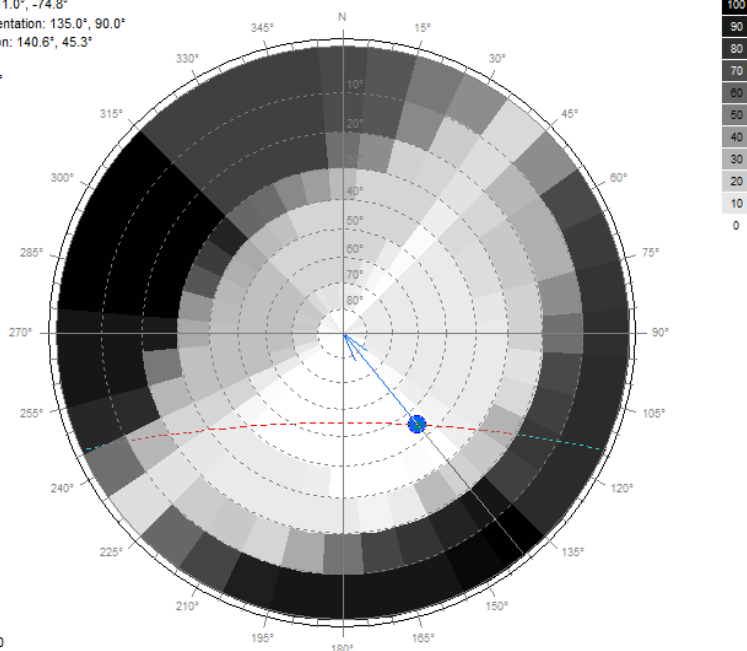


Figura 146. Diagrama estereográfico fachada noroeste (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

Stereographic Diagram

Location: 11.0°, -74.8°
 Obj 21 Orientation: 135.0°, 90.0°
 Sun Position: 140.6°, 45.3°
 HSA: 5.6°
 VSA: 45.4°



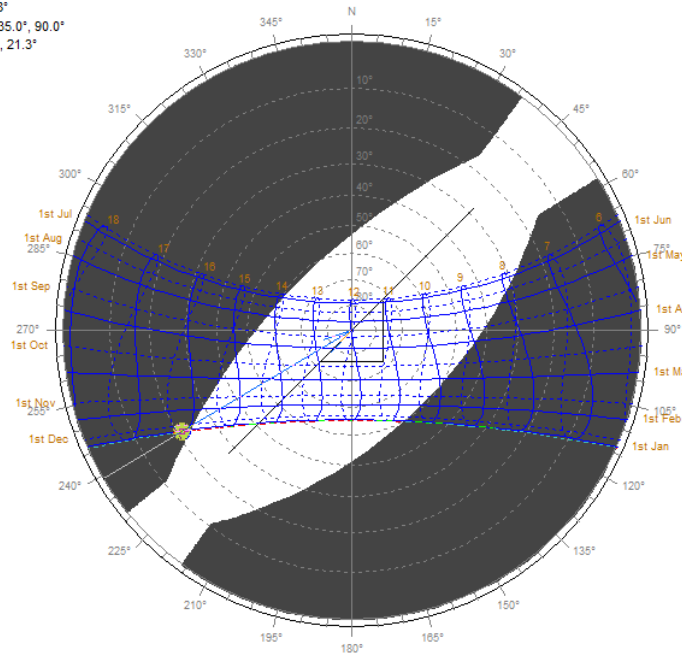
Time: 10:00
 Date: 21st Dec (355)
 Shading: 29%

Overcast Sky Factor: 81.6%
 Uniform Sky Factor: 78.0%

Figura 147. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

Stereographic Diagram

Location: 11.0°, -74.8°
 Obj 21 Orientation: 135.0°, 90.0°
 Sun Position: -120.7°, 21.3°
 HSA: 104.3°
 VSA: 122.4°



Time: 16:00
 Date: 21st Dec (355)
 Dotted lines: July-December.

Figura 148. Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (16 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

6.2.8 Espacio urbano con tejido compacto y de baja altura (LCZ 3 Compacto de baja altura) con relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste (NESO):

Para el espacio urbano con tejido compacto y de baja altura (LCZ 3) con relación H/W igual 0.75, en el solsticio de junio (21 de junio), con el LCZ 3 orientación Noroeste-Sureste, el rango de valores de radiación que se va acumulando, de forma general en los elementos para las diez de la mañana, oscila entre 600 Wh/m² a 5000 Wh/m². La fachada noreste acumula en radiación 1480 Wh/m², la fachada suroeste 600 Wh/m², y el elemento suelo 2800 Wh/m² (ver figura 149-150). Se observa que, la parte superior de las edificaciones, a 9 metros de altura, se acumula más radiación solar, exactamente 4560 Wh/m². Estos mismos valores se presentan a medio día y a las cuatro de la tarde (ver figura 151).

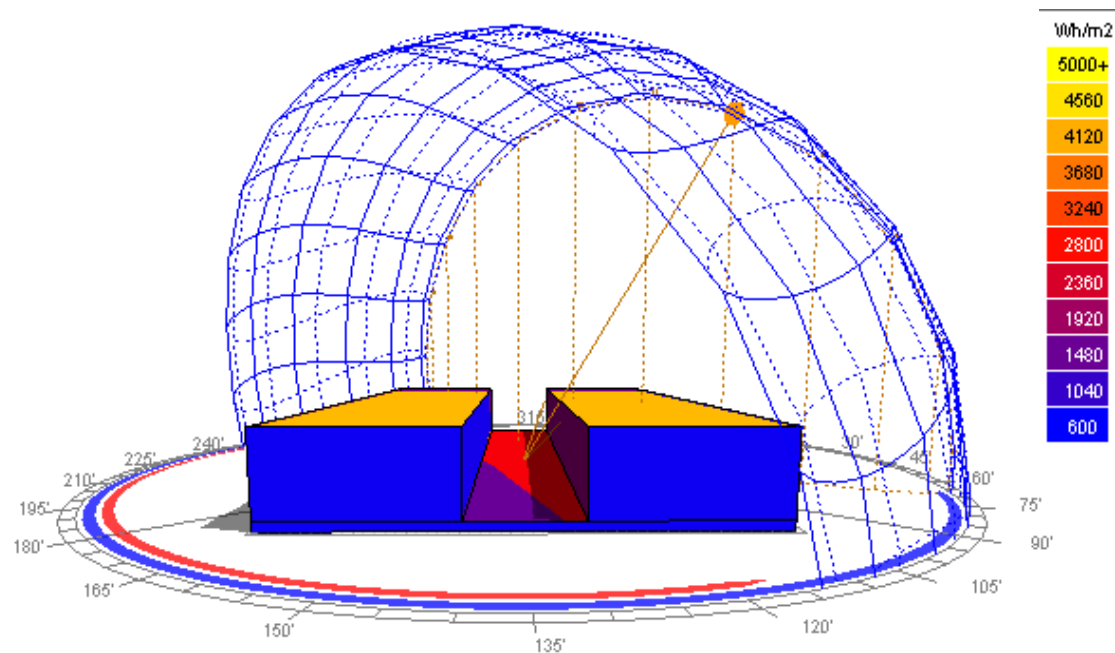


Figura 149. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

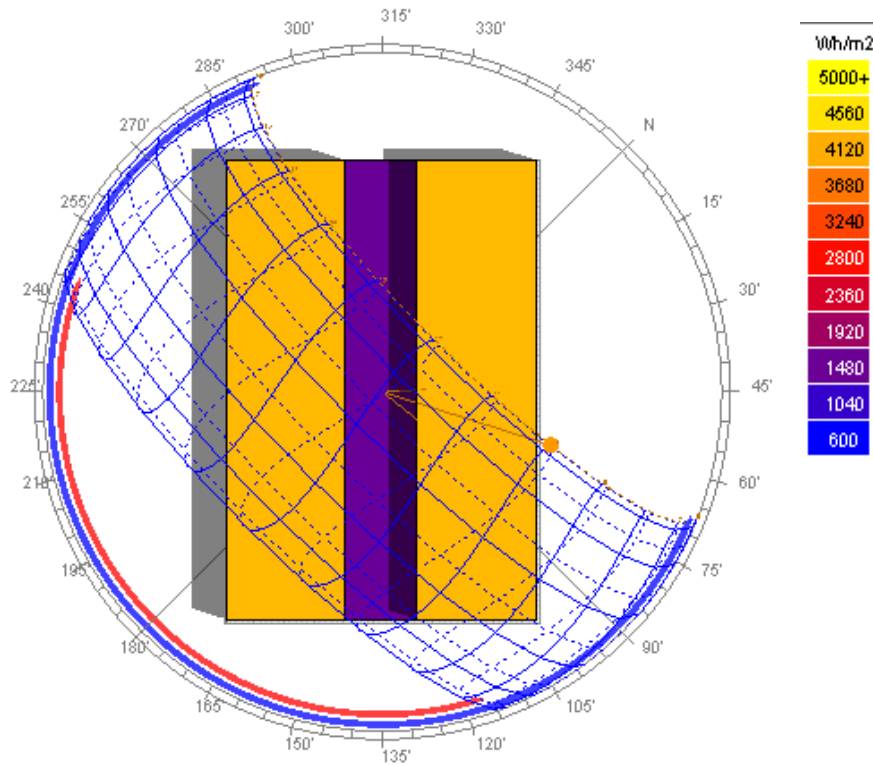


Figura 150. Análisis radiación solar acumulada (vista en planta) 21 de junio a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

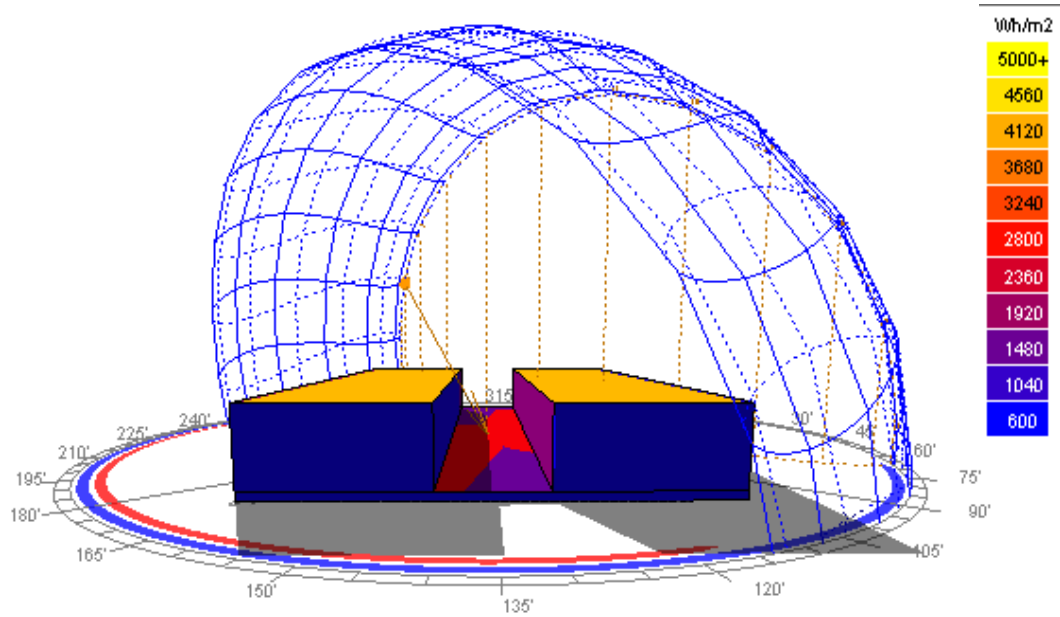


Figura 151. Análisis radiación solar acumulada 21 de junio a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

Para el 21 de diciembre, el rango de valores de radiación que se va acumulando, de forma general en los elementos para las diez de la mañana, oscila entre 0 Wh/m² a 2000 Wh/m². La fachada noreste acumula en radiación entre 600 Wh/m² a 800 Wh/m², la fachada suroeste entre 600 Wh/m² a 800 Wh/m², y el elemento suelo 800 Wh/m² (ver figura 152). Se observa que, la parte superior de las edificaciones, a 9 metros de altura, se acumula más radiación solar aproximadamente 1400 Wh/m². Para el medio día y las cuatro de la tarde, los valores son iguales entre sí, pero diferentes a la hora simulada en la mañana. La fachada noreste acumula en radiación 1600 Wh/m², la fachada suroeste entre 0 Wh/m² a 200 Wh/m², y el elemento suelo entre 600 Wh/m² a 800 Wh/m² (ver figura 153). Se observa que, la parte superior de las edificaciones, a 9 metros de altura, se acumula más radiación solar aproximadamente 1400 Wh/m².

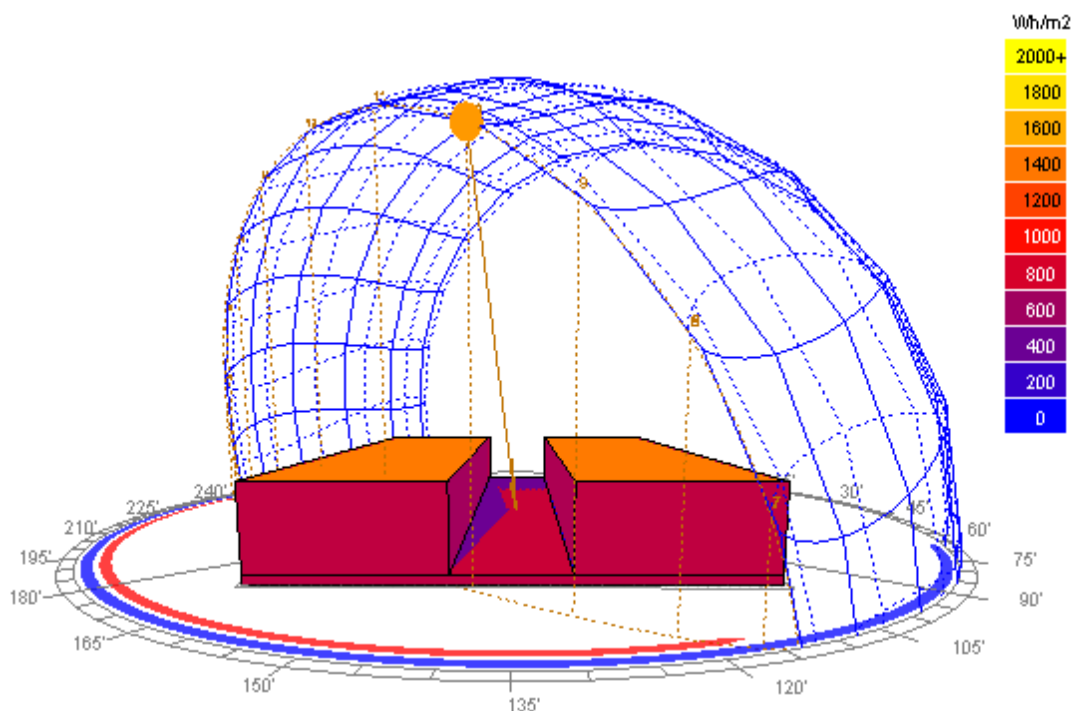


Figura 152. Análisis radiación solar acumulada 21 diciembre a las 10:00 a.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

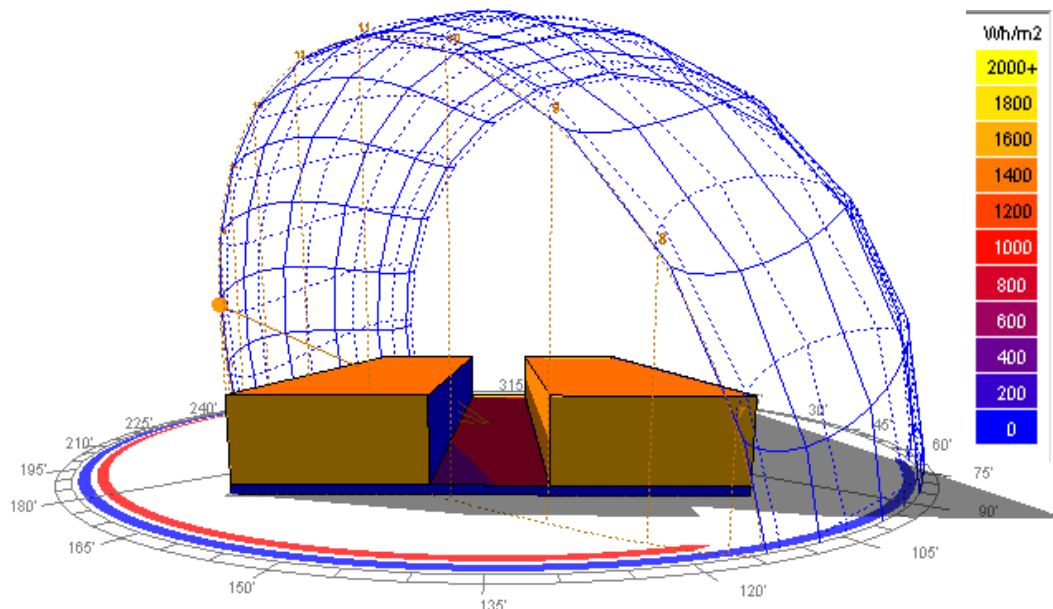


Figura 153. Análisis radiación solar acumulada 21 diciembre a las 04:00 p.m.: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

En el caso de las simulaciones de porcentaje de sombras en el modelo LCZ 3, con orientación Noroeste-Sureste, en el solsticio de junio, para la fachada suroeste el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 61 %; en la fachada noreste, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 47 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 21 % (ver tabla 33) (ver figura 154).

Tabla 33 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 3 con h/w igual a 0.75 con orientación Noroeste-Sureste

Análisis comparativo: Sombra incidente (%) LCZ 3-Compacto de baja altura en solsticio de junio			
Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada suroeste (%)	Fachada noreste (%)
6:00	91	100	28
06:30	79	100	28
07:00	79	100	28
07:30	8	100	0
08:00	0	100	0
08:30	0	100	0

09:00	0	100	0
09:30	0	100	0
10:00	0	100	0
10:30	0	100	0
11:00	0	100	0
11:30	6	100	0
12:00	8	100	0
12:30	8	100	0
13:00	0	100	100
13:30	3	0	100
14:00	8	0	100
14:30	16	0	100
15:00	16	0	100
15:30	16	0	100
16:00	16	0	100
16:30	18	0	100
17:00	46	0	100
17:30	46	0	100
18:00	53	14	100

Nota. Elaboración propia.

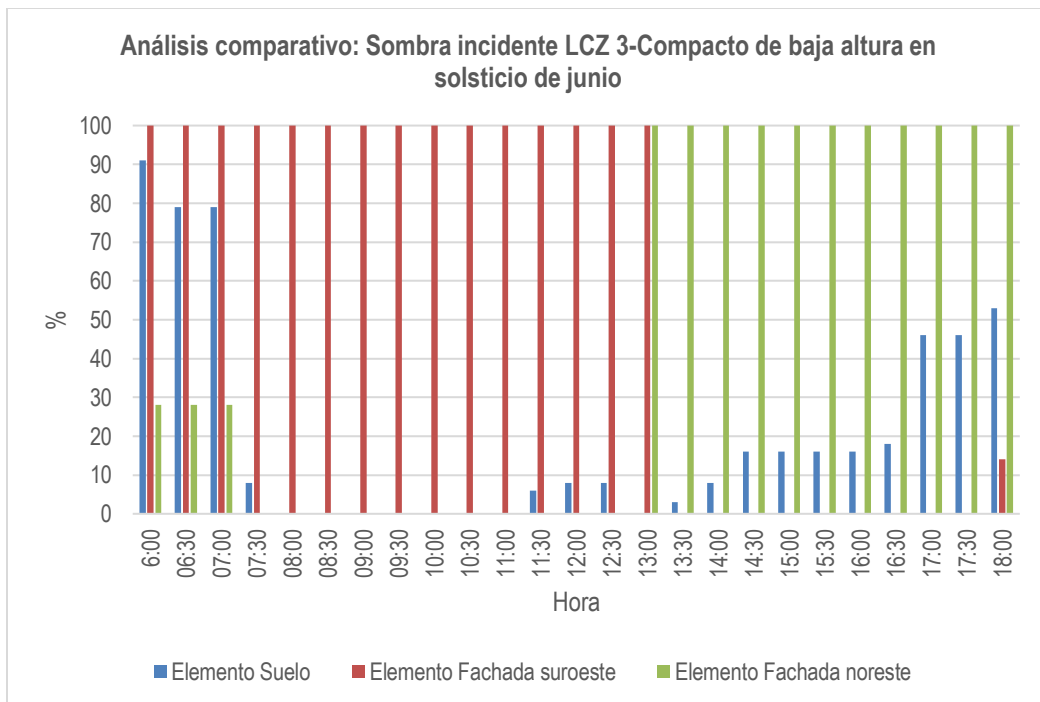


Figura 154. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

En el solsticio de diciembre, para la fachada suroeste el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 35 %; en la fachada noreste, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 80 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 39 % (ver tabla 34) (ver figura 155).

Tabla 34

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 3 con h/w igual a 0.75 con orientación Noroeste-Sureste

Análisis comparativo: Sombra incidente (%)			
LCZ 3-Compacto de baja altura en solsticio de diciembre			
Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada suroeste (%)	Fachada noreste (%)
06:30	88	100	28
07:00	74	100	19
07:30	21	100	0
08:00	8	100	0
08:30	8	100	0
09:00	8	100	100
09:30	0	100	100
10:00	3	0	100
10:30	16	0	100
11:00	25	0	100
11:30	25	0	100
12:00	25	0	100
12:30	25	0	100
13:00	25	0	100
13:30	31	0	100
14:00	33	0	100
14:30	59	0	100
15:00	59	0	100
15:30	74	11	100
16:00	74	11	100
16:30	74	28	100
17:00	74	28	100
17:30	74	28	100

Nota. Elaboración propia.

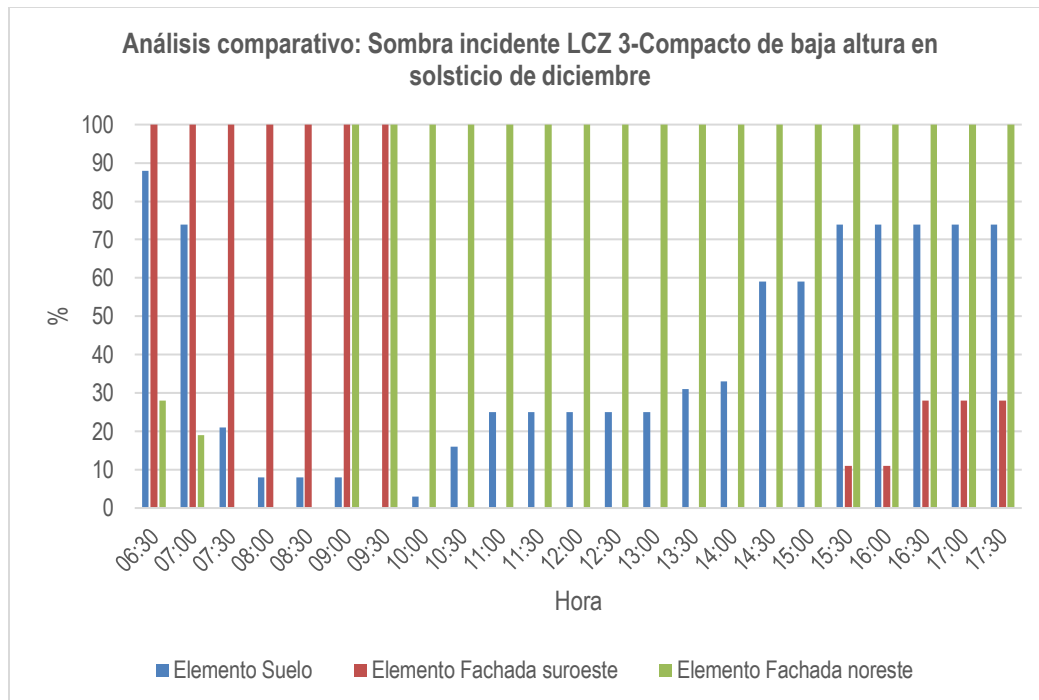


Figura 155. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

En los diagramas estereográficos de elementos de cañón urbano para el 21 de junio, a las diez de la mañana, en la fachada suroeste el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 36.3 %, el factor de cielo cubierto es de 36.3 % y el factor de cielo uniforme es de 44.3 %; en la fachada noreste, el BRE VSC es de 36.2 %, el factor de cielo cubierto es de 36.2 % y el factor de cielo uniforme es de 44.1 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 81.6 % y el factor de cielo uniforme es de 78 % (ver figura 156-158). Para el 21 de diciembre, a las diez de la mañana, en la fachada suroeste el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 36.3 %, el factor de cielo cubierto es de 36.3 % y el factor de cielo uniforme es de 44.3 %; en la fachada noreste, el BRE VSC es de 36.2 %, el factor de cielo cubierto es de 36.2 % y el factor de cielo uniforme es de 44.1 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 81.6 % y el factor de cielo uniforme es de 78 % (ver figura 159-161). Además, se presenta un gráfico de factor de vista al cielo (SVF) del modelo analizado, para la fecha 21 de diciembre a las diez de la mañana (ver figura 162).

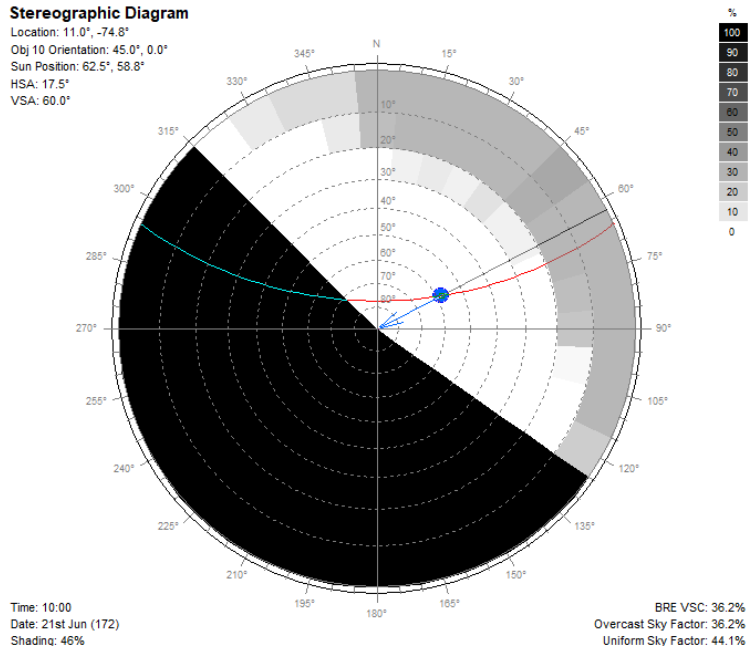


Figura 156. Diagrama estereográfico fachada noreste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

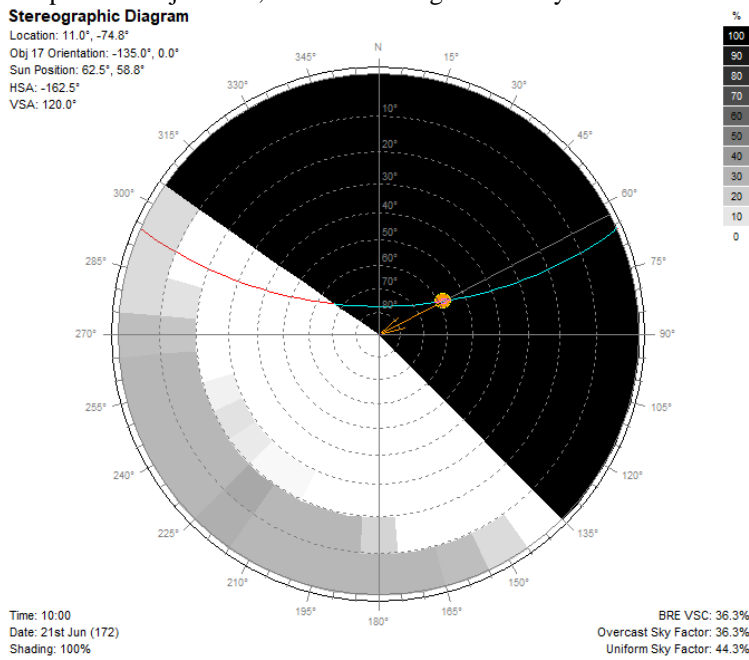


Figura 157. Diagrama estereográfico fachada suroeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

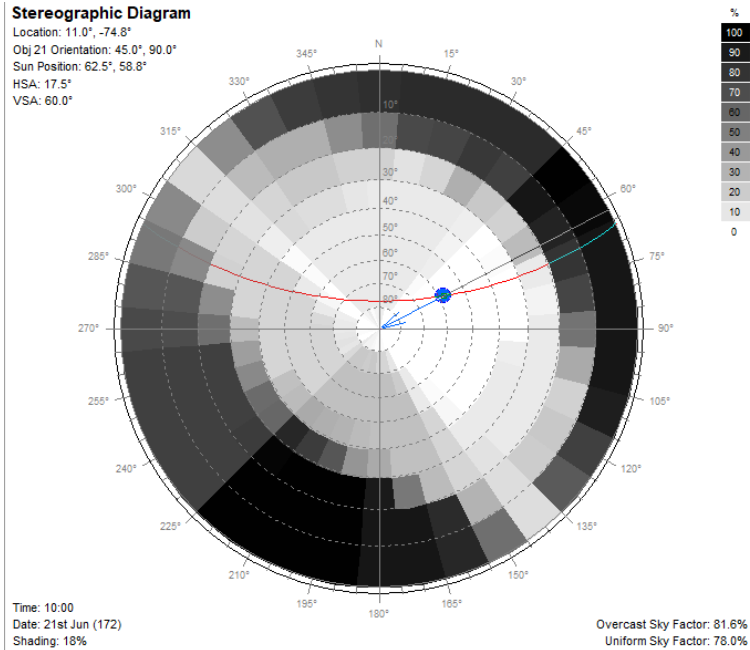


Figura 158. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

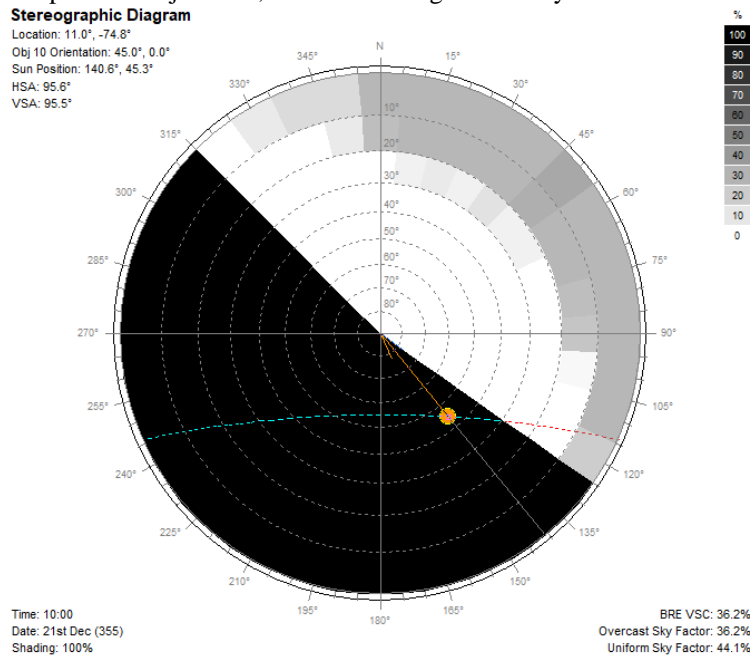


Figura 159. Diagrama estereográfico fachada noreste (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

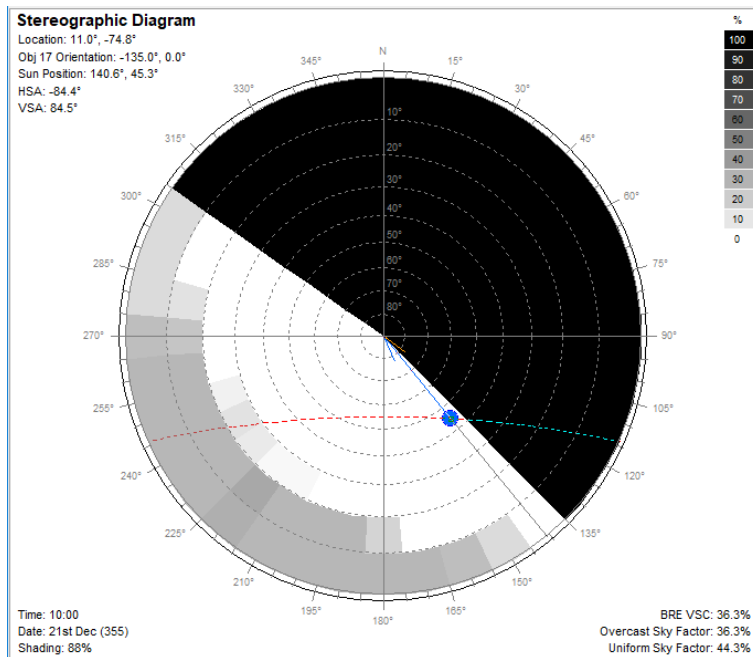


Figura 160. Diagrama estereográfico fachada suroeste (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

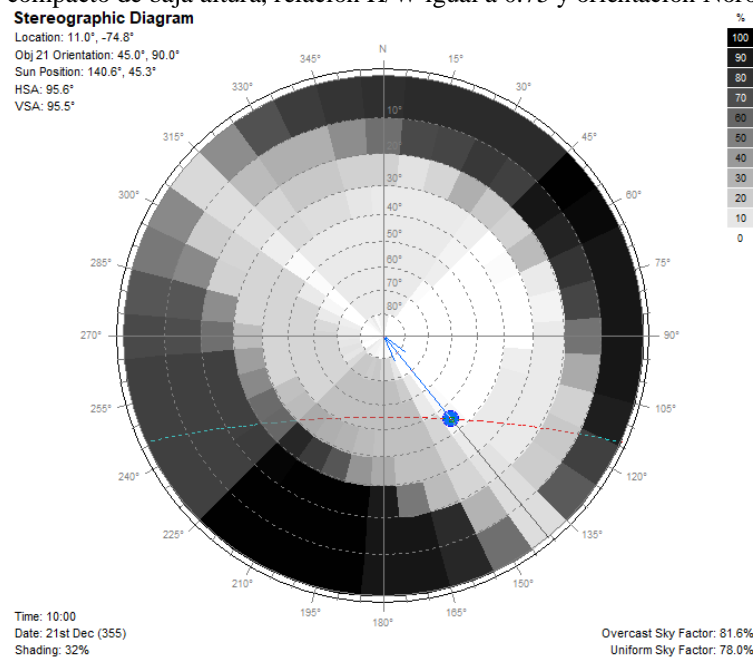


Figura 161. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

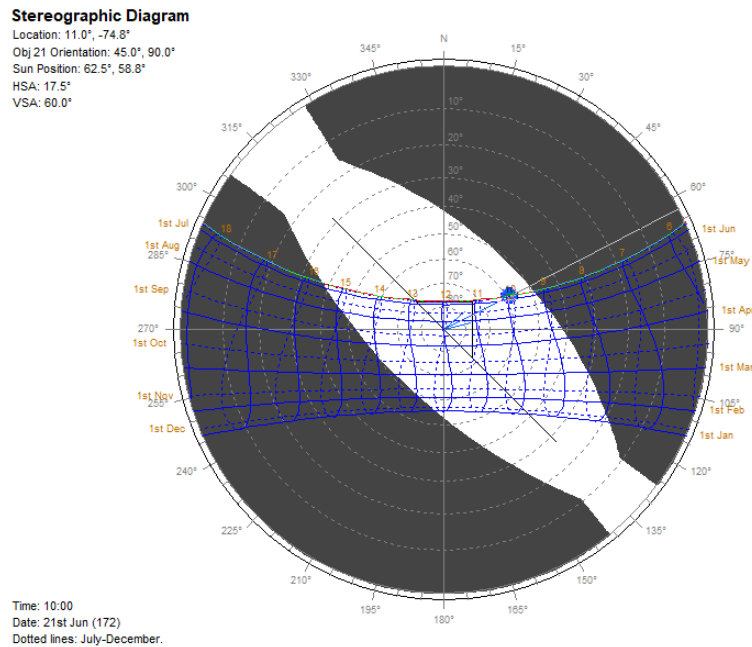


Figura 162. Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

6.2.9 Espacio urbano con tejido abierto y de baja altura (LCZ 6 Abierto de baja altura) con relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur (NS):

En los casos de los modelos de espacios urbanos seleccionados cuyo tejido es abierto, tanto de baja y de gran altura, se realiza primeramente el análisis de porcentajes de sombras y diagramas estereográficos para las fechas simuladas (21 de junio y 21 de diciembre). Con esto, se busca relacionar los efectos de la arborización en espacios urbanos y, por consiguiente, en la cantidad de radiación incidente en cada uno de los elementos del cañón urbano en las distintas orientaciones de ejes de calle del modelo. En el caso de las simulaciones de porcentaje de sombras en el modelo LCZ 6, con orientación Norte-Sur, en el solsticio de junio, para la fachada este el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 58.96 %; en la fachada oeste, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 62.76 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 73.96 % (ver tabla 35) (ver figura 163). De igual forma, se presenta un análisis comparativo entre la incidencia de sombras en los elementos

del cañón urbano del modelo de espacio urbano con tejido compacto de baja altura, con respecto a este modelo realizado (ver figura 164).

Tabla 35

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 6 con h/w igual a 0.75 con orientación Norte-Sur

Análisis comparativo: Sombra incidente LCZ 6- Abierto de baja altura en solsticio de junio			
Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada este (%)	Fachada oeste (%)
06:00	83	28	100
06:30	83	28	100
07:00	83	28	100
07:30	83	28	100
08:00	79	28	100
08:30	79	28	100
09:00	81	28	100
09:30	83	28	100
10:00	83	28	100
10:30	83	22	100
11:00	83	0	100
11:30	83	0	100
12:00	83	0	100
12:30	40	100	0
13:00	51	100	0
13:30	56	100	17
14:00	68	100	28
14:30	68	100	28
15:00	63	100	28
15:30	69	100	28
16:00	69	100	28
16:30	74	100	28
17:00	74	100	28
17:30	74	100	28
18:00	74	100	28

Nota. Elaboración propia

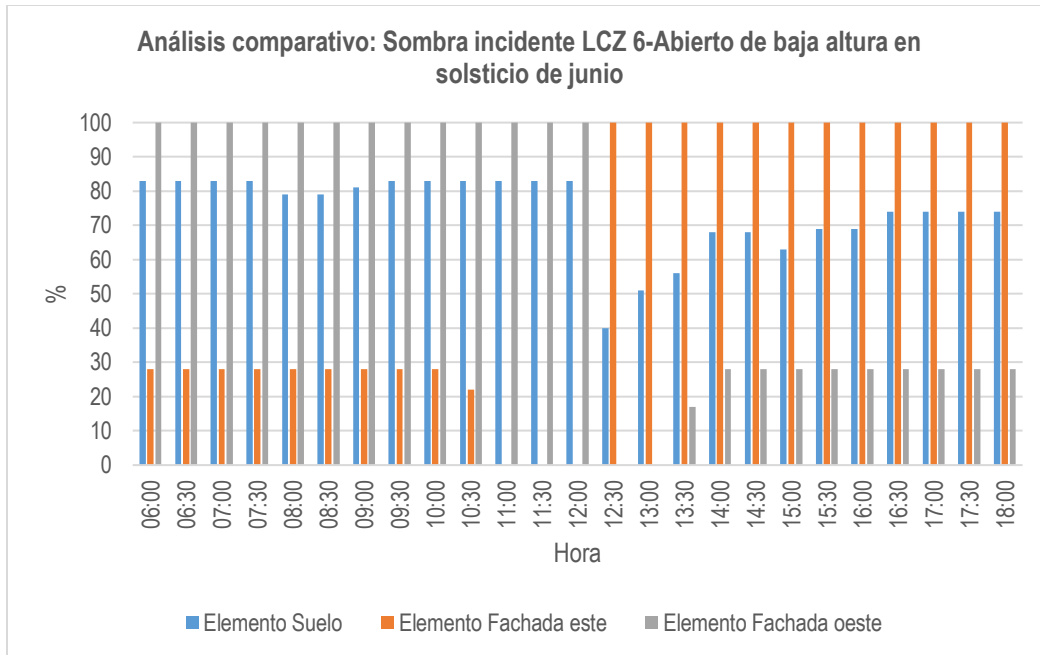


Figura 163. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

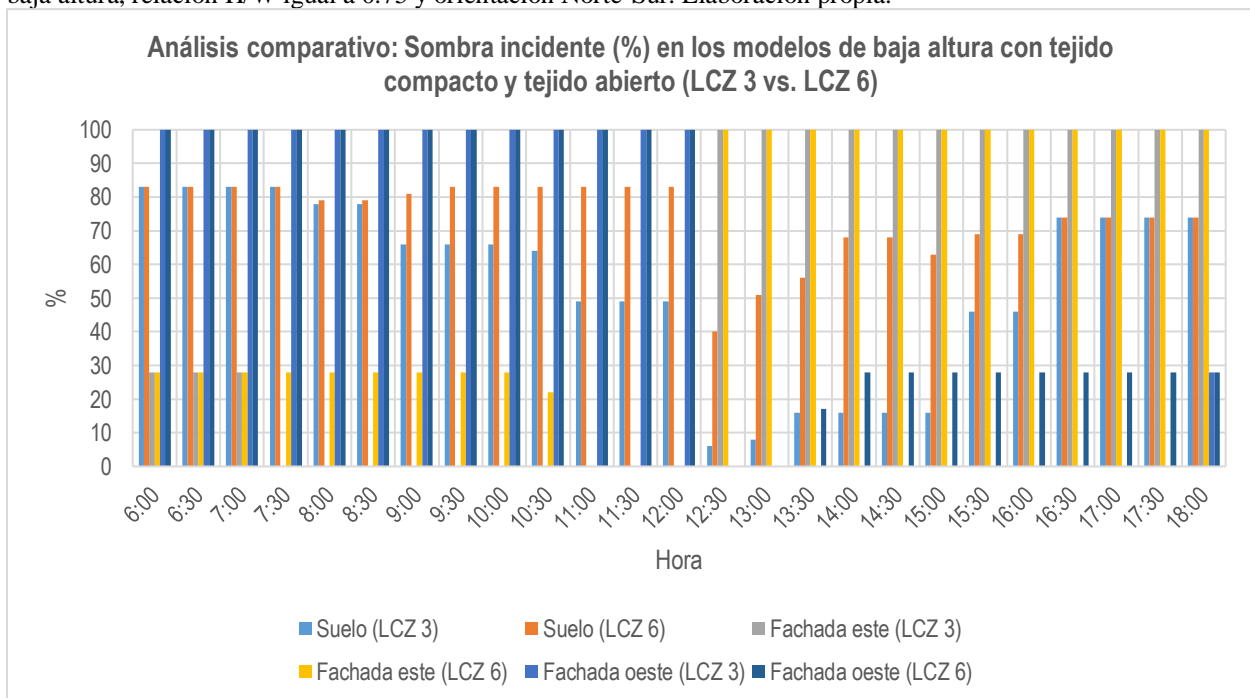


Figura 164. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura vs espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

Comparando los resultados obtenidos para el 21 de junio, para el elemento suelo en ambos modelos las primeras horas de la mañana son favorables, no obstante, entre las nueve de

la mañana y cuatro de la tarde, los porcentajes de sombras son más favorables en el modelo con tejido abierto. Para la fachada este, los porcentajes son mejores para horas de la mañana en el modelo con tejido abierto, después de mediodía los porcentajes se igualan en ambos modelos a 100 %. En el caso de la fachada oeste, desde las seis de la mañana hasta las doce del mediodía los porcentajes de sombras son de 100 % en ambos modelos, no obstante, después del medio día los datos son bastantes desfavorables en el modelo con tejido compacto y, en cierto modo, diferenciador para el modelo con tejido abierto.

Para el caso de la fachada este, la diferencia en algunas horas de la mañana entre ambos modelos oscila entre 22 % a 28 %, favorable para el modelo con arborización, sucediendo lo mismo para la fachada oeste en horas de la tarde, favorable nuevamente para el modelo con tejido abierto. Los promedios de porcentajes de sombras diarios entre los elementos del cañón urbano para los modelos comparados, son respectivamente: Elemento suelo LCZ 3 de 54.52 % y elemento suelo LCZ 6 de 73.96 %; fachada este LCZ 3 de 51.36 % y fachada este LCZ 6 de 58.96 %; fachada oeste LCZ 3 de 53.12 % y fachada oeste LCZ 6 de 62.76 %. La diferencia entre los elementos del cañón urbano es a favor del espacio urbano con tejido abierto y de baja altura, para el elemento suelo de 19.44 %, fachada este de 7.6 % y fachada oeste de 9.64 %. En un primer momento, se puede concluir que la arborización en espacios urbanos resulta un factor diferenciador en los porcentajes de sombras generados en los elementos del cañón urbano (ver figura 165).

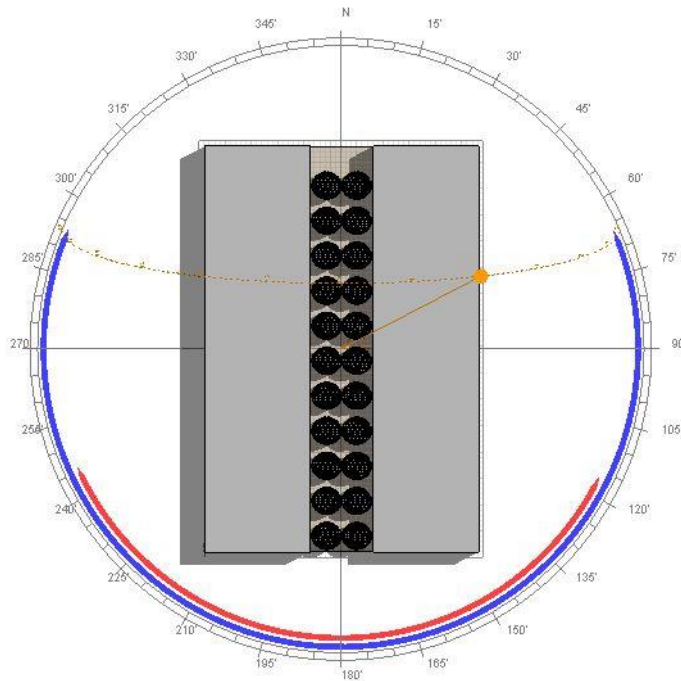


Figura 165. Sombras generadas por los árboles para 21 de junio (10 horas): Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

En el solsticio de diciembre, para la fachada este el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 60 %; en la fachada oeste, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 56 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 83 % (ver tabla 36) (ver figura 166). De igual forma, se presenta un análisis comparativo entre la incidencia de sombras en los elementos del cañón urbano del modelo de espacio urbano con tejido compacto de baja altura, con respecto a este modelo realizado (ver figura 167).

Tabla 36 *Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 6 con h/w igual a 0.75 con orientación Norte-Sur*

Análisis comparativo: Sombra incidente (%)			
LCZ 6-Abierto de baja altura en solsticio de junio			
Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada este (%)	Fachada oeste (%)

06:30	91	28	100
07:00	91	28	100
07:30	91	28	100
08:00	91	14	100
08:30	91	14	100
09:00	88	14	100
09:30	83	14	100
10:00	84	14	100
10:30	84	14	100
11:00	76	14	100
11:30	79	2	100
12:00	23	100	0
12:30	46	100	0
13:00	56	100	14
13:30	86	100	14
14:00	74	100	14
14:30	88	100	14
15:00	84	100	14
15:30	99	100	14
16:00	99	100	14
16:30	99	100	28
17:00	99	100	28
17:30	99	100	28

Nota. Elaboración propia

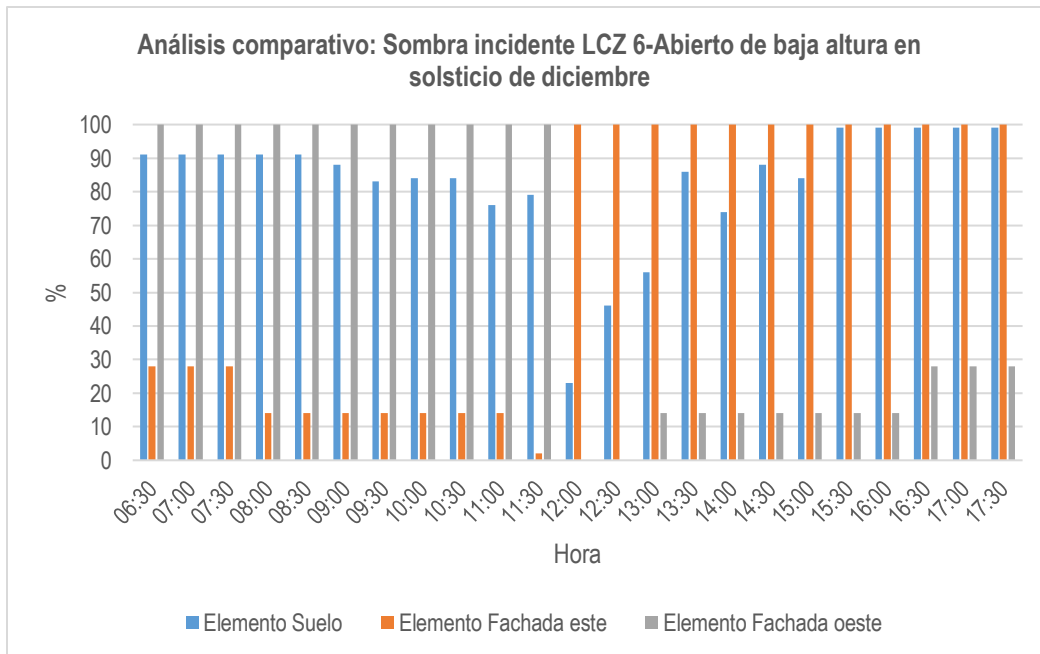


Figura 166. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

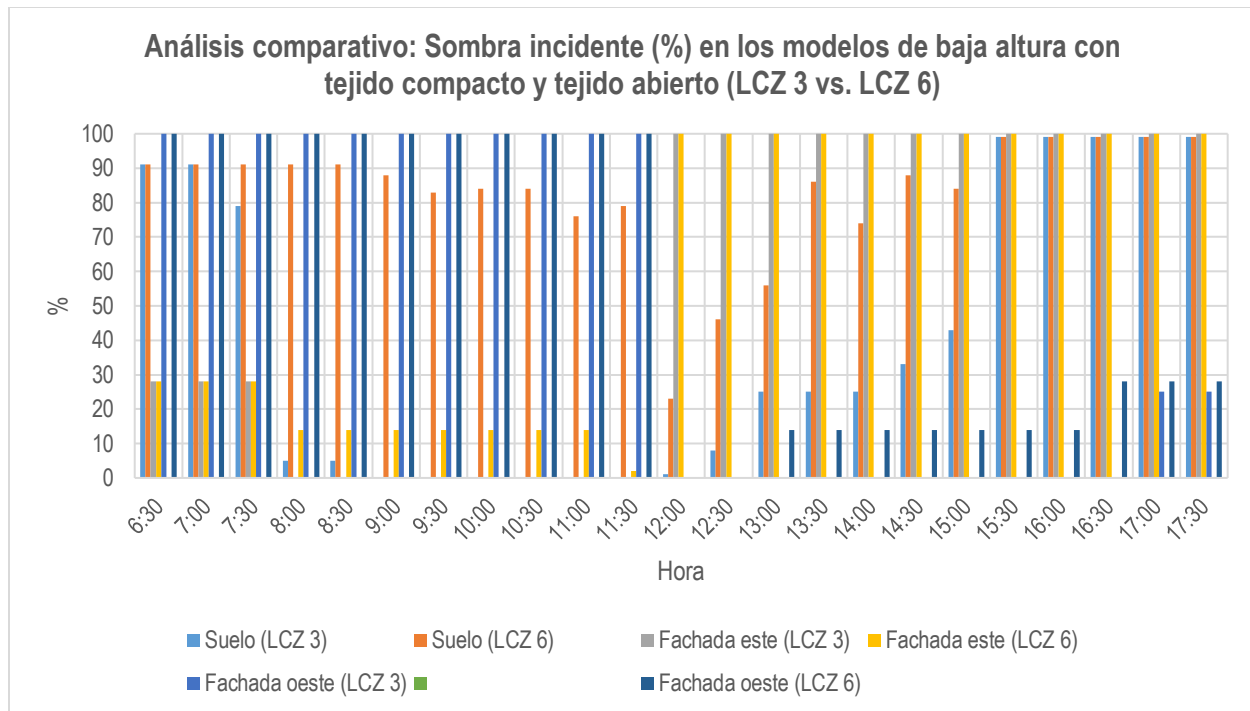


Figura 167. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura vs espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

Los elementos del cañón urbano que presentan mejores porcentajes de sombras a lo largo de las horas del día con incidencia solar pertenecen al espacio urbano con tejido abierto de baja altura (LCZ 6 con arborización); la diferencia entre promedios de porcentaje diario de sombra sobre cada uno de los elementos del cañón urbano para el solsticio de diciembre en los modelos comparados es: elemento suelo de 42.3 %, fachada este de 4.35 % y fachada oeste de 5.7 %. Todas estas diferencias a favor del espacio urbano con tejido abierto de baja altura. Ciertamente, la mayor diferencia se presenta en el elemento suelo, puesto que, la arborización en muchas horas del día genera gran porcentaje de sombra en este elemento.

Tanto en el solsticio de junio como en el solsticio de diciembre, el espacio urbano con tejido abierto de baja altura, donde hay presencia de arborización; sería preferible este tipo de espacios urbanos cuando se diseñan calles con ejes orientados de norte a sur, tomando a consideración la

cantidad de árboles a colocar y la separación entre cada uno y la cercanía a la fachada de la edificación.

En los diagramas estereográficos de elementos de cañón urbano para el 21 de junio, a las diez de la mañana, en la fachada este el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 30.5%, el factor de cielo cubierto es de 30.5 % y el factor de cielo uniforme es de 37.7 %; en la fachada oeste, el BRE VSC es de 30.7 %, el factor de cielo cubierto es de 30.7 % y el factor de cielo uniforme es de 38 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 25.9 % y el factor de cielo uniforme es de 24.4 % (ver figura 168-170). Para el 21 de diciembre, se presentan los mismos porcentajes del solsticio de junio en cada uno de los elementos del cañón urbano. Además, se presenta un gráfico de factor de vista al cielo (SVF) del modelo analizado, para la fecha 21 de diciembre a las diez de la mañana (ver figura 171).

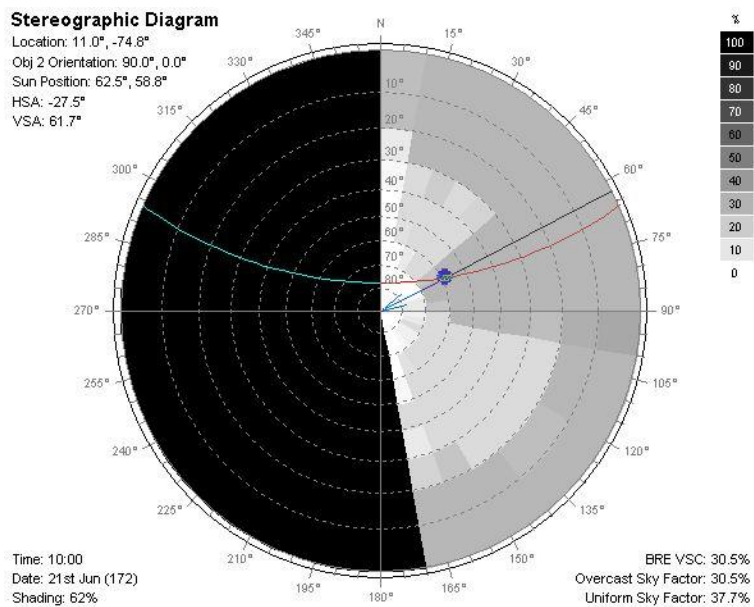


Figura 168. Diagrama estereográfico fachada este (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

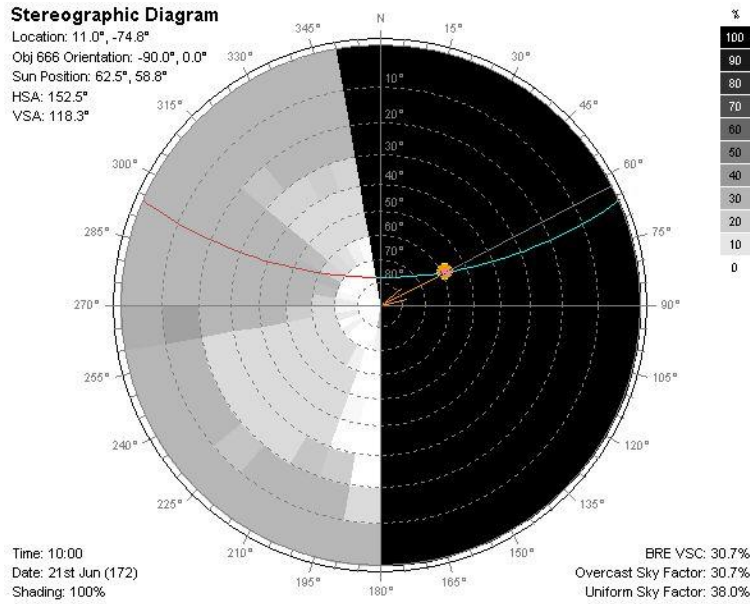


Figura 169. Diagrama estereográfico fachada oeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

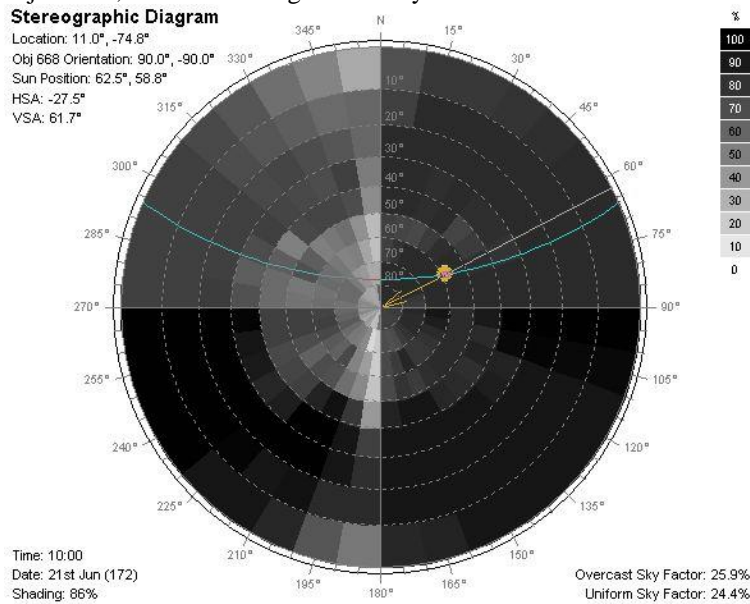


Figura 170. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

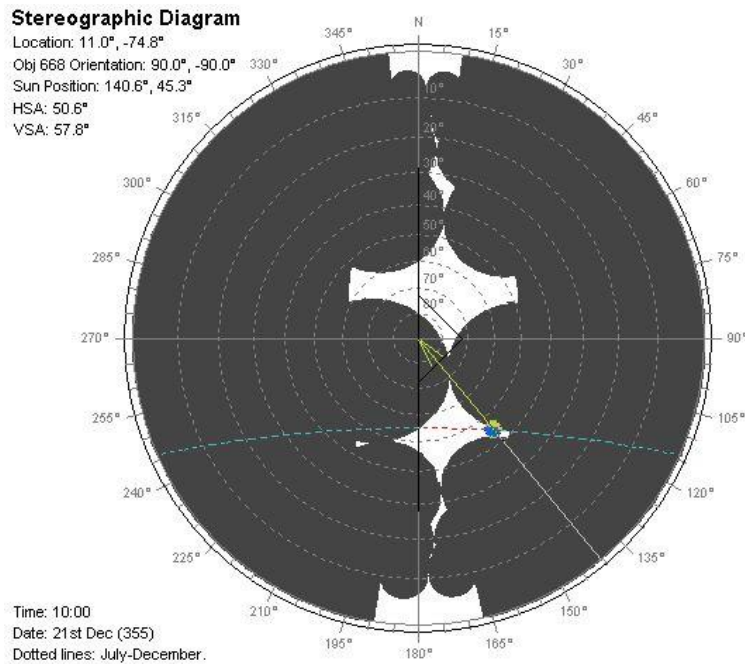


Figura 171. Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

6.2.10 Espacio urbano con tejido abierto y de baja altura (LCZ 6 Abierto de baja altura) con relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste (EO):

En el caso de las simulaciones de porcentaje de sombras en el modelo LCZ 6, con orientación Este-Oeste, en el solsticio de junio, para la fachada sur el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 100 %; en la fachada norte, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 16.04 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 69.72 % (ver tabla 37) (ver figura 172). De igual forma, se presenta un análisis comparativo entre la incidencia de sombras en los elementos del cañón urbano del modelo de espacio urbano con tejido compacto de baja altura con la misma orientación, con respecto a este modelo realizado. Con ese análisis, se identifica que los elementos del cañón urbano del modelo con tejido abierto de baja altura presentan mejores porcentajes de sombras a lo largo del día; la diferencia entre promedios diarios de porcentaje de sombra a favor del modelo LCZ 6 son: elemento suelo de 39.48 % y fachada norte de 15.64 %; para la fachada sur la

diferencia es de 0 %, puesto que en ambos modelos esta fachada presenta en las horas simuladas el mismo porcentaje de sombra, es decir, 100 % (ver figura 173).

Tabla 37

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 6 con h/w igual a 0.75 con orientación Este-Oeste

Análisis comparativo: Sombra incidente (%) LCZ 6- Abierto de baja altura en solsticio de junio			
Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada sur (%)	Fachada norte (%)
6:00	54	100	28
06:30	63	100	28
07:00	63	100	28
07:30	69	100	28
08:00	69	100	19
08:30	69	100	19
09:00	73	100	14
09:30	56	100	14
10:00	56	100	14
10:30	49	100	11
11:00	48	100	0
11:30	58	100	0
12:00	54	100	8
12:30	64	100	0
13:00	53	100	0
13:30	73	100	14
14:00	56	100	14
14:30	56	100	14
15:00	91	100	14
15:30	99	100	14
16:00	99	100	14
16:30	99	100	22
17:00	94	100	28
17:30	94	100	28
18:00	84	100	28

Nota. Elaboración propia.

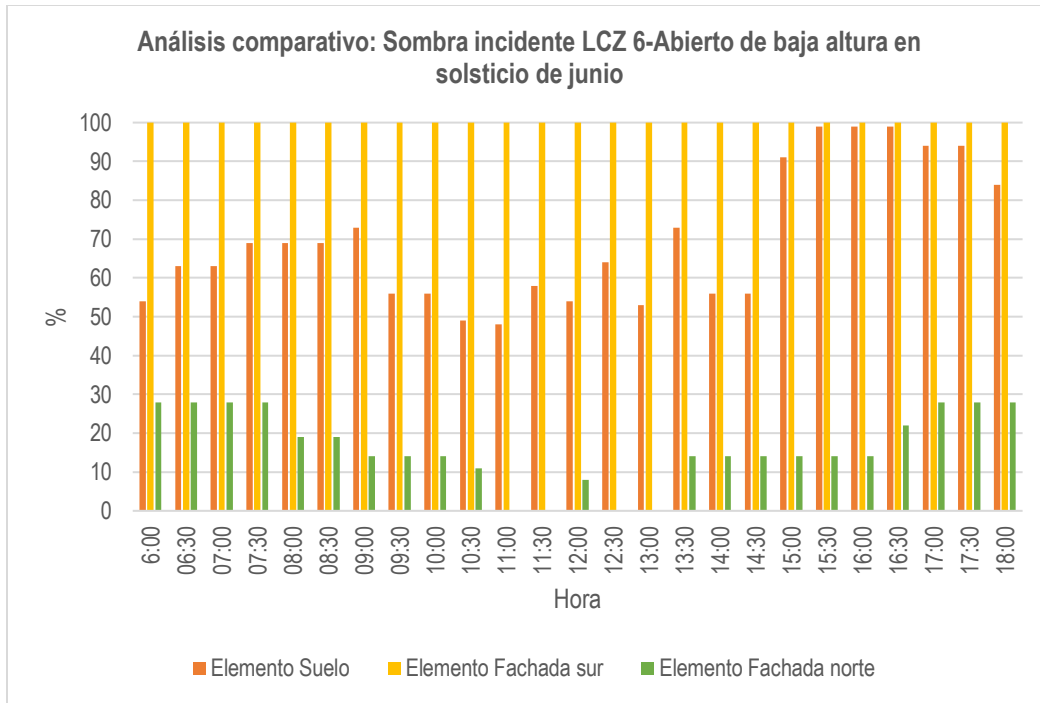


Figura 172. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

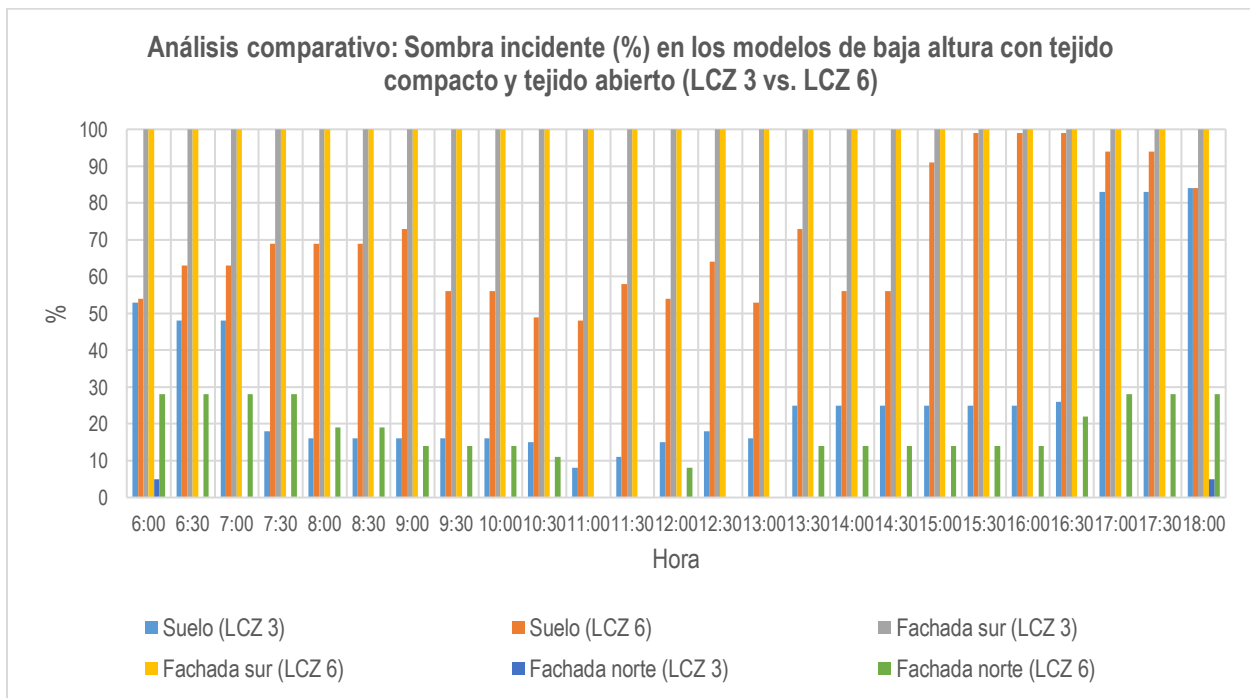


Figura 173. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura vs espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

La arborización es un factor esencial en la generación de sombras en los elementos del cañón urbano, afectando de forma positiva a estos y aumentando los porcentajes de sombras que

recibe el elemento, especialmente, para el elemento suelo que, en espacios urbanos sin arborización los rayos solares inciden directamente (ver figura 174).

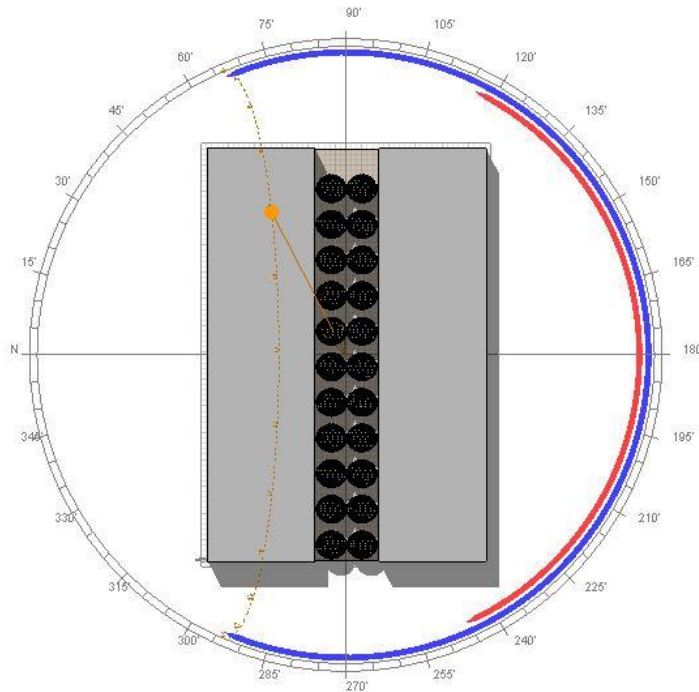


Figura 174. Sombras generadas por los árboles para 21 de junio (10 horas): Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

En el solsticio de diciembre, para la fachada sur el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 22.04 %; en la fachada norte, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 100 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 83.82 % (ver tabla 38) (ver figura 175). De igual forma, se presenta un análisis comparativo entre la incidencia de sombras en los elementos del cañón urbano del modelo de espacio urbano con tejido compacto de baja altura, con respecto a este modelo realizado (ver figura 176). En el análisis, se identifica que para los elementos del cañón urbano en el modelo con arborización presentan mejores porcentajes de sombras a lo largo del día. La diferencia entre promedios diarios de porcentajes de sombras a favor del modelo LCZ 6 son: en elemento suelo

de 45.82 %; fachada sur de 18.7 %. Para la fachada norte en ambos espacios urbanos, el promedio de sombra es igual a 100 %.

Tabla 38

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 6 con h/w igual a 0.75 con orientación Este-Oeste

Análisis comparativo: Sombra incidente LCZ 6- Abierto de baja altura en solsticio de diciembre			
Hora	Elemento		
	Suelo	Fachada sur	Fachada norte
06:30	78	28	100
07:00	78	28	100
07:30	83	28	100
08:00	83	28	100
08:30	83	28	100
09:00	83	17	100
09:30	73	14	100
10:00	76	28	100
10:30	76	28	100
11:00	83	28	100
11:30	83	28	100
12:00	84	28	100
12:30	83	14	100
13:00	83	14	100
13:30	81	14	100
14:00	81	14	100
14:30	91	14	100
15:00	91	14	100
15:30	91	14	100
16:00	91	14	100
16:30	91	28	100
17:00	91	28	100
17:30	91	28	100

Nota. Elaboración propia

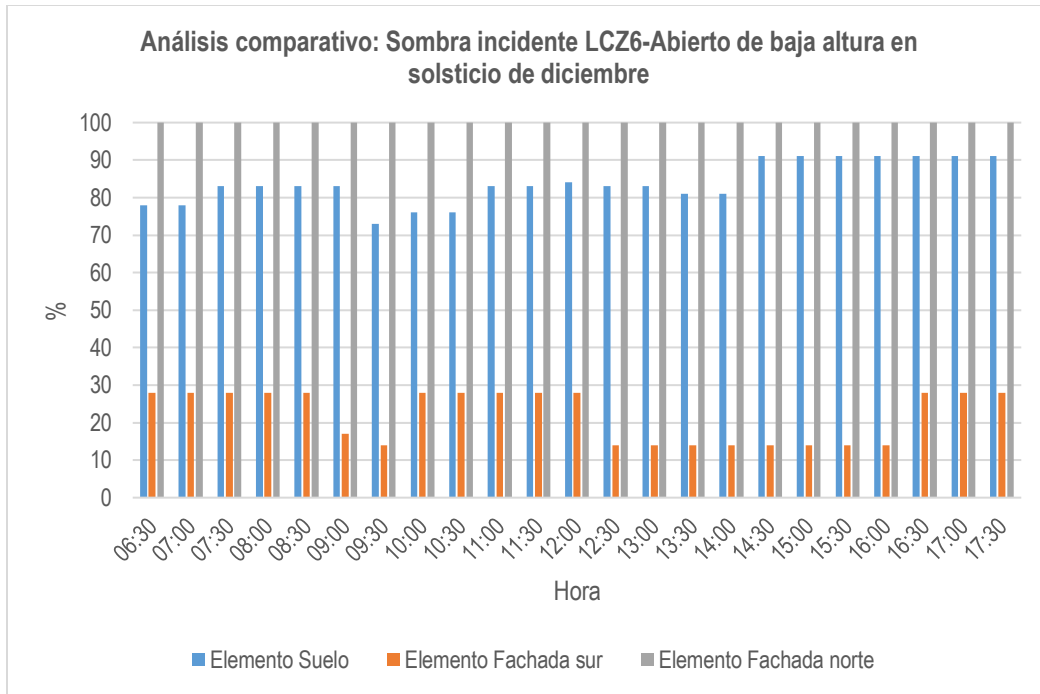


Figura 175. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

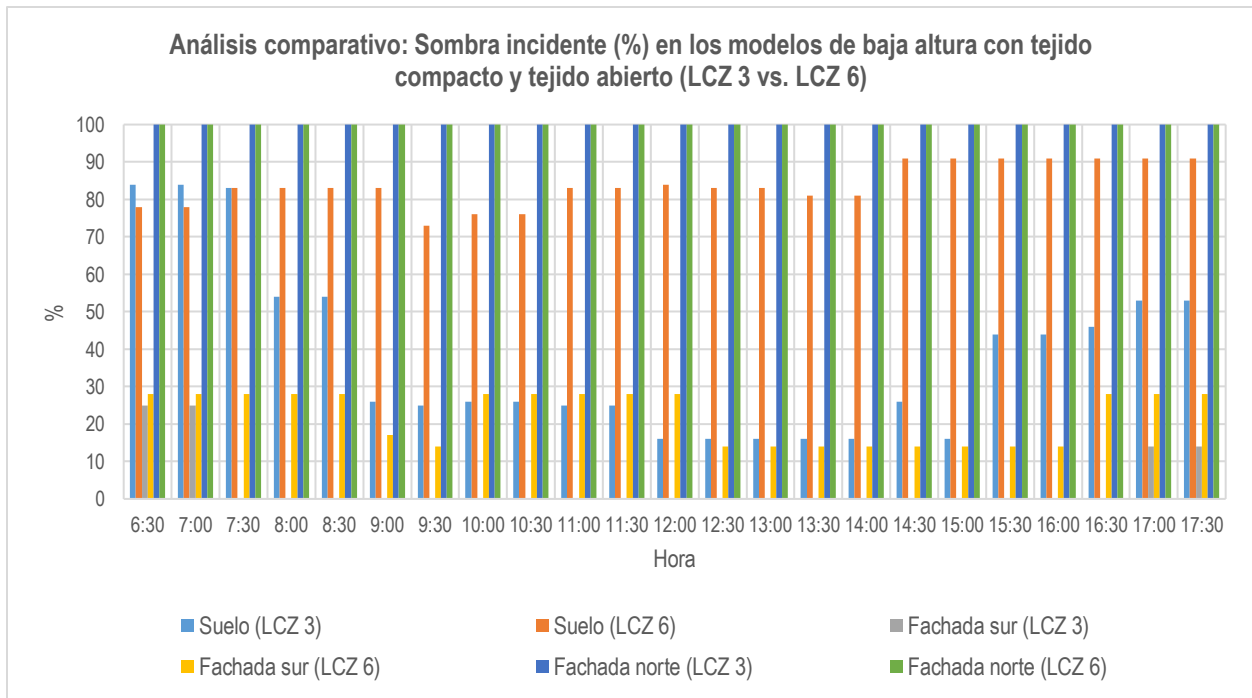


Figura 176. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura vs espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

En los diagramas estereográficos de elementos de cañón urbano para el 21 de junio, a las diez de la mañana, en la fachada sur el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 30.4 %, el factor de cielo cubierto es de 30.4 % y el factor de cielo uniforme es de 37.6 %; en la fachada norte, el BRE VSC es de 30.7 %, el factor de cielo cubierto es de 30.7 % y el factor de cielo uniforme es de 37.9 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 25.9 % y el factor de cielo uniforme es de 24.4 % (ver figura 177-179). Para el 21 de diciembre, se presentan los mismos porcentajes del solsticio de junio en cada uno de los elementos del cañón urbano. Además, se presenta un gráfico de factor de vista al cielo (SVF) del modelo analizado, para la fecha 21 de diciembre a las diez de la mañana (ver figura 180).

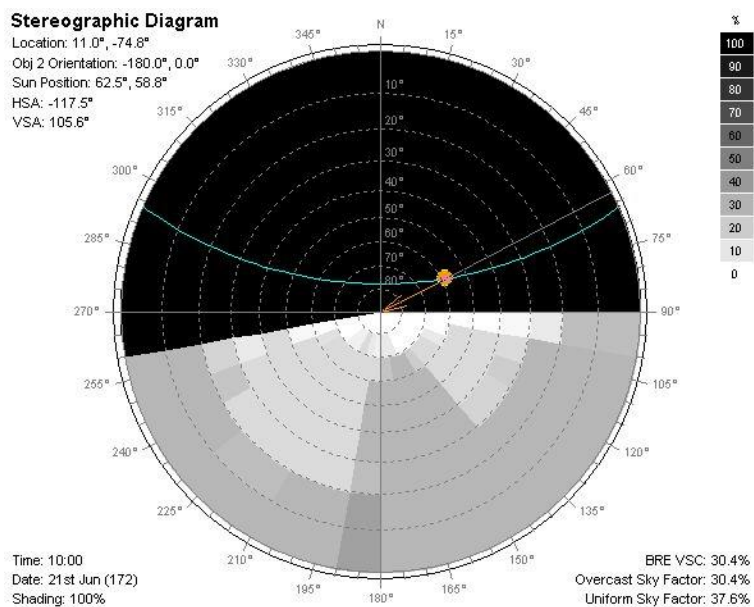


Figura 177. Diagrama estereográfico fachada sur (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

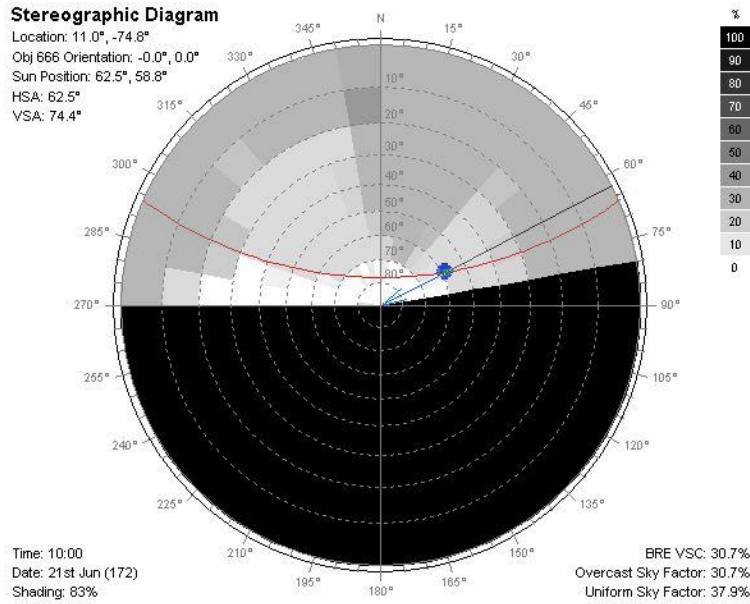


Figura 178. Diagrama estereográfico fachada norte (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

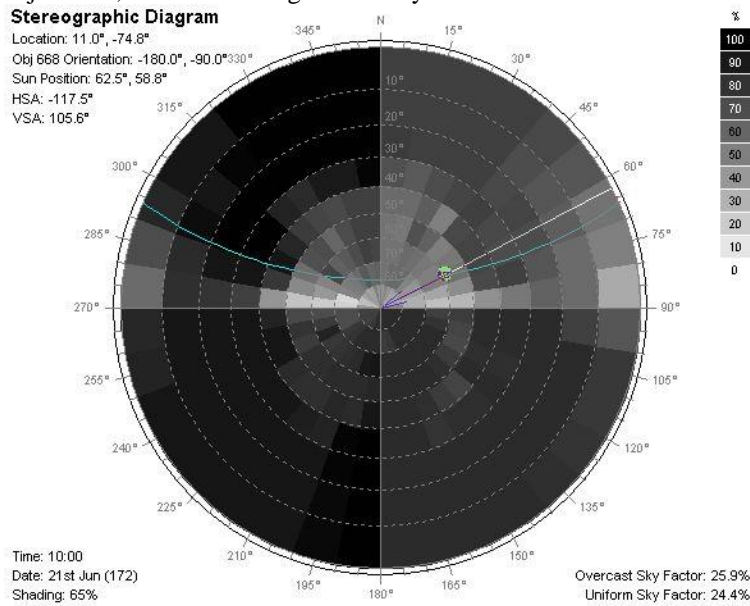


Figura 179. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

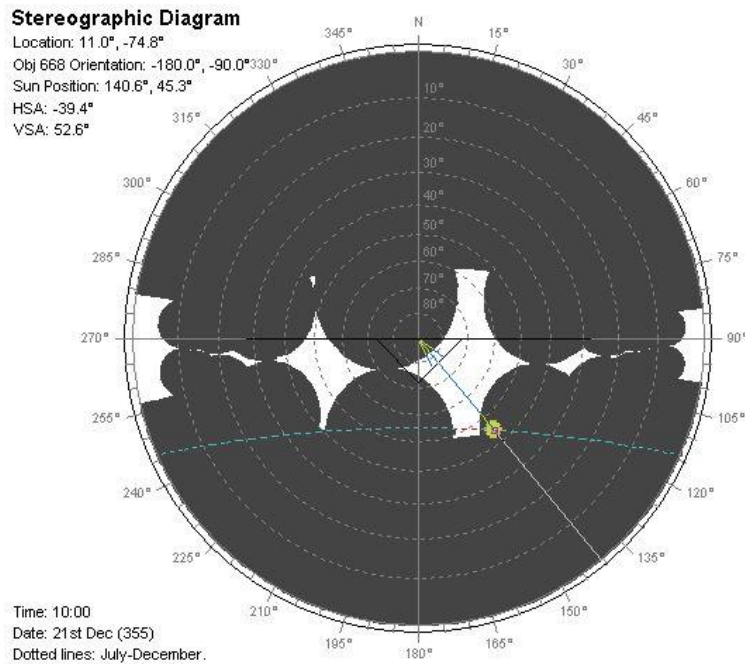


Figura 180. Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

6.2.11 Espacio urbano con tejido abierto y de baja altura (LCZ 6 Abierto de baja altura)

con relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste (NESO):

En el caso de las simulaciones de porcentaje de sombras en el modelo LCZ 6, con orientación Noreste-Suroeste, en el solsticio de junio, para la fachada sureste el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 63.64 %; en la fachada noroeste, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 51.44 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 77.56 % (ver tabla 39) (ver figura 181). De igual forma, se presenta un análisis comparativo entre la incidencia de sombras en los elementos del cañón urbano del modelo de espacio urbano con tejido compacto de baja altura con la misma orientación, con respecto a este modelo realizado. Con ese análisis, se identifica que los elementos del cañón urbano del modelo con tejido abierto de baja altura presentan mejores porcentajes de sombras a lo largo del día; la diferencia entre promedios diarios de porcentaje de

sombra a favor del modelo LCZ 6 son: elemento suelo de 41.76 % y fachada noroeste de 6.44 %; para la fachada sureste la diferencia es de 7 % (ver figura 182-183).

Tabla 39

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 6 con h/w igual a 0.75 con orientación Noreste-Suroeste

Análisis comparativo: Sombra incidente (%)			
LCZ 6-Abierto de baja altura en solsticio de junio			
Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada sureste (%)	Fachada noroeste (%)
06:00	78	28	100
06:30	83	28	100
07:00	83	28	100
07:30	83	28	100
08:00	81	19	100
08:30	81	19	100
09:00	81	14	100
09:30	71	14	100
10:00	73	11	100
10:30	79	2	100
11:00	83	0	100
11:30	33	100	0
12:00	49	100	0
12:30	58	100	2
13:00	61	100	2
13:30	74	100	14
14:00	74	100	14
14:30	69	100	14
15:00	71	100	14
15:30	89	100	14
16:00	89	100	14
16:30	99	100	14
17:00	99	100	28
17:30	99	100	28
18:00	99	100	28

Nota. Elaboración propia

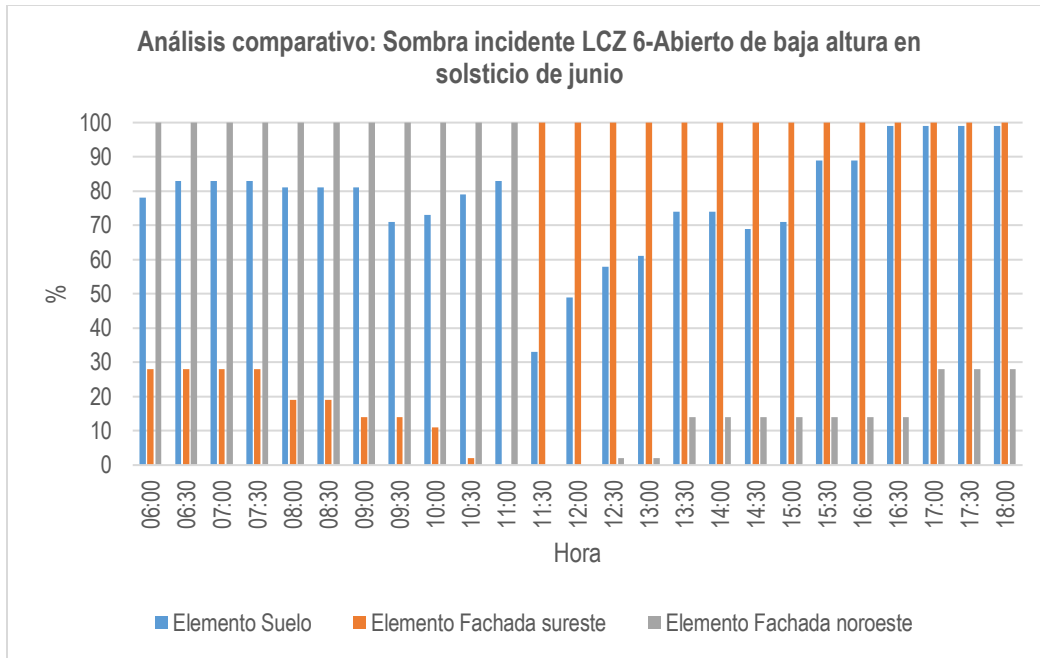


Figura 181. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

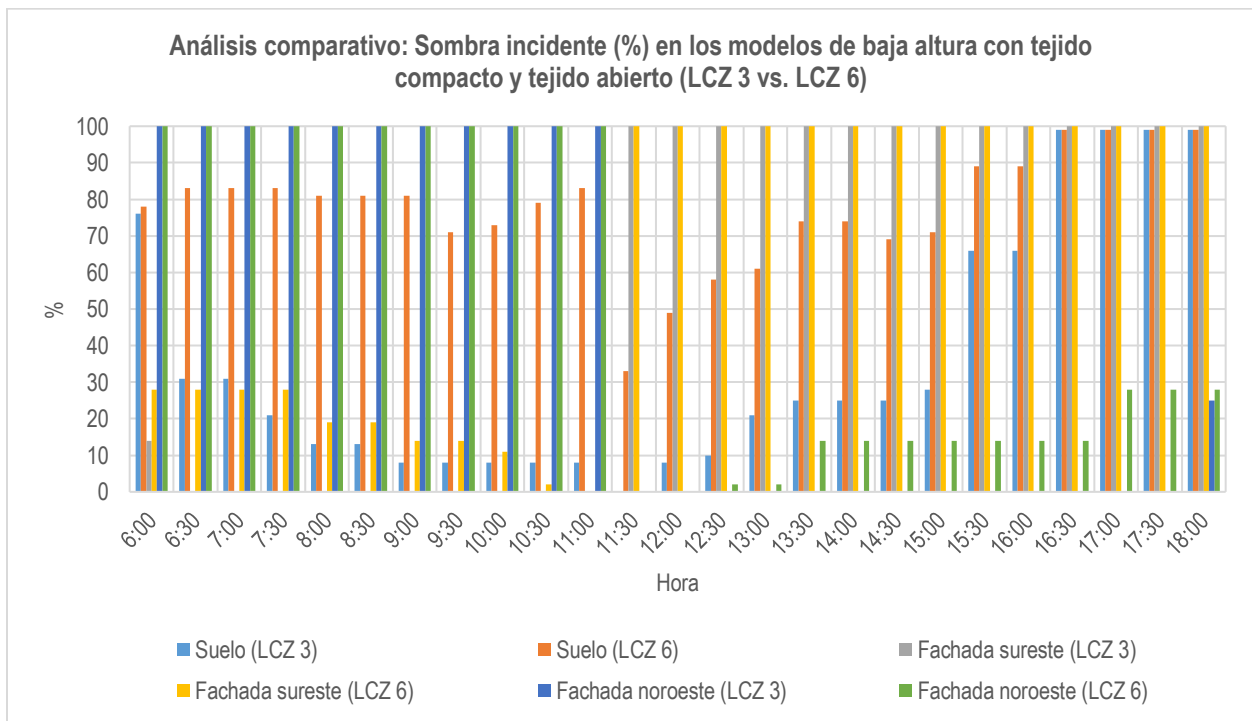


Figura 182. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura vs espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

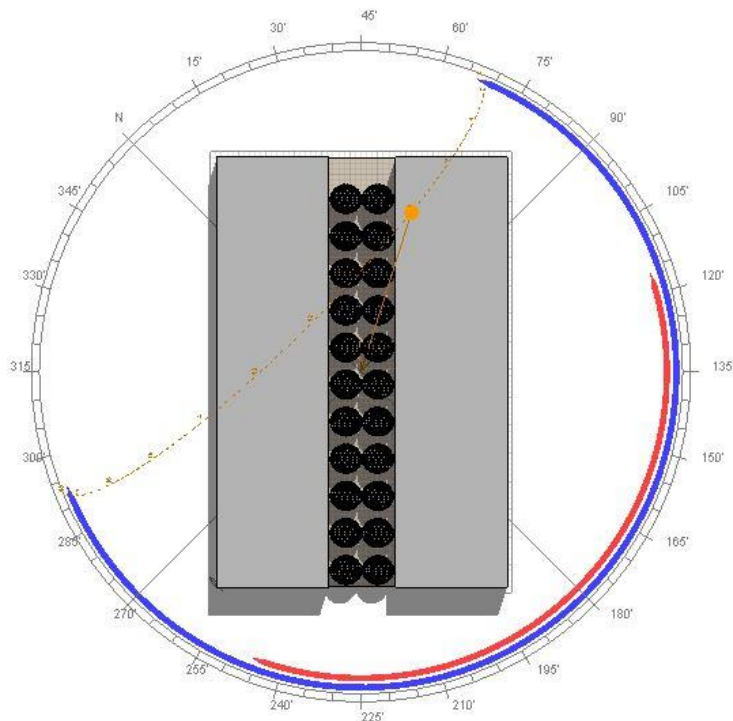


Figura 183. Sombras generadas por los árboles para 21 de junio (10 horas): Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

En el solsticio de diciembre, para la fachada sureste el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 48.91 %; en la fachada noroeste, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 74.86 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 82.56 % (ver tabla 40) (ver figura 184). De igual forma, se presenta un análisis comparativo entre la incidencia de sombras en los elementos del cañón urbano del modelo de espacio urbano con tejido compacto de baja altura, con respecto a este modelo realizado (ver figura 185). En el análisis, se identifica que para los elementos del cañón urbano en el modelo con arborización presentan mejores porcentajes de sombras a lo largo del día. La diferencia entre promedios diarios de porcentajes de sombras a favor del modelo LCZ 6 son: en elemento suelo de 59.43 %; fachada sureste de 10 % y fachada noroeste de 4.86 %.

Tabla 40 Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 6 con h/w igual a 0.75 con orientación Noreste-Suroeste

Análisis comparativo: Sombra incidente (%) LCZ
6-Abierto de baja altura en solsticio de junio

Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada sureste (%)	Fachada noroeste (%)
06:30	83	28	100
07:00	83	28	100
07:30	83	28	100
08:00	83	28	100
08:30	83	28	100
09:00	83	28	100
09:30	83	28	100
10:00	91	28	100
10:30	83	17	100
11:00	83	14	100
11:30	83	14	100
12:00	81	14	100
12:30	81	14	100
13:00	76	14	100
13:30	91	14	100
14:00	86	100	100
14:30	74	100	0
15:00	74	100	0
15:30	91	100	19
16:00	91	100	19
16:30	83	100	28
17:00	66	100	28
17:30	84	100	28

Nota. Elaboración propia

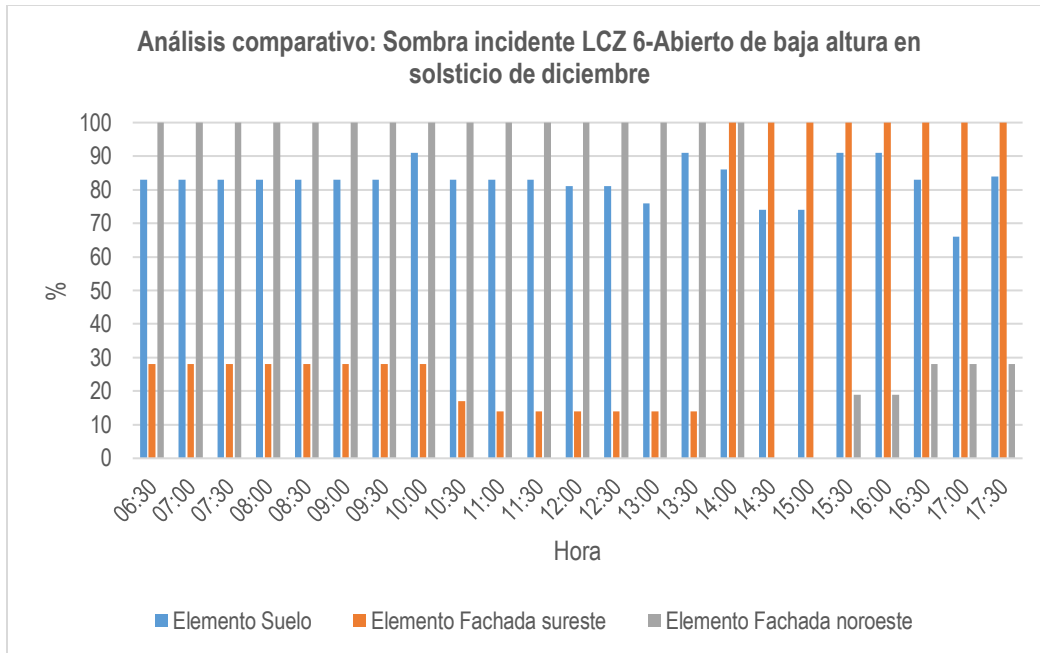


Figura 184. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

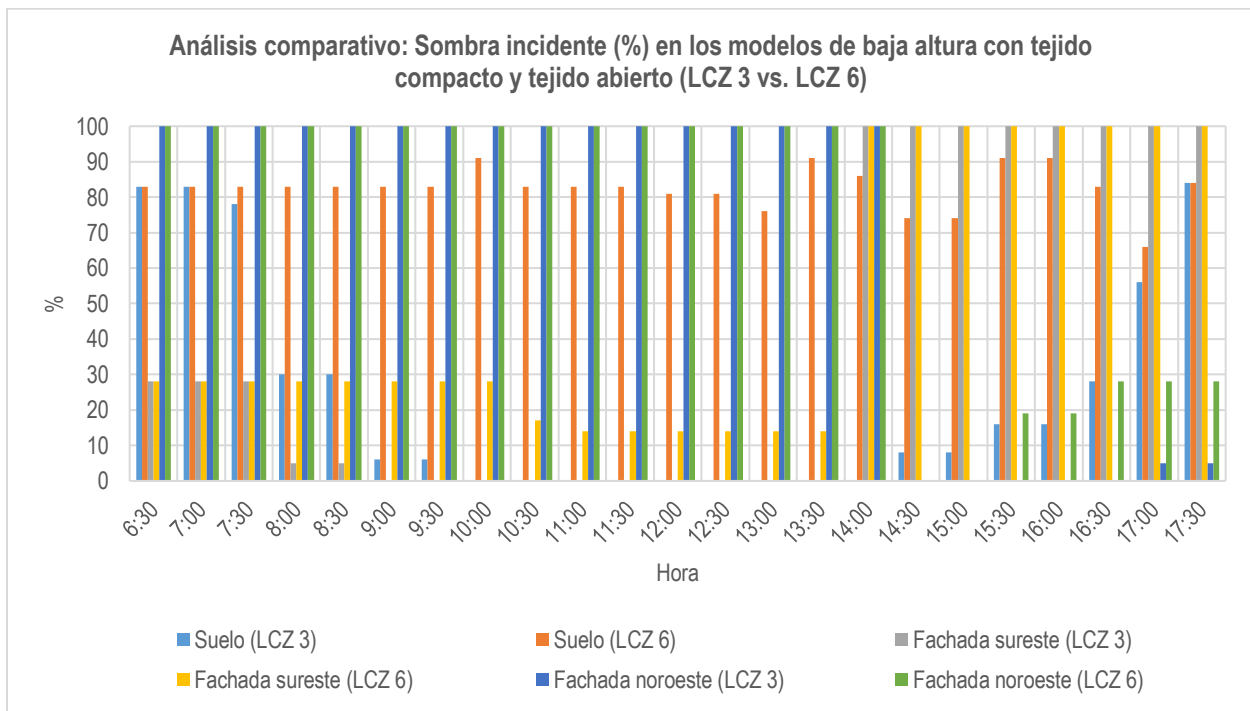


Figura 185. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura vs espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

En los diagramas estereográficos de elementos de cañón urbano para el 21 de junio, a las diez de la mañana, en la fachada sureste el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 30.4 %, el factor de cielo cubierto es de 30.4 % y el factor de cielo uniforme es de 37.6 %; en la fachada noroeste, el BRE VSC es de 30.7 %, el factor de cielo cubierto es de 30.7 % y el factor de cielo uniforme es de 38 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 26 % y el factor de cielo uniforme es de 24.5 % (ver figura 186-188). Para el 21 de diciembre, se presentan los mismos porcentajes del solsticio de junio en cada uno de los elementos del cañón urbano. Además, se presenta un gráfico de factor de vista al cielo (SVF) del modelo analizado, para la fecha 21 de diciembre a las diez de la mañana (ver figura 189).

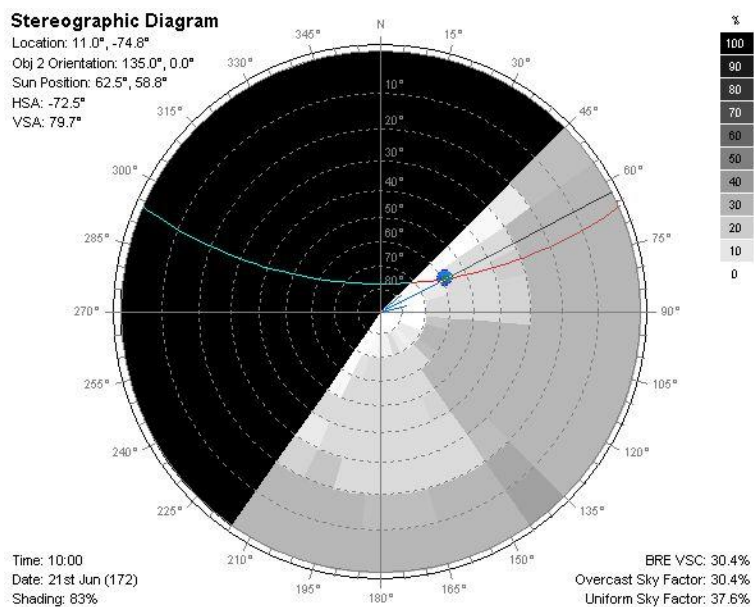


Figura 186. Diagrama estereográfico fachada sureste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

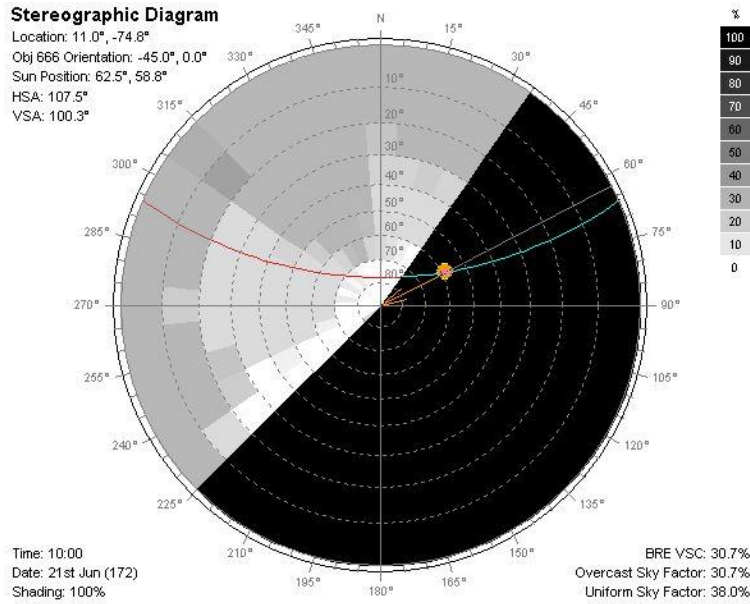


Figura 187. Diagrama estereográfico fachada noroeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

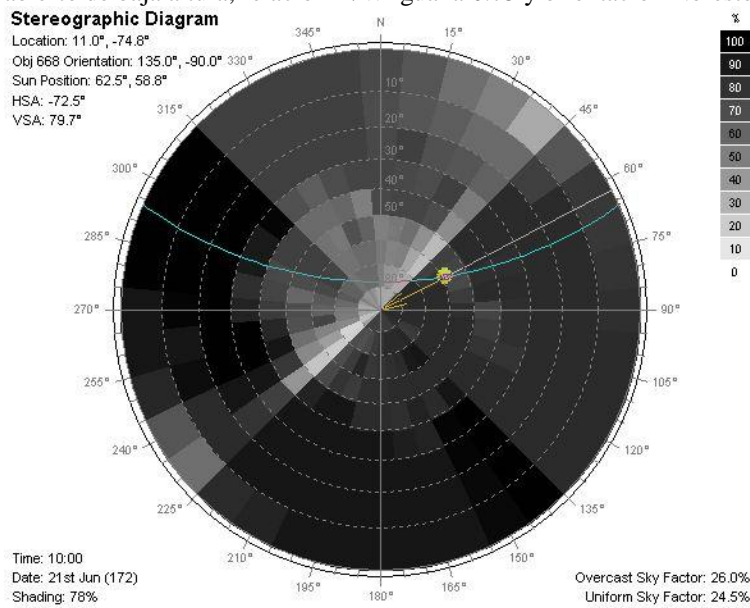


Figura 188. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

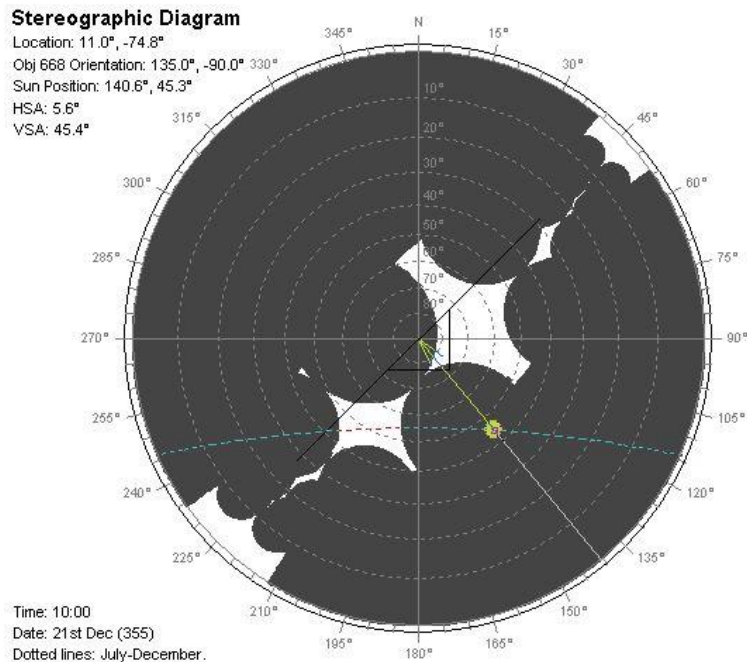


Figura 189. Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

6.2.12 Espacio urbano con tejido abierto y de baja altura (LCZ 6 Abierto de baja altura)

con relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste (NESO):

En el caso de las simulaciones de porcentaje de sombras en el modelo LCZ 6, con orientación Noroeste-Sureste, en el solsticio de junio, para la fachada suroeste el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 67.68 %; en la fachada noreste, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 51.68 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 73.24 % (ver tabla 41) (ver figura 190). De igual forma, se presenta un análisis comparativo entre la incidencia de sombras en los elementos del cañón urbano del modelo de espacio urbano con tejido compacto de baja altura con la misma orientación, con respecto a este modelo realizado. Con ese análisis, se identifica que los elementos del cañón urbano del modelo con tejido abierto de baja altura presentan mejores porcentajes de sombras a lo largo del día; la diferencia entre promedios diarios de porcentaje de

sombra a favor del modelo LCZ 6 son: elemento suelo de 52.56 %, fachada noreste de 4.32 % y fachada suroeste la diferencia es de 7.12 % (ver figura 191-192).

Tabla 41

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 6 con h/w igual a 0.75 con orientación Noroeste-Sureste

Análisis comparativo: Sombra incidente (%) LCZ 6-Abierto de baja altura en solsticio de junio			
Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada suroeste (%)	Fachada noreste (%)
06:00	91	100	28
06:30	91	100	28
07:00	91	100	28
07:30	91	100	14
08:00	86	100	14
08:30	86	100	14
09:00	86	100	14
09:30	83	100	14
10:00	83	100	14
10:30	88	100	14
11:00	84	100	5
11:30	78	100	5
12:00	83	100	0
12:30	83	100	0
13:00	31	100	100
13:30	35	0	100
14:00	43	14	100
14:30	56	14	100
15:00	73	14	100
15:30	69	19	100
16:00	69	19	100
16:30	69	28	100
17:00	63	28	100
17:30	63	28	100
18:00	56	28	100

Nota. Elaboración propia

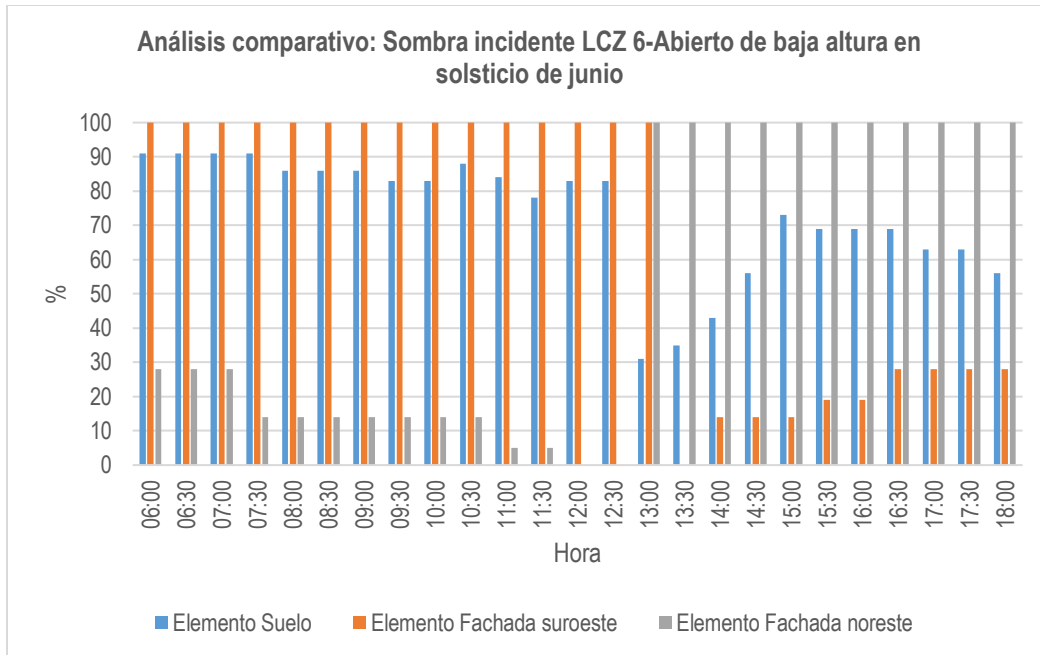


Figura 190. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

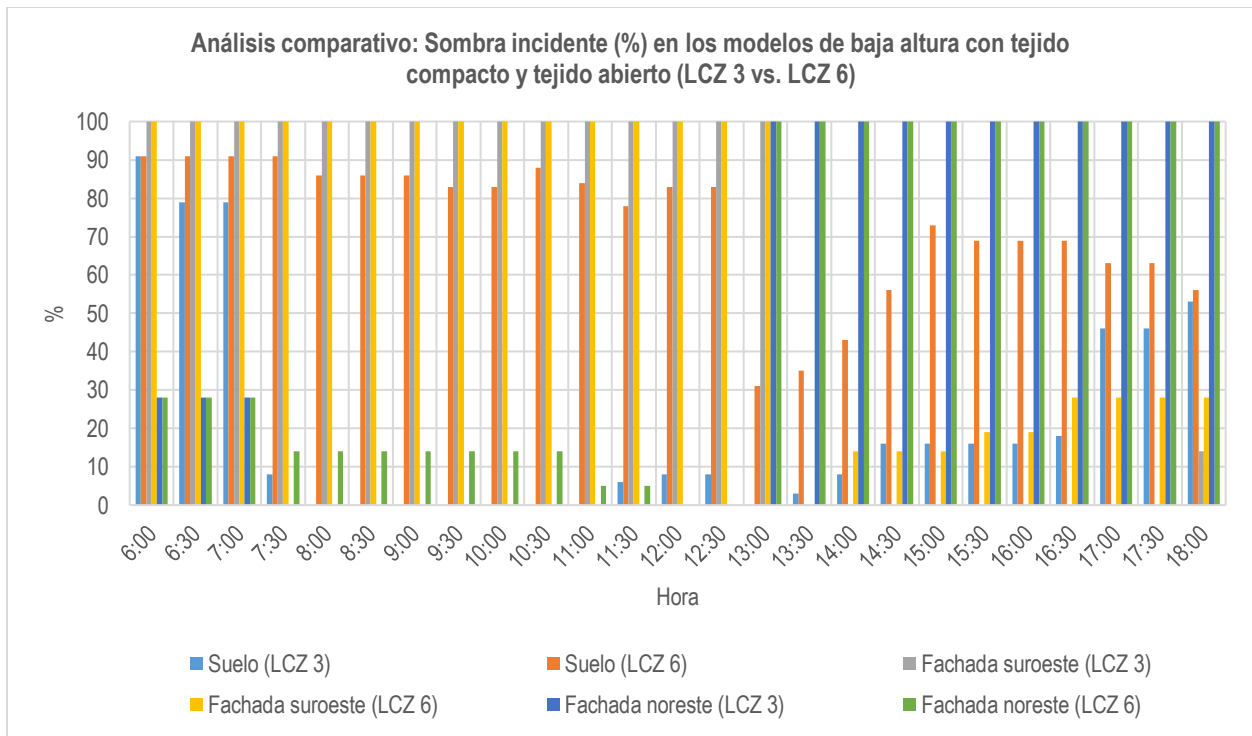


Figura 191. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura vs espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

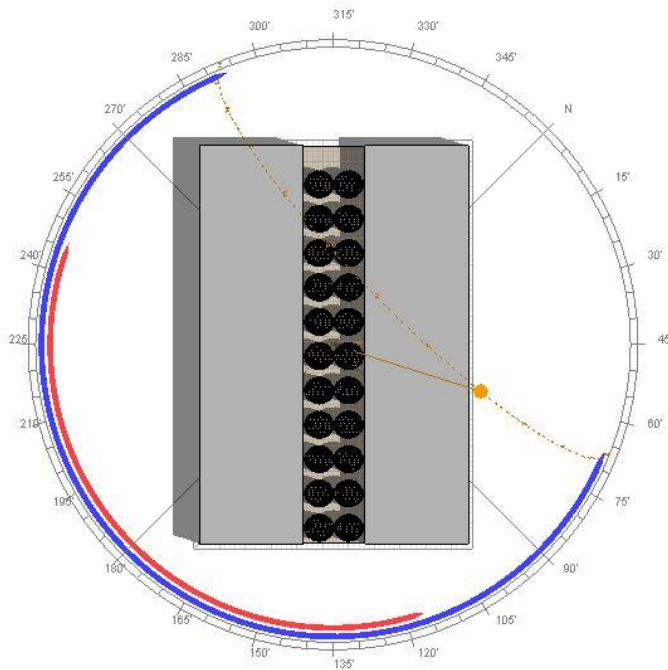


Figura 192. Sombras generadas por los árboles para 21 de junio (10 horas): Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

En el solsticio de diciembre, para la fachada suroeste el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 43.91 %; en la fachada noreste, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 74.86 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 83.39 % (ver tabla 42) (ver figura 193). De igual forma, se presenta un análisis comparativo entre la incidencia de sombras en los elementos del cañón urbano del modelo de espacio urbano con tejido compacto de baja altura, con respecto a este modelo realizado (ver figura 194). En el análisis, se identifica que para los elementos del cañón urbano en el modelo con arborización presentan mejores porcentajes de sombras a lo largo del día. La diferencia entre promedios diarios de porcentajes de sombras a favor del modelo LCZ 6 son: en elemento suelo de 35.6 %; fachada suroeste de 8.87 % y fachada noreste de 3.09 %.

Tabla 42 *Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 6 con h/w igual a 0.75 con orientación Noroeste-Sureste*

Análisis comparativo: Sombra incidente (%) LCZ 6-

Abierto de baja altura en solsticio de junio			
Hora	Elemento		
	Suelo (%)	Fachada suroeste (%)	Fachada noreste (%)
06:30	91	100	28
07:00	84	100	28
07:30	91	100	28
08:00	91	100	17
08:30	91	100	17
09:00	91	100	100
09:30	86	100	100
10:00	43	0	100
10:30	78	2	100
11:00	58	14	100
11:30	66	14	100
12:00	69	14	100
12:30	61	14	100
13:00	68	14	100
13:30	74	14	100
14:00	74	28	100
14:30	68	28	100
15:00	68	28	100
15:30	74	28	100
16:00	74	28	100
16:30	74	28	100
17:00	74	28	100
17:30	74	28	100

Nota. Elaboración propia

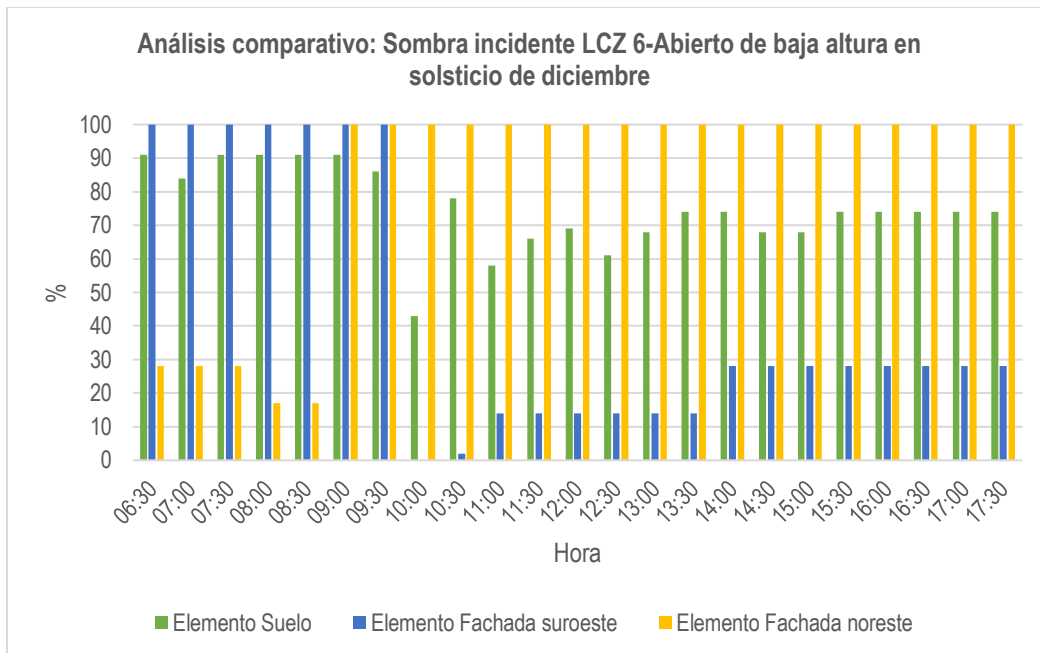


Figura 193. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

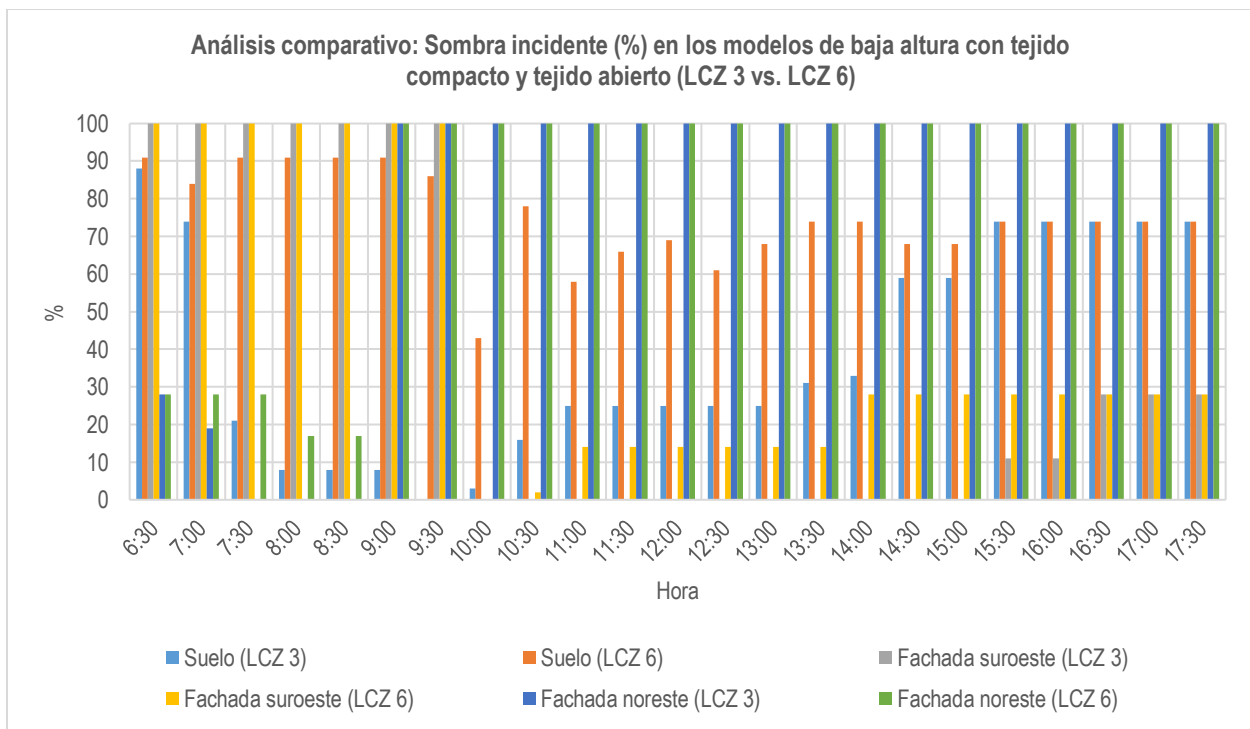


Figura 194. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura vs espacio urbano con tejido compacto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

En los diagramas estereográficos de elementos de cañón urbano para el 21 de junio, a las diez de la mañana, en la fachada noreste el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 30.5 %, el

factor de cielo cubierto es de 30.5 % y el factor de cielo uniforme es de 37.8 %; en la fachada suroeste, el BRE VSC es de 30.7 %, el factor de cielo cubierto es de 30.7 % y el factor de cielo uniforme es de 38 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 26 % y el factor de cielo uniforme es de 24.5 % (ver figura 195-197). Para el 21 de diciembre, se presentan los mismos porcentajes del solsticio de junio en cada uno de los elementos del cañón urbano.

Además, se presenta un gráfico de factor de vista al cielo (SVF) del modelo analizado, para la fecha 21 de junio a las diez de la mañana (ver figura 198).

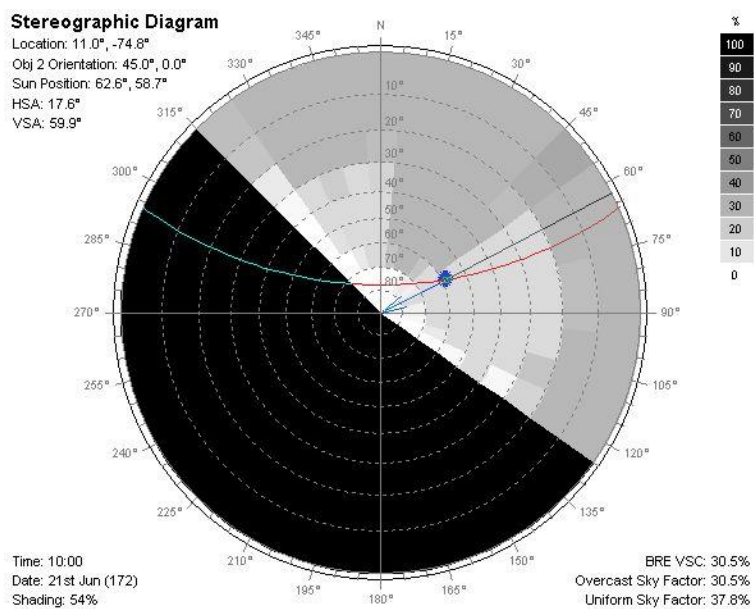


Figura 195. Diagrama estereográfico fachada noreste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

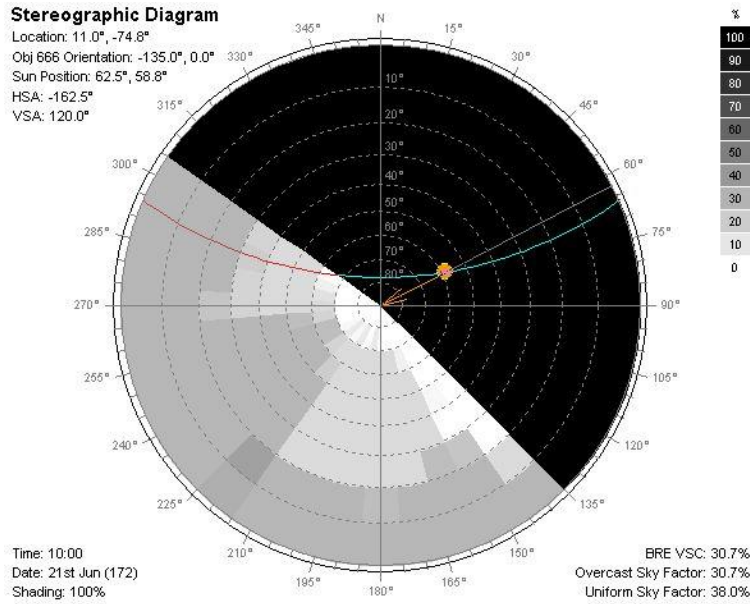


Figura 196. Diagrama estereográfico fachada suroeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

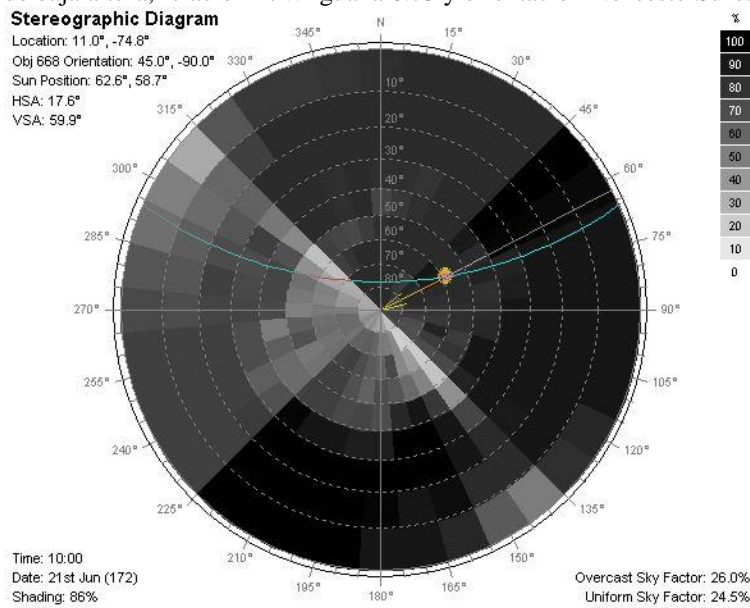


Figura 197. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

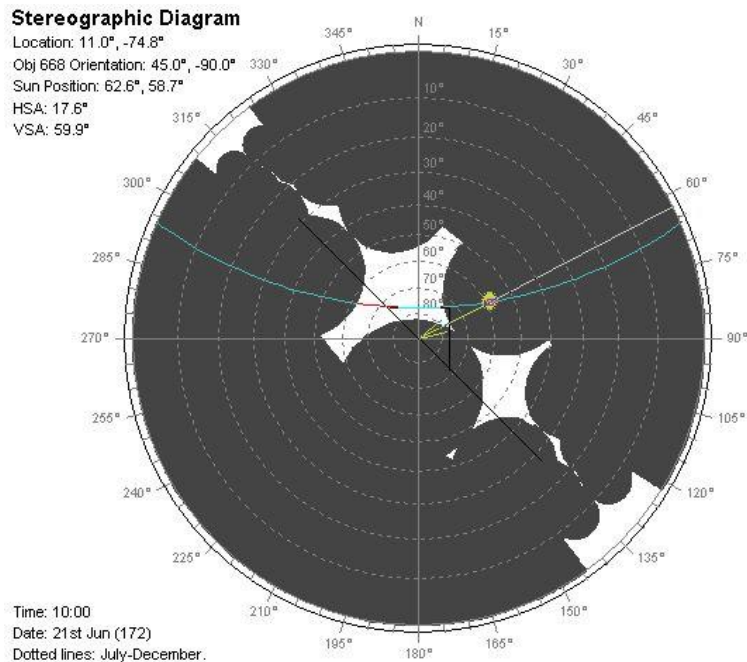


Figura 198. Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura, relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

6.2.13 Espacio urbano con tejido abierto y de gran altura (LCZ 4 Abierto de gran altura) con relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur (NS):

En el caso de las simulaciones de porcentaje de sombras en el modelo LCZ 4, con orientación Norte-Sur, en el solsticio de junio, para la fachada este el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 55.44 %; en la fachada oeste, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 59.6 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 61.64 % (ver tabla 43) (ver figura 199). De igual forma, se presenta un análisis comparativo entre la incidencia de sombras en los elementos del cañón urbano del modelo de espacio urbano con tejido compacto gran altura con la misma orientación, con respecto a este modelo realizado. Con ese análisis, se identifica que los elementos del cañón urbano del modelo con tejido abierto de gran altura presentan mejores porcentajes de sombras a lo largo del día; la diferencia entre promedios diarios de porcentaje de sombra a favor del modelo

LCZ 4 son: elemento suelo de 11.84 %, fachada este de 3.12 % y fachada oeste la diferencia es de 1.24 % (ver figura 200).

Tabla 43

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 4 con h/w igual a 1 con orientación Norte-Sur

Análisis comparativo: Sombra incidente (%) LCZ 4- Abierto de gran altura en solsticio de junio			
Hora	Elemento		
	Suelo	Fachada este	Fachada oeste
06:00	79	47	100
06:30	79	46	100
07:00	79	46	100
07:30	78	30	100
08:00	78	7	100
08:30	78	7	100
09:00	79	3	100
09:30	68	0	100
10:00	68	0	100
10:30	46	0	100
11:00	38	0	100
11:30	38	0	100
12:00	27	0	100
12:30	5	100	0
13:00	7	100	0
13:30	36	100	0
14:00	73	100	0
14:30	73	100	0
15:00	76	100	6
15:30	74	100	10
16:00	74	100	10
16:30	72	100	30
17:00	72	100	42
17:30	72	100	42
18:00	72	100	50

Nota. Elaboración propia

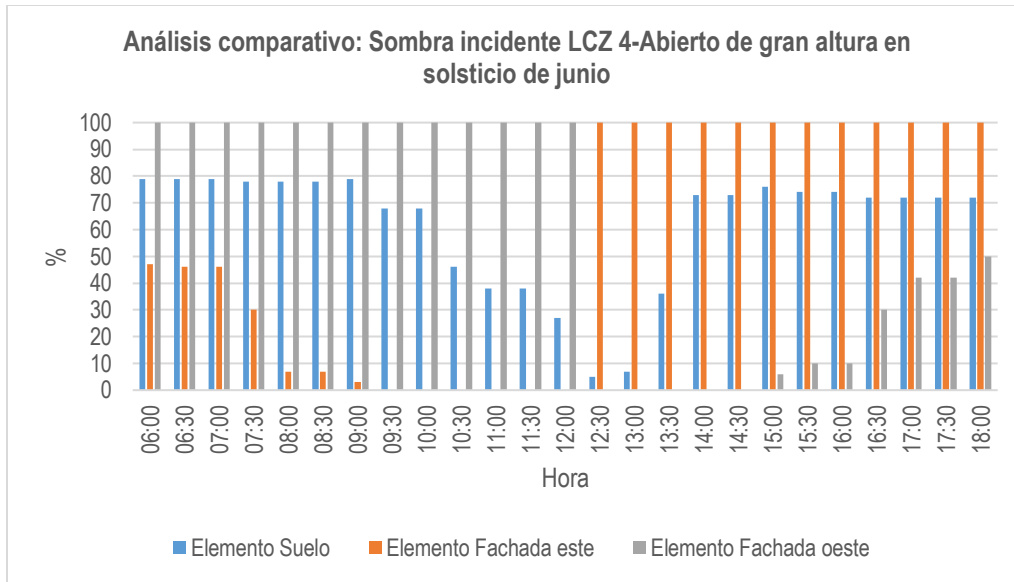


Figura 199. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

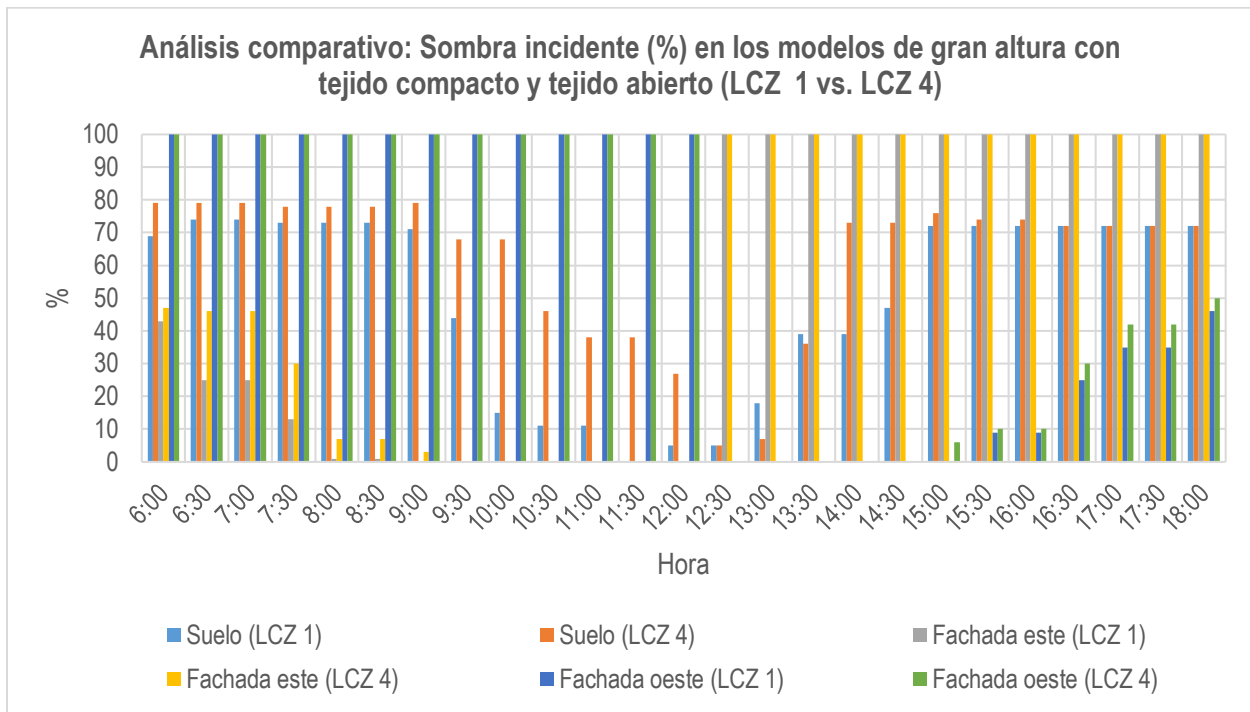


Figura 200. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura vs espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

En el solsticio de diciembre, para la fachada este el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 63.04 %; en la fachada oeste, el promedio diario de

porcentaje de sombra es de 56.91 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 74.35 % (ver tabla 44) (ver figura 201). De igual forma, se presenta un análisis comparativo entre la incidencia de sombras en los elementos del cañón urbano del modelo de espacio urbano con tejido compacto de gran altura, con respecto a este modelo realizado (ver figura 202). En el análisis, se identifica que para los elementos del cañón urbano en el modelo con arborización presentan mejores porcentajes de sombras a lo largo del día. La diferencia entre promedios diarios de porcentajes de sombras a favor del modelo LCZ 4 son: en elemento suelo de 15.48 %; fachada este de 0 % y fachada oeste de 1.87 %.

Tabla 44

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 4 con h/w igual a 1 con orientación Norte-Sur

Análisis comparativo: Sombra incidente (%) LCZ 4- Abierto de gran altura en solsticio de diciembre			
Hora	Elemento		
	Suelo	Fachada este	Fachada oeste
06:30	94	69	100
07:00	94	69	100
07:30	94	47	100
08:00	94	28	100
08:30	94	28	100
09:00	94	9	100
09:30	75	0	100
10:00	62	0	100
10:30	62	0	100
11:00	42	0	100
11:30	39	0	100
12:00	1	100	0
12:30	14	100	0
13:00	25	100	0
13:30	82	100	0
14:00	91	100	0
14:30	95	100	0
15:00	94	100	3
15:30	94	100	10

16:00	94	100	28
16:30	92	100	28
17:00	92	100	70
17:30	92	100	70

Nota. Elaboración propia.

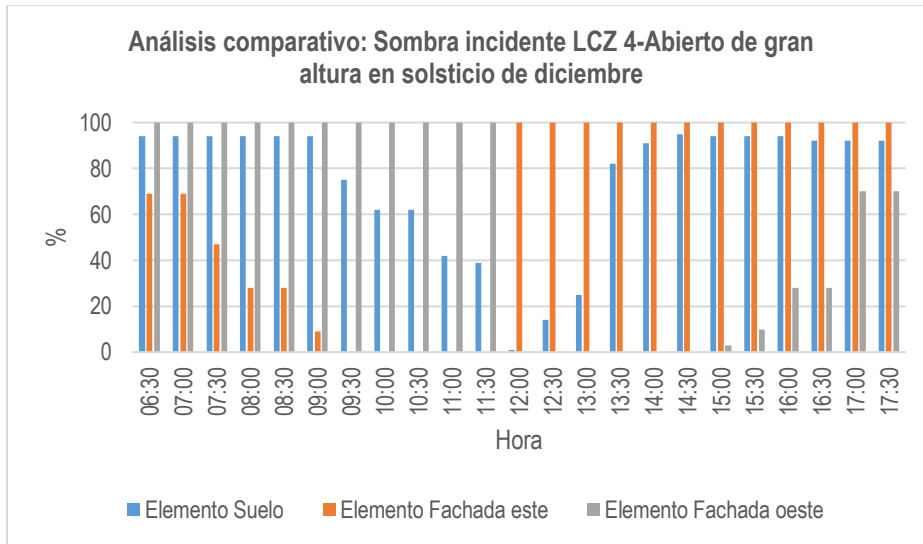


Figura 201. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

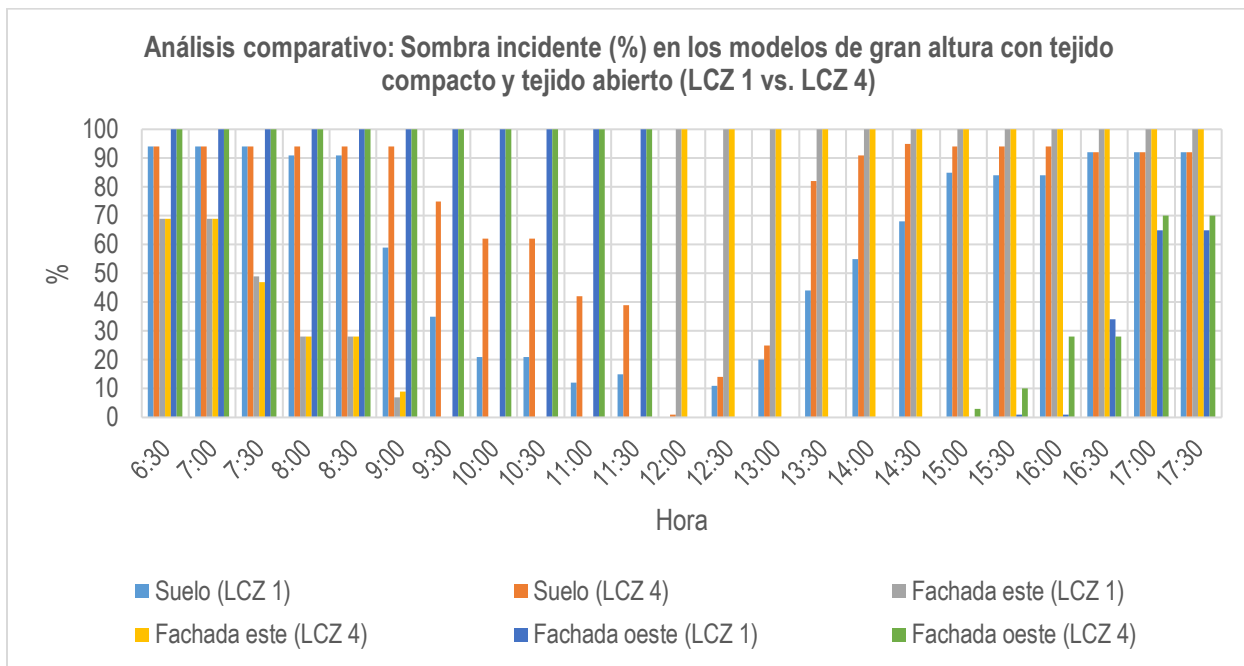


Figura 202. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura vs espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

En los diagramas estereográficos de elementos de cañón urbano para el 21 de junio, a las diez de la mañana, en la fachada este el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 31.7 %, el factor de cielo cubierto es de 31.7 % y el factor de cielo uniforme es de 37.2 %; en la fachada oeste, el BRE VSC es de 31.5 %, el factor de cielo cubierto es de 31.5 % y el factor de cielo uniforme es de 36.9 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 45.5 % y el factor de cielo uniforme es de 42.5 % (ver figura 203-205). Para el 21 de diciembre, se presentan los mismos porcentajes del solsticio de junio en cada uno de los elementos del cañón urbano. Además, se presenta un gráfico de factor de vista al cielo (SVF) del modelo analizado, para la fecha 21 de junio a las diez de la mañana (ver figura 206).

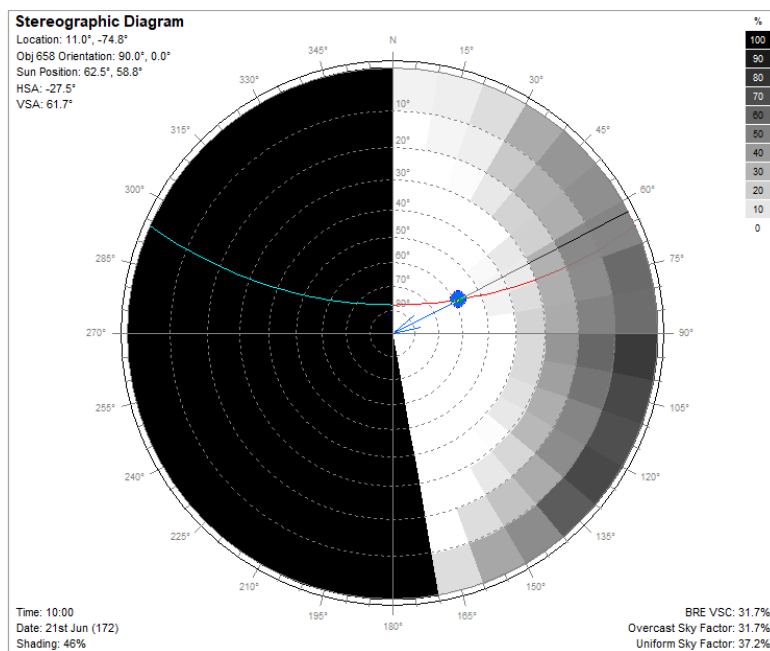


Figura 203. Diagrama estereográfico fachada este (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

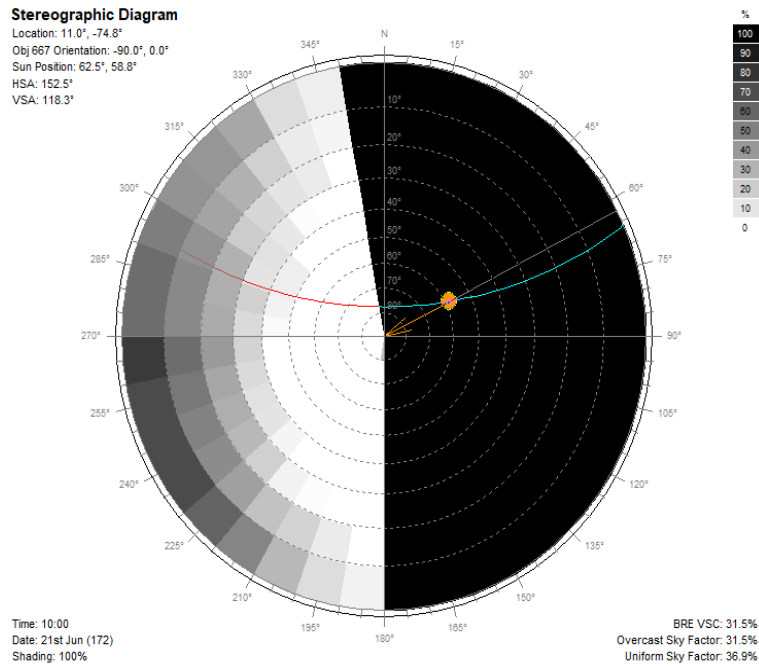


Figura 204. Diagrama estereográfico fachada oeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

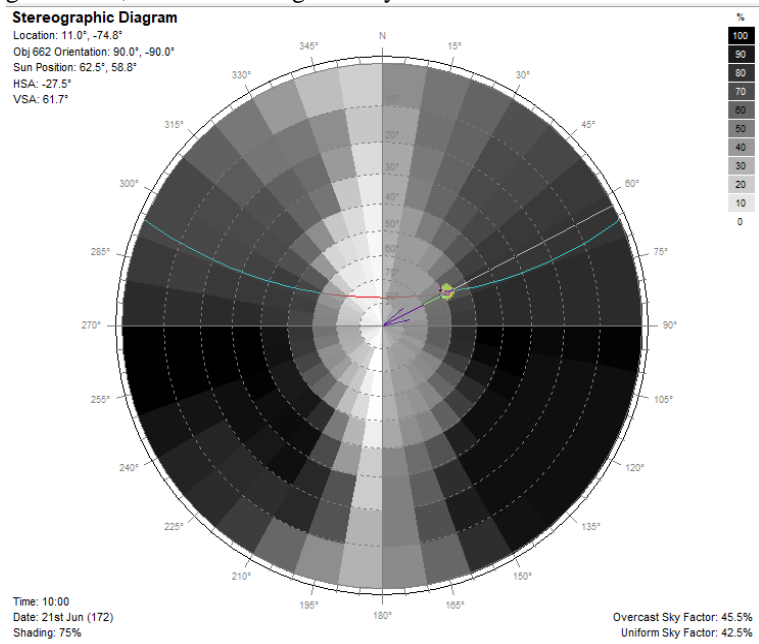


Figura 205. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

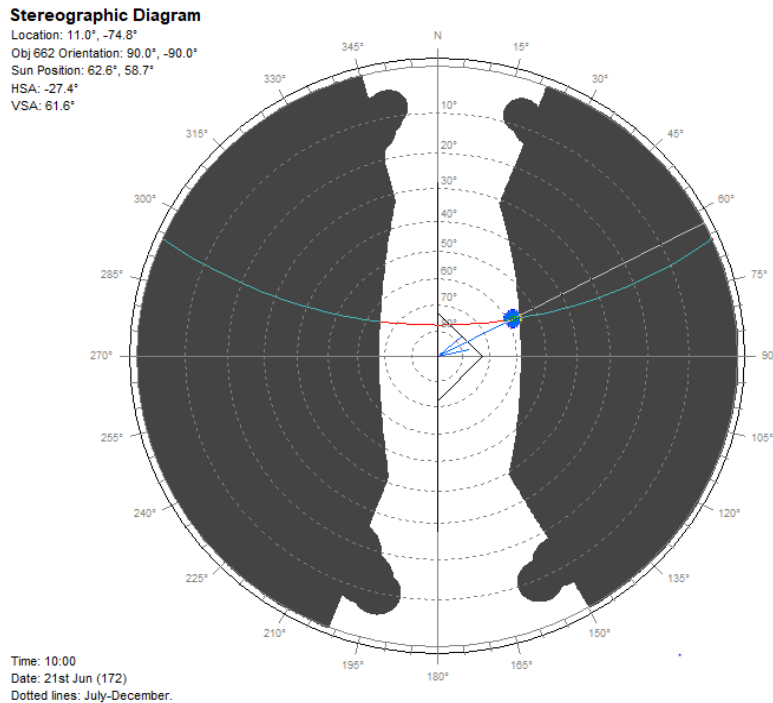


Figura 206. Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

6.2.14 Espacio urbano con tejido abierto y de gran altura (LCZ 4 Abierto de gran altura) con relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste (EO):

En el caso de las simulaciones de porcentaje de sombras en el modelo LCZ 4, con orientación Este-Oeste, en el solsticio de junio, para la fachada sur el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 100 %; en la fachada norte, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 3.68 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 41.12 % (ver tabla 45) (ver figura 207). De igual forma, se presenta un análisis comparativo entre la incidencia de sombras en los elementos del cañón urbano del modelo de espacio urbano con tejido compacto gran altura con la misma orientación, con respecto a este modelo realizado. Con ese análisis, se identifica que los elementos del cañón urbano del modelo con tejido abierto de gran altura presentan mejores porcentajes de sombras a lo largo del día; la diferencia entre promedios diarios de porcentaje de sombra a favor del modelo

LCZ 4 son: elemento suelo de 17.28 %, fachada sur de 0 % y fachada norte la diferencia es de 0.76 % (ver figura 208).

Tabla 45

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 4 con h/w igual a 1 con orientación Este-Oeste

Análisis comparativo: Sombra incidente (%)			
LCZ 4-Abierto de gran altura en solsticio de junio			
Hora	Elemento		
	Suelo	Fachada sur	Fachada norte
06:00	39	100	12
06:30	53	100	6
07:00	53	100	6
07:30	57	100	3
08:00	53	100	0
08:30	53	100	0
09:00	22	100	0
09:30	13	100	0
10:00	13	100	0
10:30	8	100	0
11:00	5	100	0
11:30	20	100	0
12:00	22	100	0
12:30	29	100	0
13:00	22	100	0
13:30	26	100	0
14:00	25	100	0
14:30	25	100	0
15:00	47	100	0
15:30	65	100	0
16:00	65	100	0
16:30	84	100	1
17:00	85	100	18
17:30	85	100	18
18:00	59	100	28

Nota. Elaboración propia

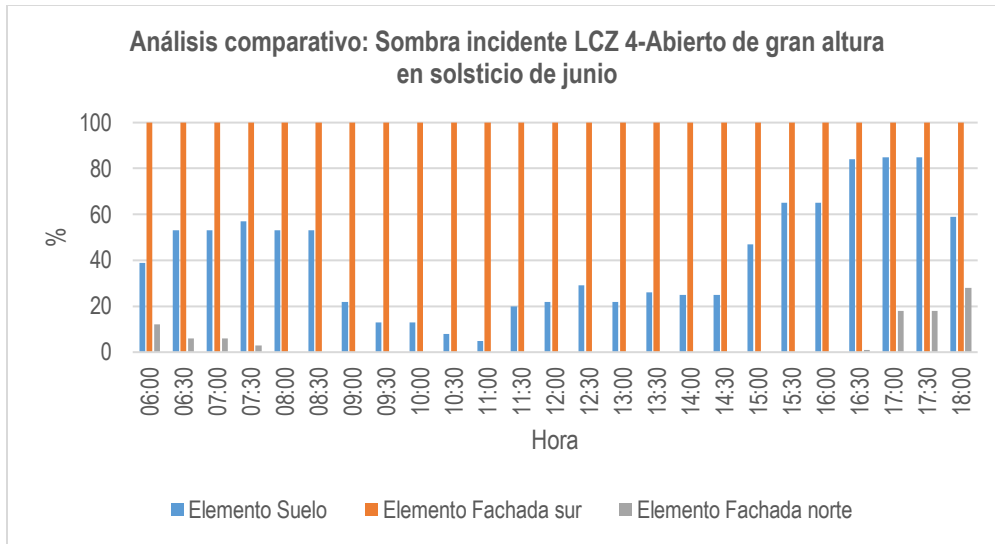


Figura 207. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

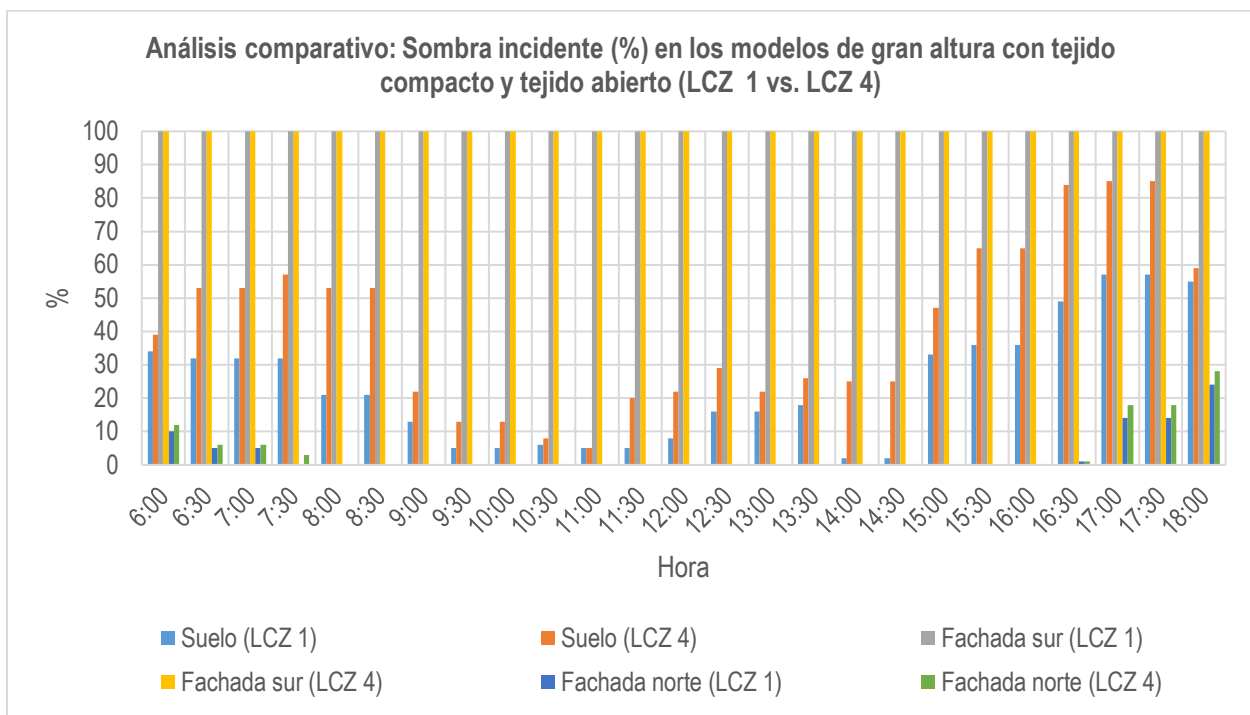


Figura 208. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura vs espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

En el solsticio de diciembre, para la fachada sur el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 8.48 %; en la fachada norte, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 100 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de

sombra es de 91.83 % (ver tabla 46) (ver figura 209). De igual forma, se presenta un análisis comparativo entre la incidencia de sombras en los elementos del cañón urbano del modelo de espacio urbano con tejido compacto de gran altura, con respecto a este modelo realizado (ver figura 210). En el análisis, se identifica que para los elementos del cañón urbano en el modelo con arborización presentan mejores porcentajes de sombras a lo largo del día. La diferencia entre promedios diarios de porcentajes de sombras a favor del modelo LCZ 4 son: en elemento suelo de 33.82 %; fachada sur de 1.3 % y fachada norte de 0 %.

Tabla 46 *Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 4 con h/w igual a 1 con orientación Este-Oeste*

Análisis comparativo: Sombra incidente (%)			
LCZ 4-Abierto de gran altura en solsticio de diciembre			
Hora	Elemento		
	Suelo	Fachada sur	Fachada norte
06:30	100	33	100
07:00	100	33	100
07:30	100	19	100
08:00	100	12	100
08:30	100	0	100
09:00	100	0	100
09:30	100	0	100
10:00	100	0	100
10:30	100	0	100
11:00	100	0	100
11:30	100	0	100
12:00	84	0	100
12:30	83	0	100
13:00	73	0	100
13:30	83	0	100
14:00	73	0	100
14:30	94	0	100
15:00	82	0	100
15:30	94	9	100
16:00	94	9	100

16:30	88	12	100
17:00	82	34	100
17:30	82	34	100

Nota. Elaboración propia.

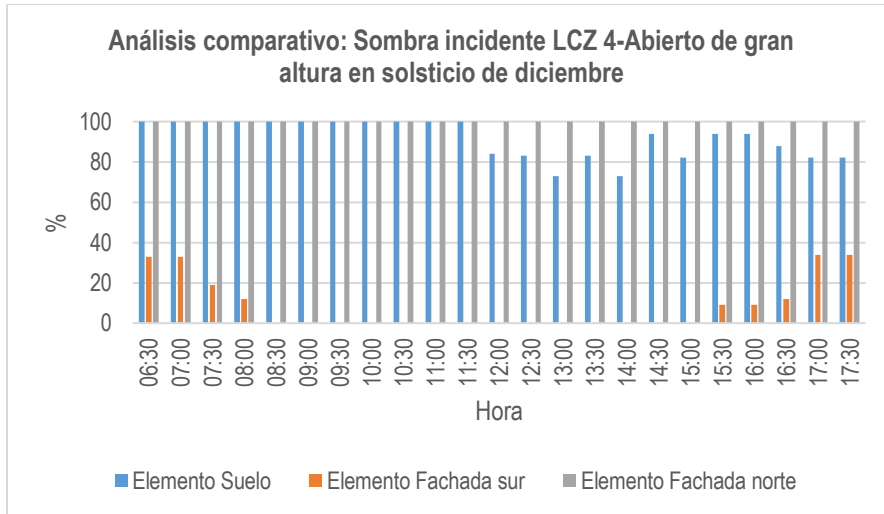


Figura 209. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

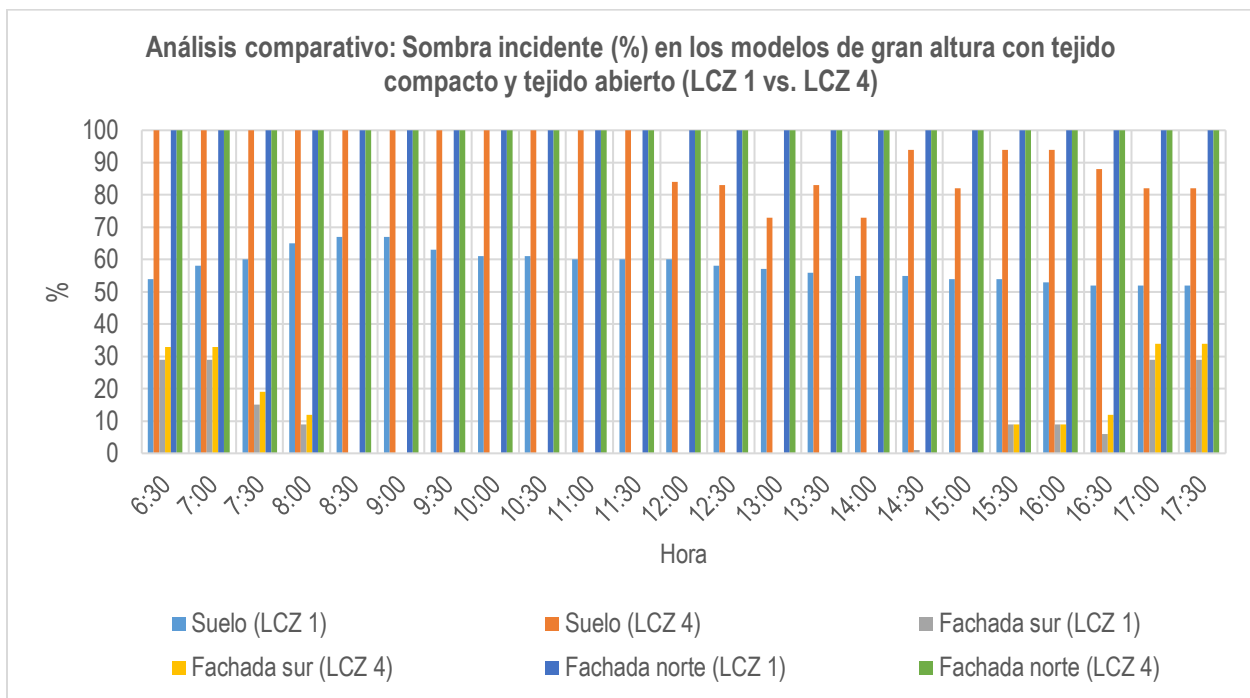


Figura 210. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura vs espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

En los diagramas estereográficos de elementos de cañón urbano para el 21 de junio, a las diez de la mañana, en la fachada sur en el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 31.7 %, el factor de cielo cubierto es de 31.7 % y el factor de cielo uniforme es de 37.2 %; en la fachada norte, el BRE VSC es de 31.5 %, el factor de cielo cubierto es de 31.5 % y el factor de cielo uniforme es de 36.9 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 46.2 % y el factor de cielo uniforme es de 43.1 % (ver figura 211-213). Para el 21 de diciembre, se presentan los mismos porcentajes del solsticio de junio en cada uno de los elementos del cañón urbano. Además, se presenta un gráfico de factor de vista al cielo (SVF) del modelo analizado, para la fecha 21 de junio a las diez de la mañana (ver figura 214).

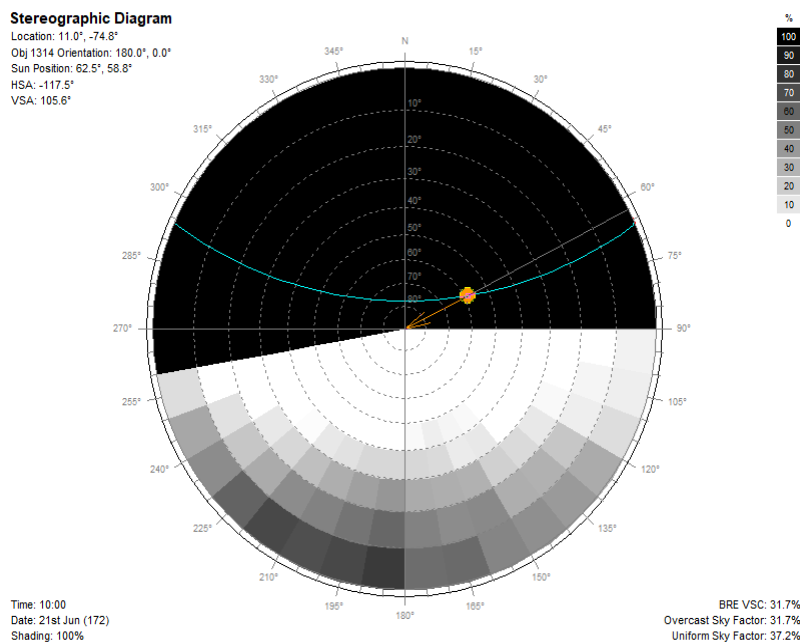


Figura 211. Diagrama estereográfico fachada sur (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

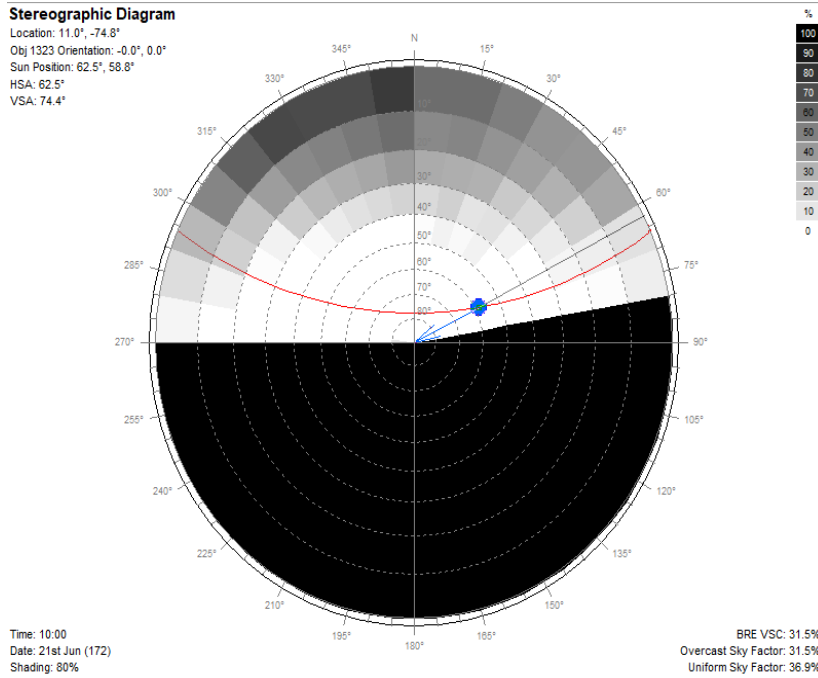


Figura 212. Diagrama estereográfico fachada norte (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

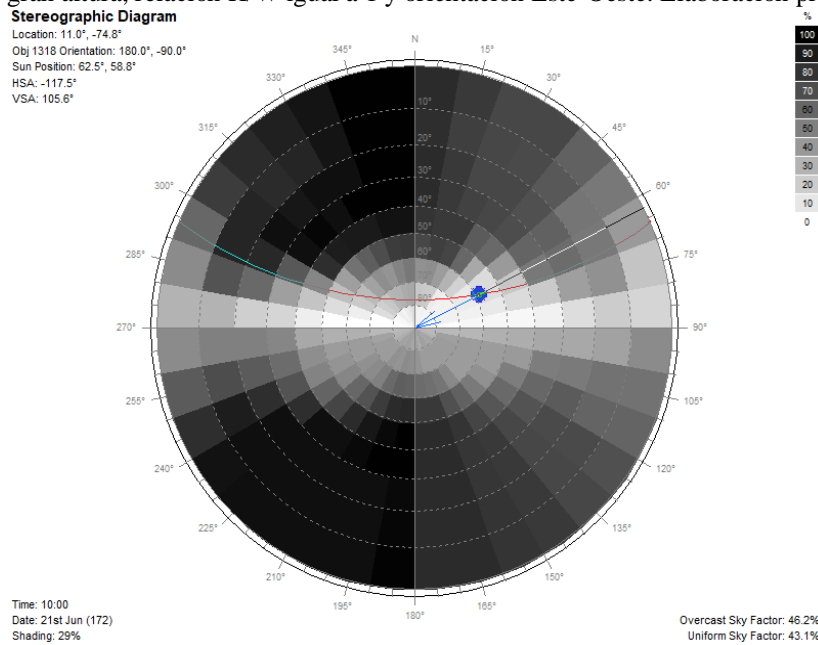


Figura 213. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

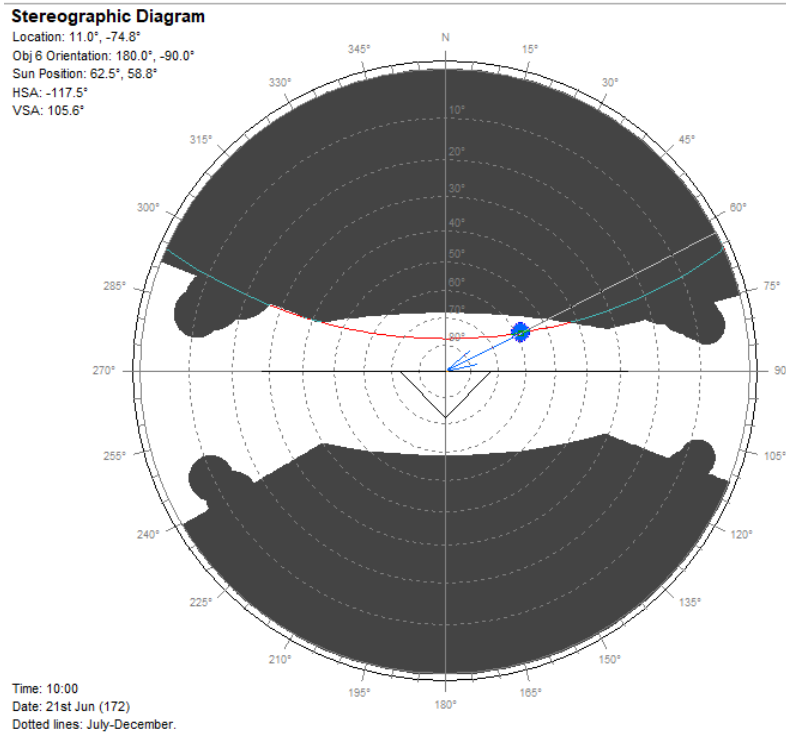


Figura 214. Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

6.2.15 Espacio urbano con tejido abierto y de gran altura (LCZ 4 Abierto de gran altura) con relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste (NESO):

En el caso de las simulaciones de porcentaje de sombras en el modelo LCZ 4, con orientación Noreste-Suroeste, en el solsticio de junio, para la fachada sureste el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 57.08 %; en la fachada noroeste, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 53.08 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 58.92 % (ver tabla 47) (ver figura 215). De igual forma, se presenta un análisis comparativo entre la incidencia de sombras en los elementos del cañón urbano del modelo de espacio urbano con tejido compacto gran altura con la misma orientación, con respecto a este modelo realizado. Con ese análisis, se identifica que los elementos del cañón urbano del modelo con tejido abierto de gran altura presentan mejores porcentajes de sombras a lo largo del día; la diferencia entre promedios diarios de porcentaje de sombra a favor del modelo

LCZ 4 son: elemento suelo de 10.44 %, fachada sureste de 0.24 % y fachada noroeste la diferencia es de 0.16 % (ver figura 216).

Tabla 47

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 4 con h/w igual a 1 con orientación Noreste-Suroeste

Análisis comparativo: Sombra incidente (%)			
LCZ 4-Abierto de gran altura en solsticio de junio			
Hora	Elemento		
	Suelo	Fachada Sureste	Fachada noroeste
06:00	61	13	100
06:30	61	6	100
07:00	61	6	100
07:30	61	2	100
08:00	59	0	100
08:30	59	0	100
09:00	51	0	100
09:30	38	0	100
10:00	38	0	100
10:30	38	0	100
11:00	27	0	100
11:30	5	100	0
12:00	5	100	0
12:30	20	100	0
13:00	33	100	0
13:30	52	100	0
14:00	76	100	0
14:30	73	100	0
15:00	87	100	0
15:30	99	100	12
16:00	99	100	12
16:30	94	100	31
17:00	92	100	51
17:30	92	100	51
18:00	92	100	70

Nota. Elaboración propia

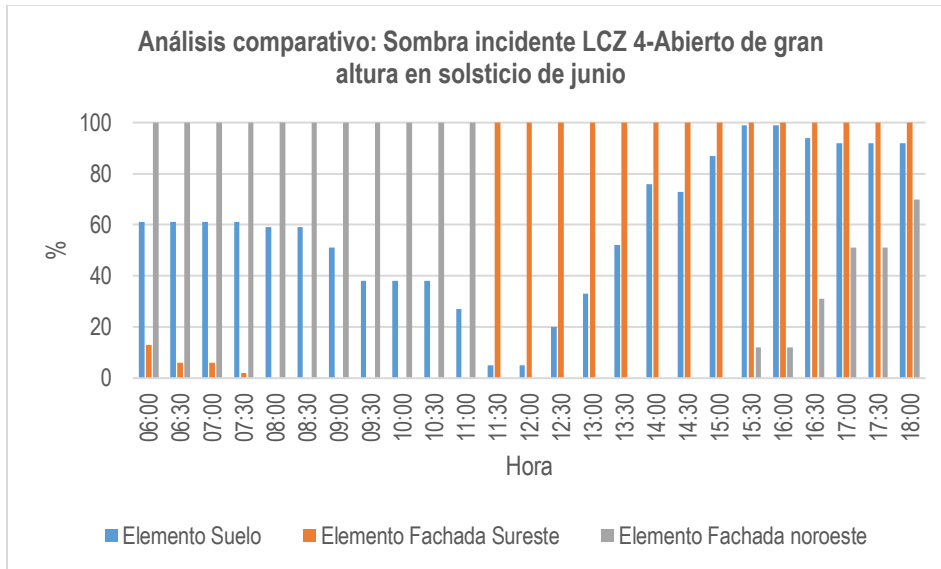


Figura 215. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

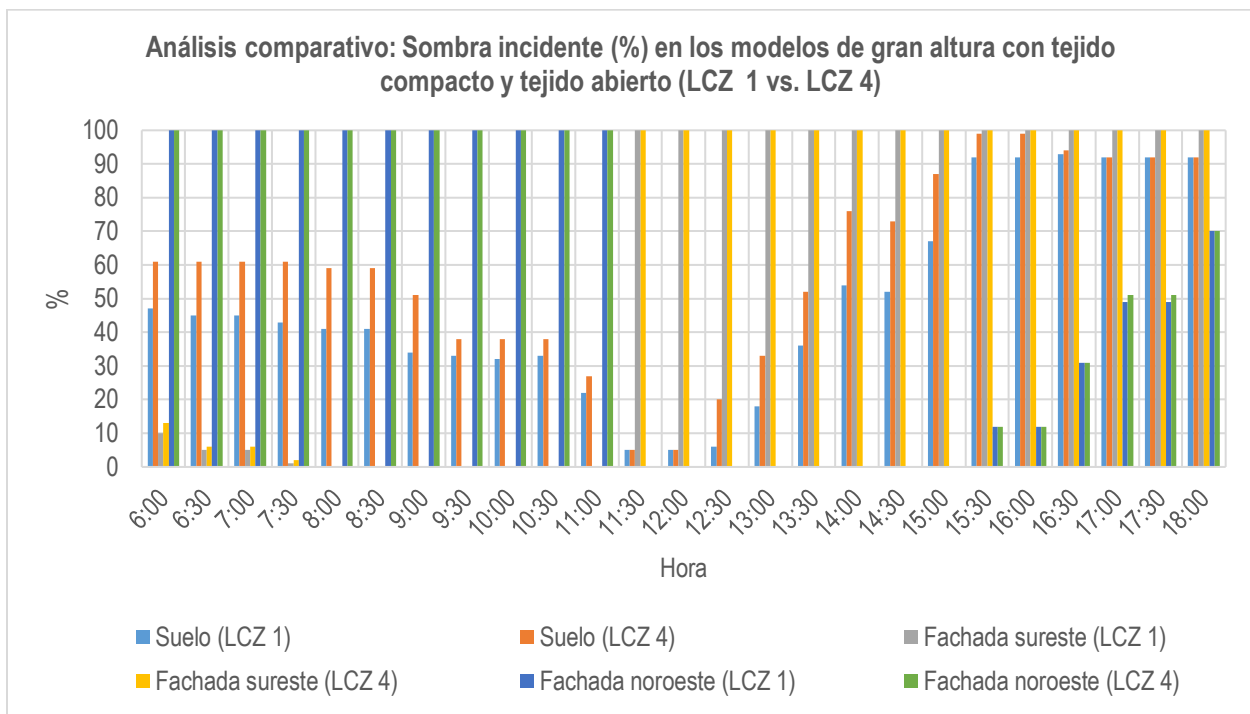


Figura 216. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura vs espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

En el solsticio de diciembre, para la fachada sureste el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 44.74 %; en la fachada noroeste, el promedio diario de

porcentaje de sombra es de 71.17 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 64.35 % (ver tabla 48) (ver figura 217). De igual forma, se presenta un análisis comparativo entre la incidencia de sombras en los elementos del cañón urbano del modelo de espacio urbano con tejido compacto de gran altura, con respecto a este modelo realizado (ver figura 218). En el análisis, se identifica que para los elementos del cañón urbano en el modelo con arborización presentan mejores porcentajes de sombras a lo largo del día. La diferencia entre promedios diarios de porcentajes de sombras a favor del modelo LCZ 4 son: en elemento suelo de 26.82 %; fachada sureste de 0.08 % y fachada noroeste de 0.7 %.

Tabla 48

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 4 con h/w igual a 1 con orientación Noreste-Suroeste

Análisis comparativo: Sombra incidente (%) LCZ 4-Abierto de gran altura en solsticio de diciembre			
Hora	Elemento		
	Suelo	Fachada sureste	Fachada noroeste
06:30	79	47	100
07:00	83	57	100
07:30	83	45	100
08:00	83	31	100
08:30	83	31	100
09:00	83	16	100
09:30	83	2	100
10:00	99	0	100
10:30	96	0	100
11:00	75	0	100
11:30	68	0	100
12:00	59	0	100
12:30	47	0	100
13:00	42	0	100
13:30	43	0	100
14:00	32	100	100
14:30	20	100	0
15:00	20	100	0

15:30	66	100	0
16:00	66	100	0
16:30	67	100	6
17:00	44	100	13
17:30	59	100	18

Nota. Elaboración propia.

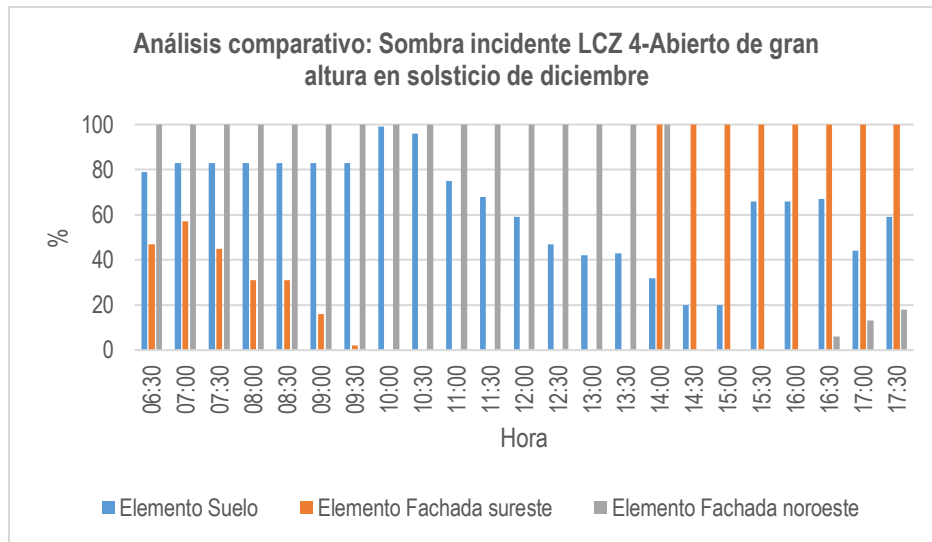


Figura 217. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

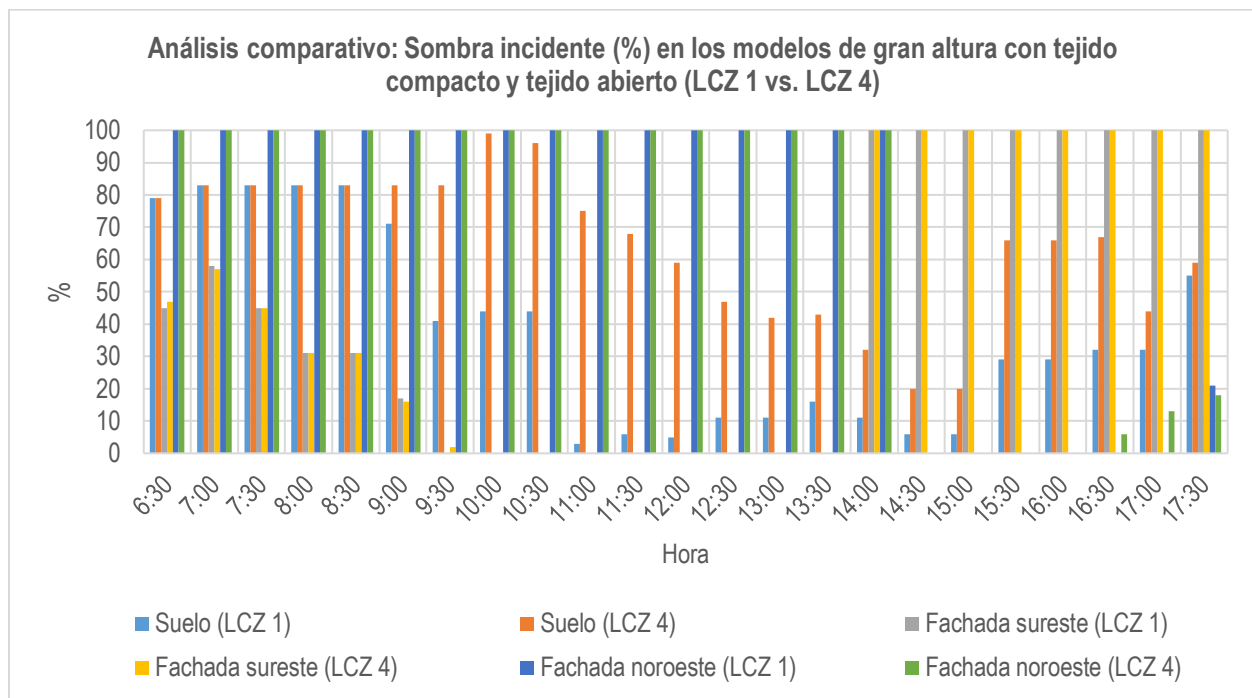


Figura 218. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura vs espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

En los diagramas estereográficos de elementos de cañón urbano para el 21 de junio, a las diez de la mañana, en la fachada sureste en el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 31.6 %, el factor de cielo cubierto es de 31.6 % y el factor de cielo uniforme es de 37.2 %; en la fachada noroeste, el BRE VSC es de 31.4 %, el factor de cielo cubierto es de 31.4 % y el factor de cielo uniforme es de 36.8 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 46.2 % y el factor de cielo uniforme es de 43.1 % (ver figura 219-221). Para el 21 de diciembre, se presentan los mismos porcentajes del solsticio de junio en cada uno de los elementos del cañón urbano. Además, se presenta un gráfico de factor de vista al cielo (SVF) del modelo analizado, para la fecha 21 de junio a las diez de la mañana (ver figura 214).

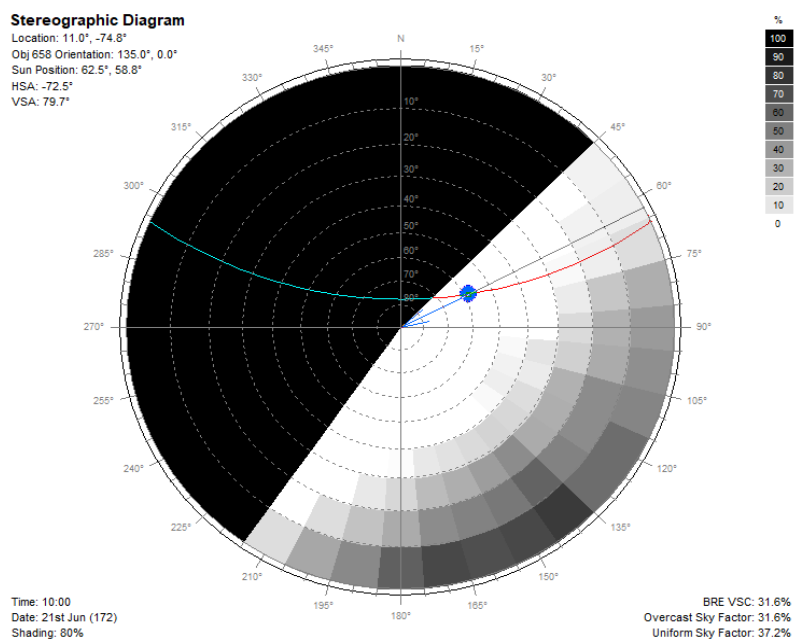


Figura 219. Diagrama estereográfico fachada sureste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

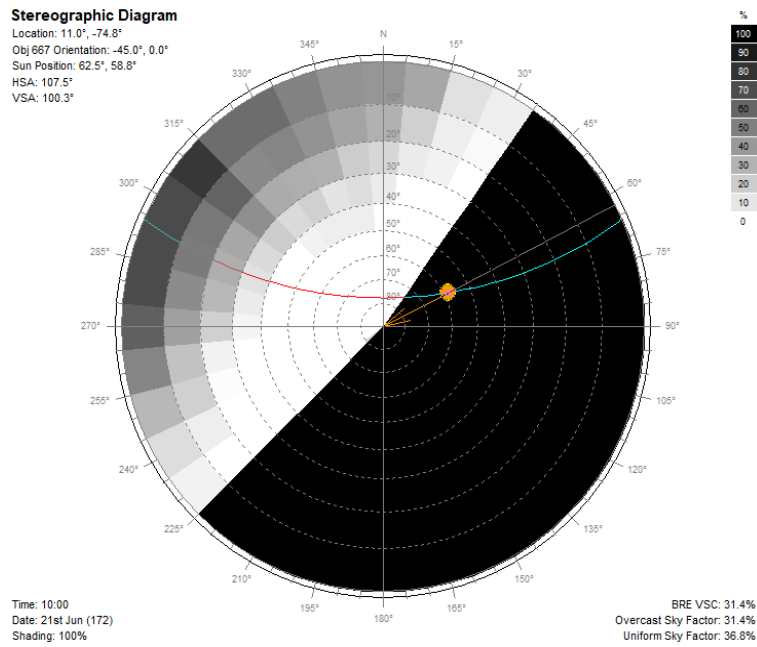


Figura 220. Diagrama estereográfico fachada noroeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

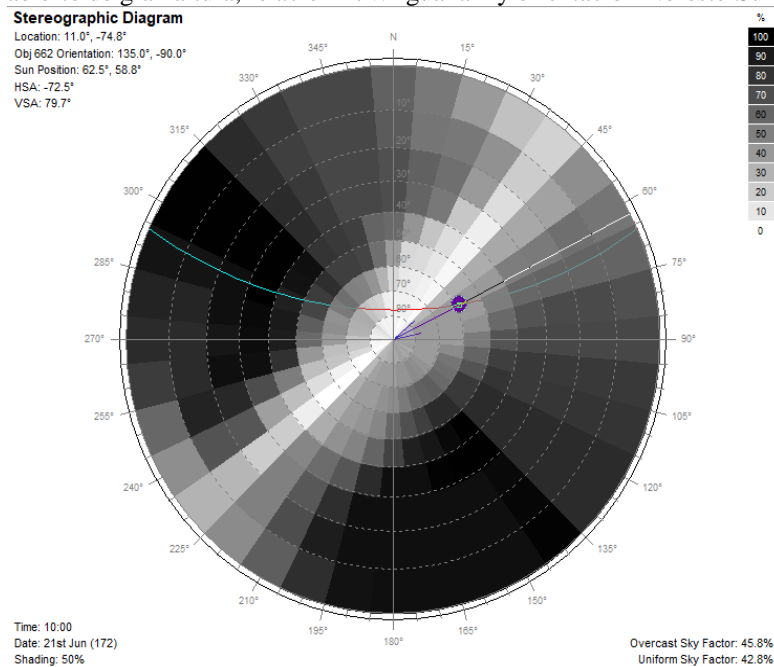
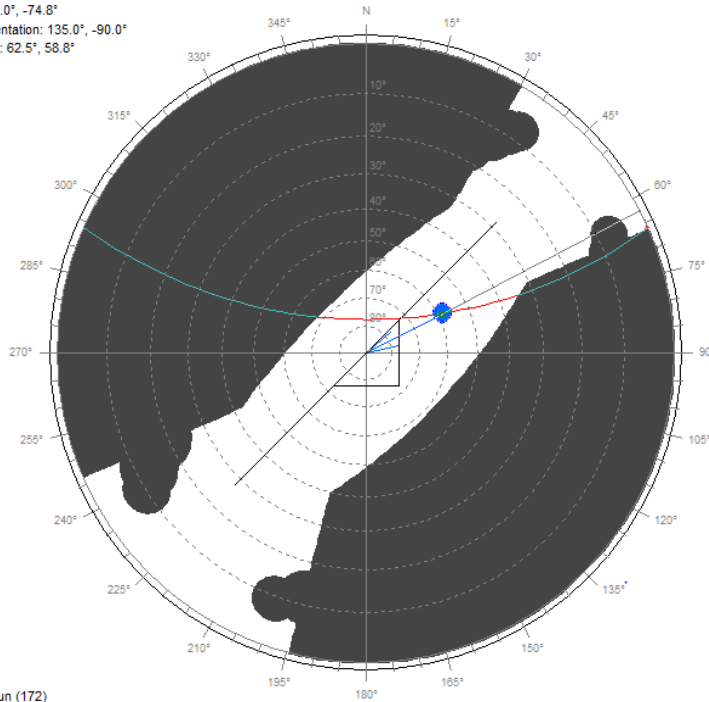


Figura 221. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

Stereographic Diagram

Location: 11.0°, -74.8°
 Obj 662 Orientation: 135.0°, -90.0°
 Sun Position: 62.5°, 58.8°
 HSA: -72.5°
 VSA: 79.7°



Time: 10:00
 Date: 21st Jun (172)
 Dotted lines: July-December.

Figura 222. Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

6.2.16 Espacio urbano con tejido abierto y de gran altura (LCZ 4 Abierto de gran altura) con relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste (NOSE):

En el caso de las simulaciones de porcentaje de sombras en el modelo LCZ 4, con orientación Noreste-Suroeste, en el solsticio de junio, para la fachada noreste el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 52.88 %; en la fachada suroeste, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 61.16 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 56.08 % (ver tabla 49) (ver figura 222). De igual forma, se presenta un análisis comparativo entre la incidencia de sombras en los elementos del cañón urbano del modelo de espacio urbano con tejido compacto gran altura con la misma orientación, con respecto a este modelo realizado. Con ese análisis, se identifica que los elementos del cañón urbano del modelo con tejido abierto de gran altura presentan mejores porcentajes de sombras a lo largo del día; la diferencia entre promedios diarios de porcentaje de sombra a favor del modelo

LCZ 4 son: elemento suelo de 7.68 %, fachada suroeste de 0.36 % y fachada noreste la diferencia es de 0.02 % (ver figura 223).

Tabla 49

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de junio, LCZ 4 con h/w igual a 1 con orientación Noroeste-Sureste

Análisis comparativo: Sombra incidente (%) LCZ 4- Abierto de gran altura en solsticio de junio			
Hora	Elemento		
	Suelo	Fachada noreste	Fachada suroeste
06:00	94	69	100
06:30	94	49	100
07:00	94	49	100
07:30	94	31	100
08:00	96	12	100
08:30	96	12	100
09:00	91	0	100
09:30	75	0	100
10:00	83	0	100
10:30	63	0	100
11:00	44	0	100
11:30	38	0	100
12:00	38	0	100
12:30	37	0	100
13:00	2	100	100
13:30	5	100	0
14:00	10	100	0
14:30	14	100	0
15:00	22	100	0
15:30	54	100	0
16:00	54	100	0
16:30	57	100	5
17:00	53	100	6
17:30	53	100	6
18:00	41	100	12

Nota. Elaboración propia

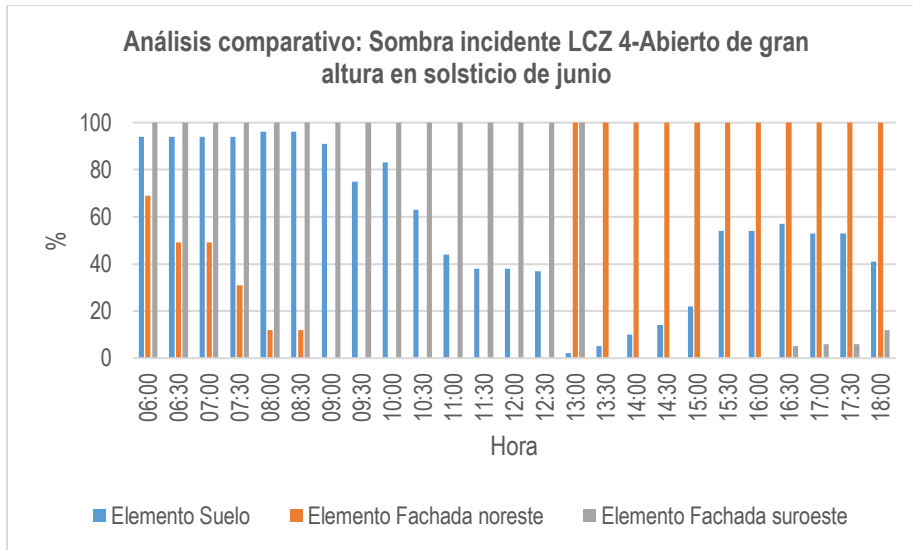


Figura 223. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

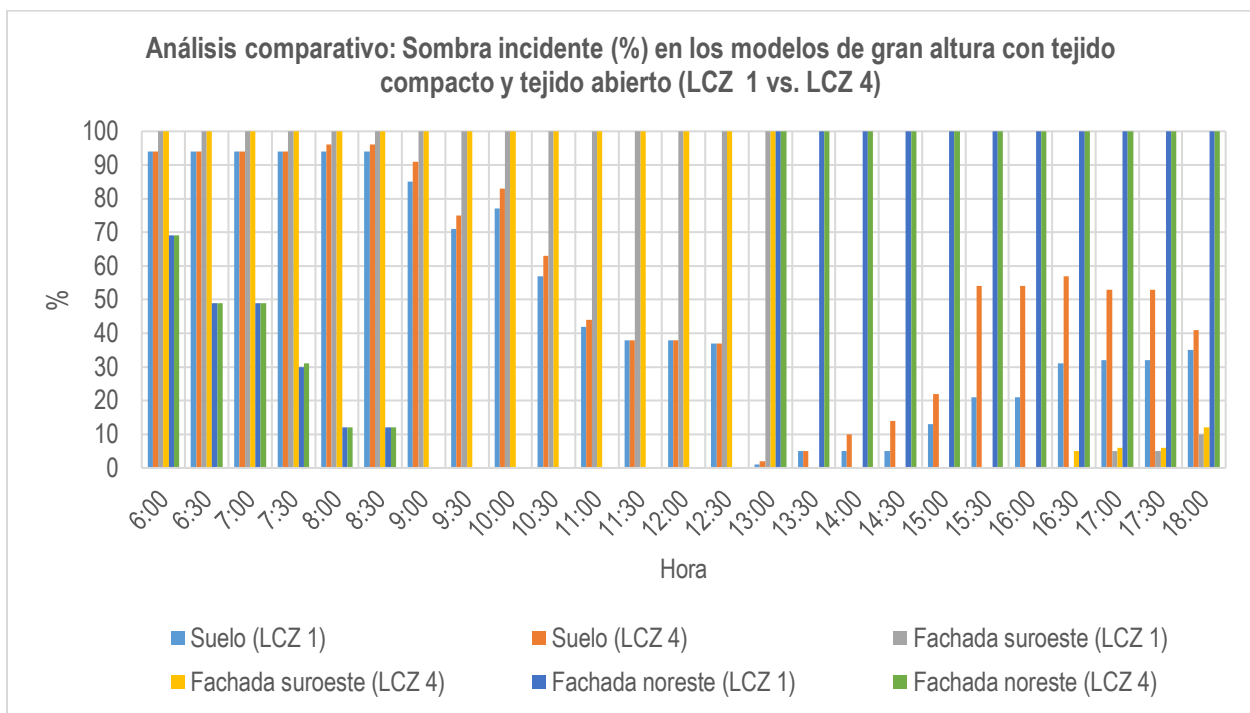


Figura 224. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura vs espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

En el solsticio de diciembre, para la fachada suroeste el promedio diario de porcentaje de sombra originado en el elemento es de 80.3 %; en la fachada noreste, el promedio diario de porcentaje de sombra es de 41 %; en el elemento suelo, el promedio diario de porcentaje de

sombra es de 62.91 % (ver tabla 50) (ver figura 225). De igual forma, se presenta un análisis comparativo entre la incidencia de sombras en los elementos del cañón urbano del modelo de espacio urbano con tejido compacto de gran altura, con respecto a este modelo realizado (ver figura 226). En el análisis, se identifica que para los elementos del cañón urbano en el modelo con arborización presentan mejores porcentajes de sombras a lo largo del día. La diferencia entre promedios diarios de porcentajes de sombras a favor del modelo LCZ 4 son: en elemento suelo de 11.51 %; fachada suroeste de 3.92 % y fachada noreste de 0.78 %.

Tabla 50

Análisis comparativo de sombra incidente (%) en los elementos del cañón urbano para 21 de diciembre, LCZ 4 con h/w igual a 1 con orientación Noroeste-Sureste

Análisis comparativo: Sombra incidente (%) LCZ 4-Abierto de gran altura en solsticio de diciembre			
Hora	Elemento		
	Suelo	Fachada noreste	Fachada suroeste
06:30	82	34	100
07:00	61	13	100
07:30	68	0	100
08:00	62	0	100
08:30	62	0	100
09:00	47	100	100
09:30	33	100	100
10:00	6	100	0
10:30	28	100	0
11:00	25	100	0
11:30	47	100	0
12:00	59	100	0
12:30	65	100	0
13:00	73	100	0
13:30	93	100	0
14:00	92	100	0
14:30	83	100	14
15:00	83	100	14
15:30	77	100	31
16:00	77	100	31
16:30	75	100	47

17:00	77	100	57
17:30	72	100	49

Nota. Elaboración propia.

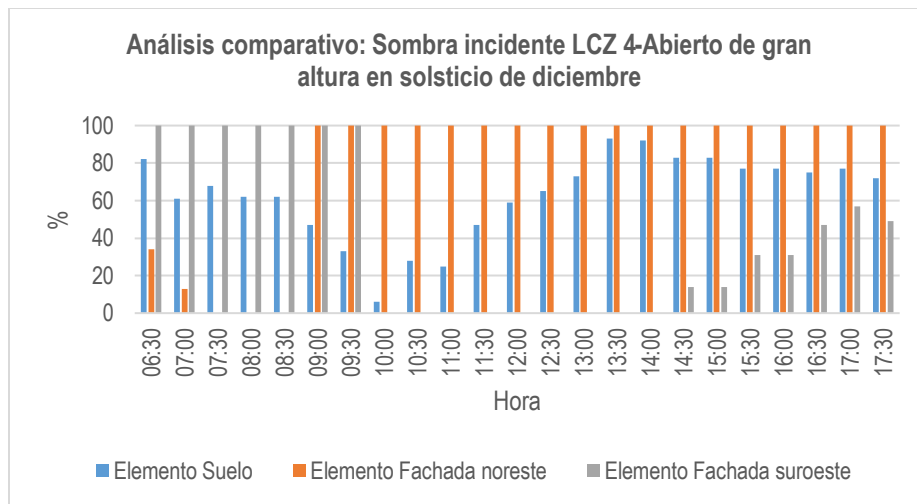


Figura 225. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

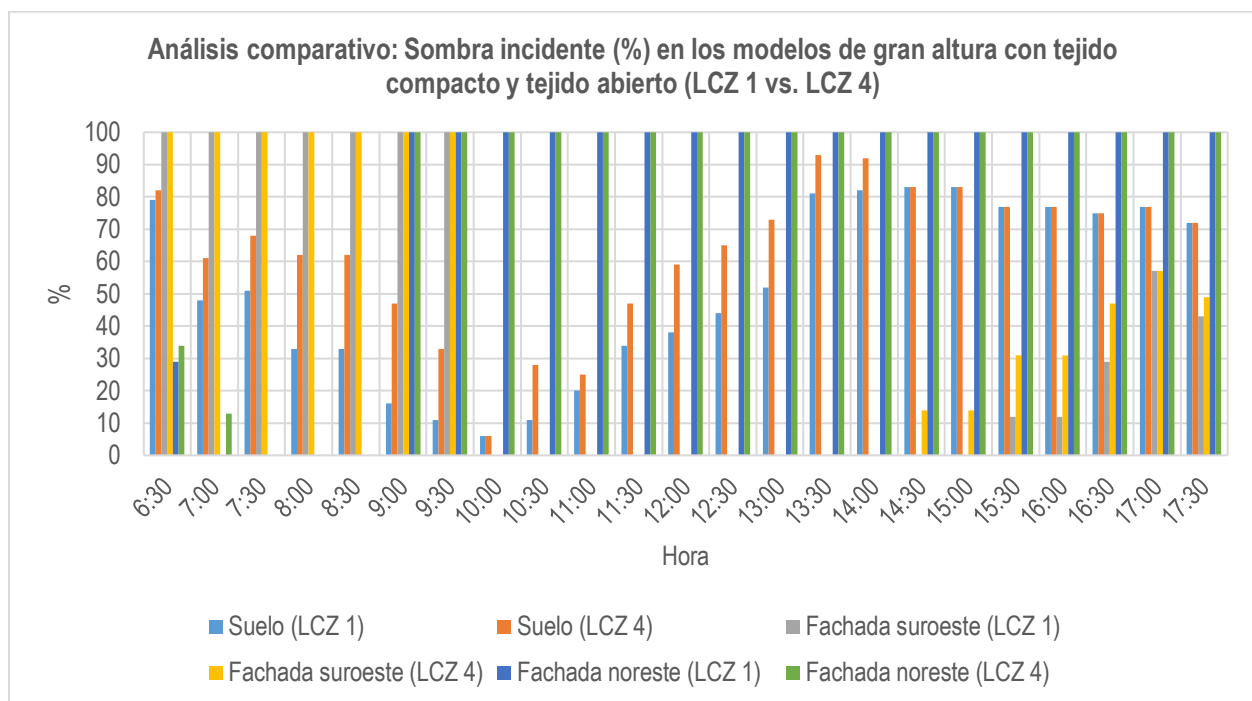


Figura 226. Análisis comparativo de porcentajes de sombras para 21 de diciembre: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura vs espacio urbano con tejido compacto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

En los diagramas estereográficos de elementos de cañón urbano para el 21 de junio, a las diez de la mañana, en la fachada noreste en el componente de cielo vertical (BRE VSC) es de 31.7

%, el factor de cielo cubierto es de 31.7 % y el factor de cielo uniforme es de 37.2 %; en la fachada suroeste, el BRE VSC es de 31.4 %, el factor de cielo cubierto es de 31.4 % y el factor de cielo uniforme es de 36.8 %; en el elemento suelo el factor de cielo cubierto es de 45.8 % y el factor de cielo uniforme es de 42.8 % (ver figura 227-229). Para el 21 de diciembre, se presentan los mismos porcentajes del solsticio de junio en cada uno de los elementos del cañón urbano. Además, se presenta un gráfico de factor de vista al cielo (SVF) del modelo analizado, para la fecha 21 de junio a las diez de la mañana (ver figura 214).

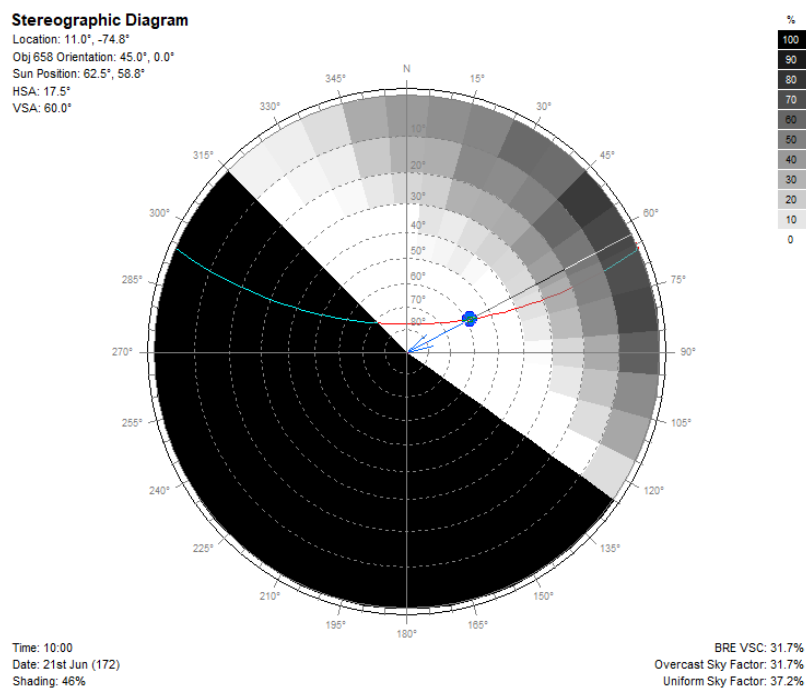


Figura 227. Diagrama estereográfico fachada noreste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

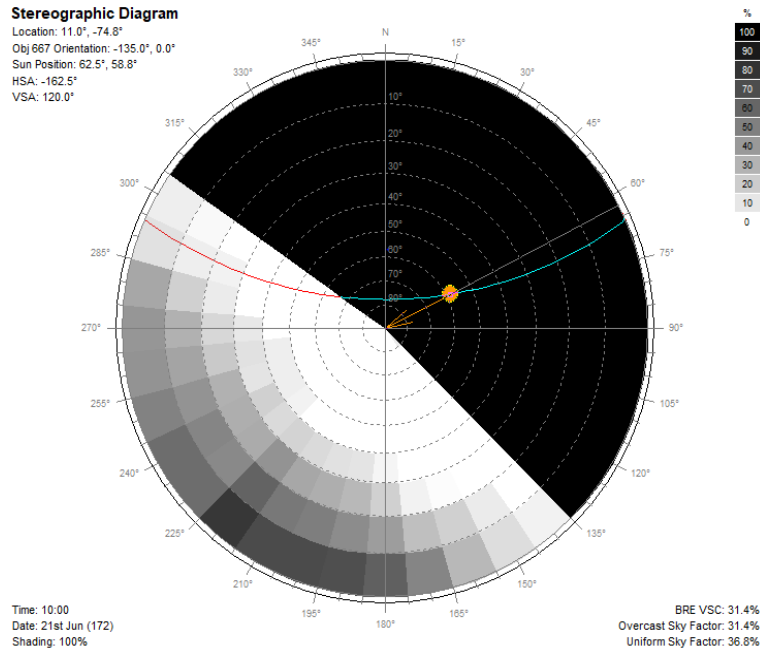


Figura 228. Diagrama estereográfico fachada suroeste (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

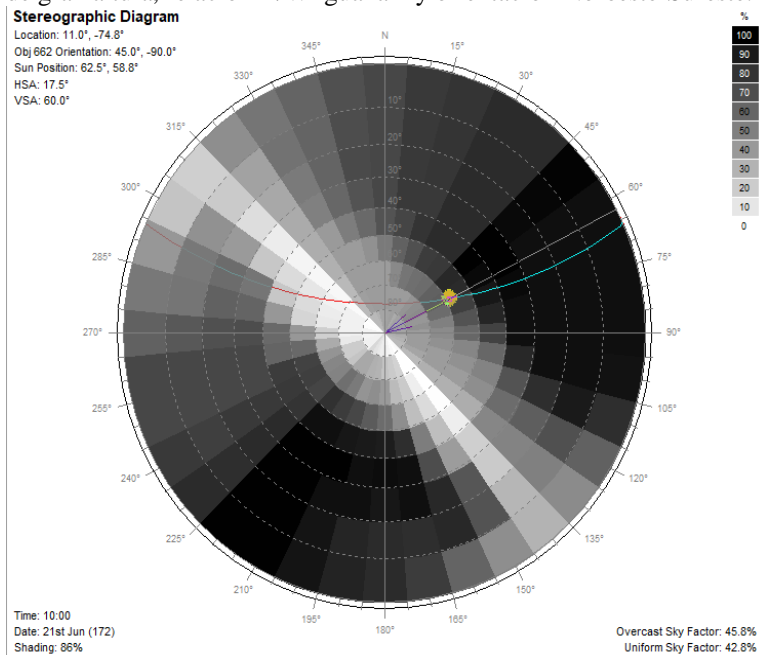


Figura 229. Diagrama estereográfico elemento suelo (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

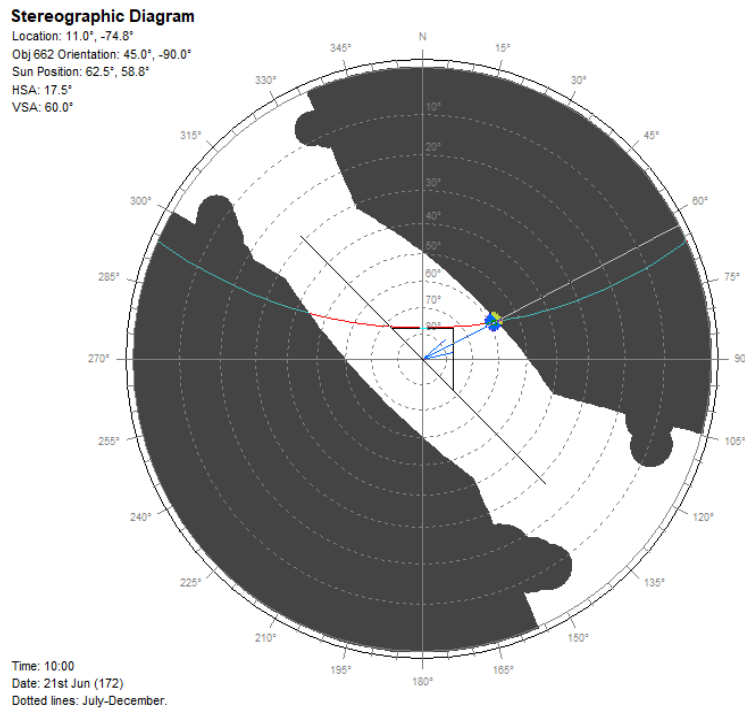


Figura 230. Sky View Factor o factor de vista al cielo (SVF) (10 horas) para 21 de junio: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura, relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

6.3 Análisis de temperatura de confort para espacios urbanos en la ciudad de Barranquilla

Para hallar la temperatura de confort (Humphreys & Nicol, 2000) adecuada en la ciudad de Barranquilla, como se plantea en el acápite de metodología, se utilizará la siguiente fórmula (Chyee Toe & Kubota, 2013):

$$T_c = 0.57T_m + 13.8$$

Por lo anterior, según los datos suministrados por la Estación Meteorológica de la Universidad de la Costa (2018), se identifica el promedio de temperatura media para los respectivos meses del año, estimando y/o calculando la temperatura de confort o temperatura neutra que deben tener los espacios urbanos en cada uno de estos meses (ver tabla 51).

Tabla 51

Temperatura de confort (°C) en la ciudad de Barranquilla

Temperatura de confort o temperatura neutra en la ciudad de Barranquilla, Colombia

Mes	Tc (°C)
Enero	29.28
Febrero	29.13
Marzo	29.07
Abril	29.70
Mayo	30.10
Junio	30.27
Julio	30.04
Agosto	30.22
Septiembre	30.50
Octubre	30.21
Noviembre	30.10

Nota. Elaboración propia.

Por lo anterior, para la ciudad de Barranquilla la temperatura de confort o temperatura neutra puede oscilar entre 29 °C a 30.5 °C; para los meses de enero, febrero, marzo y abril la temperatura neutra permanece en un rango de 29 °C a 29.7 °C; del mes de mayo en adelante, la temperatura de confort oscila entre 30 °C a 30.5 °C. De esta forma, según los espacios urbanos manejados en la ciudad de Barranquilla y en cualquier otra ciudad con clima tropical, la temperatura de confort o temperatura neutra, no debe ser superior a los 30.5 °C, no obstante, este valor puede variar según la temperatura media y/o promedio que se presente en la ciudad con clima tropical, hallando en esos casos la temperatura de confort al aplicar la fórmula expuesta por Chyee Toe & Kubota (2013).

6.4 Análisis de simulaciones virtuales de viento

Para las simulaciones virtuales de viento se tomaron como datos a ingresar en el software Flow Design el promedio de velocidad del viento para el solsticio de junio y diciembre que fueron suministrados por la Estación Meteorológica de la Universidad de la Costa (2018); aproximadamente 3.00 m/s. Se realizaron los análisis para los 4 espacios urbanos seleccionados (4 orientaciones de ejes de calle).

6.4.1 Espacio urbano con tejido compacto de gran altura (LCZ 1) relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur:

En este espacio urbano se observa que la velocidad del viento oscila entre 0 m/s a 6.3 m/s; la presión atmosférica se presenta entre valores que van de -28 Pa a 10 Pa. La presión positiva se presenta en mayor parte del espacio urbano, por tanto son zonas de Barlovento. Se identifica que en las zonas de Sotavento, donde la presión es negativa (parte posterior de las edificaciones), se presentan turbulencias o remolinos de presión y/o succión (Ver figura 231).

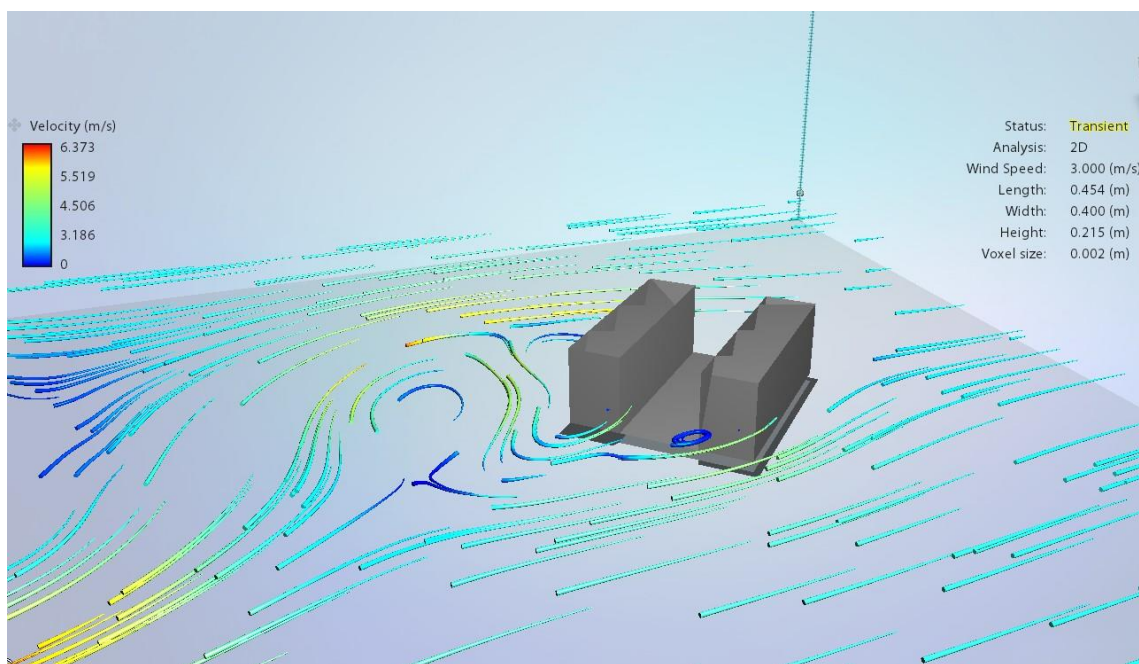


Figura 231. Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 1 relación H/W igual a 1 y orientación Norte-sur. Elaboración propia.

6.4.2 Espacio urbano con tejido compacto de gran altura (LCZ 1) relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste:

En este espacio urbano se observa que la velocidad del viento oscila entre 0 m/s a 5.2 m/s; la presión atmosférica se presenta entre valores que van de -12 Pa a 8 Pa. La presión negativa se presenta en mayor parte del espacio urbano, exactamente al costado de las edificaciones del modelo. El viento circula con mucha frecuencia en el espacio urbano debido a

que el eje de calle está orientado respecto a la predominancia de los vientos en la ciudad de Barranquilla (Ver figura 232).

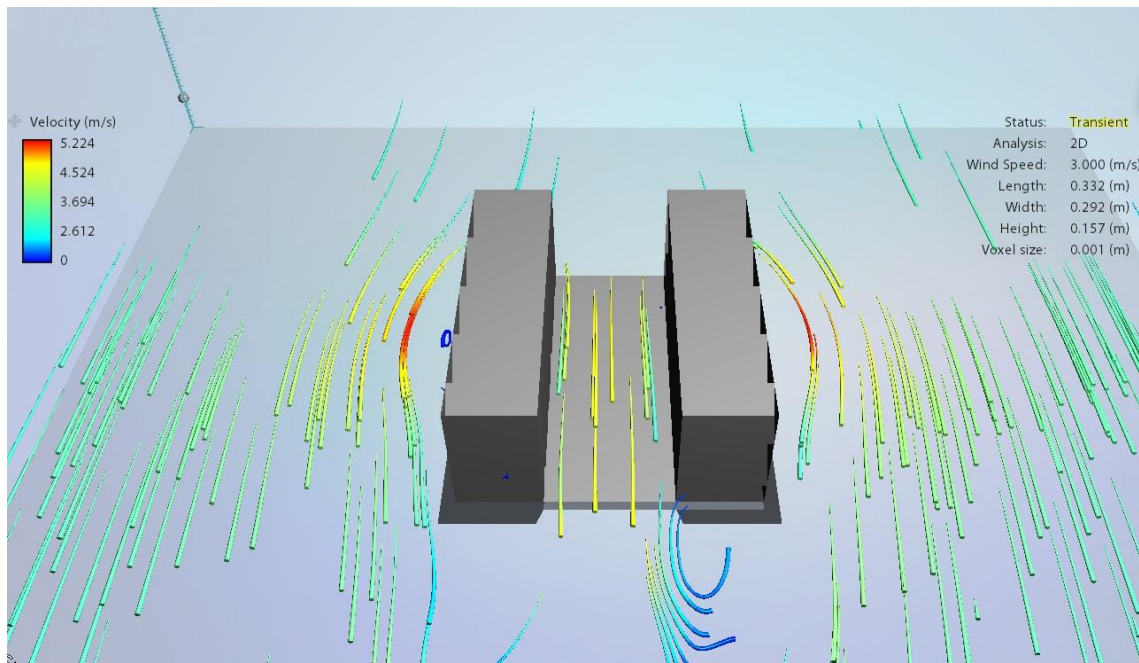


Figura 232. Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 1 relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-suroeste. Elaboración propia.

6.4.3 Espacio urbano con tejido compacto de gran altura (LCZ 1) relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste:

En este espacio urbano se observa que la velocidad del viento oscila entre 0 m/s a 6.68 m/s; la presión atmosférica se presenta entre valores que van de -16 Pa a 20 Pa. La presión negativa se presenta en mayor parte del espacio urbano, por esto se identifican zonas de turbulencia y remolinos al costado de las edificaciones y en el eje de calle. Existe mucho flujo de viento alrededor del edificio (Ver figura 233).

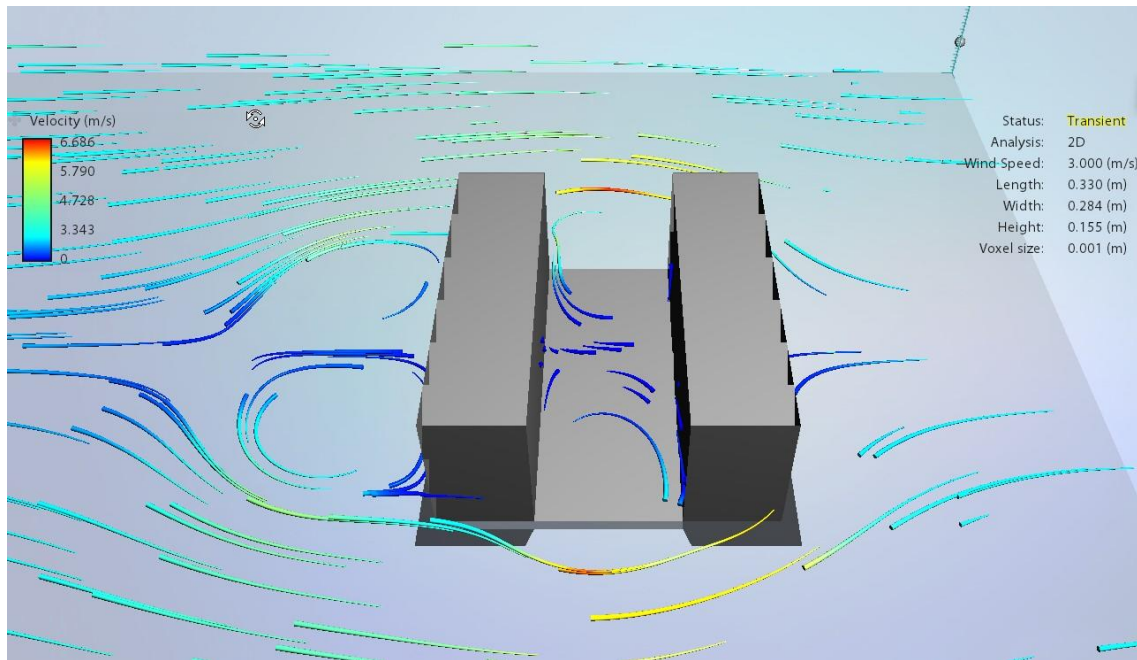


Figura 233. Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 1 relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-sureste. Elaboración propia.

6.4.4 Espacio urbano con tejido compacto de gran altura (LCZ 1) relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste:

En este espacio urbano se observa que la velocidad del viento oscila entre 0 m/s a 6.9 m/s, pero los patrones de circulación de viento indican que las ráfagas tienen velocidades de 0 m/s a 3.4 m/s; la presión atmosférica se presenta entre valores que van de -23 Pa a 9 Pa (Ver figura 234).

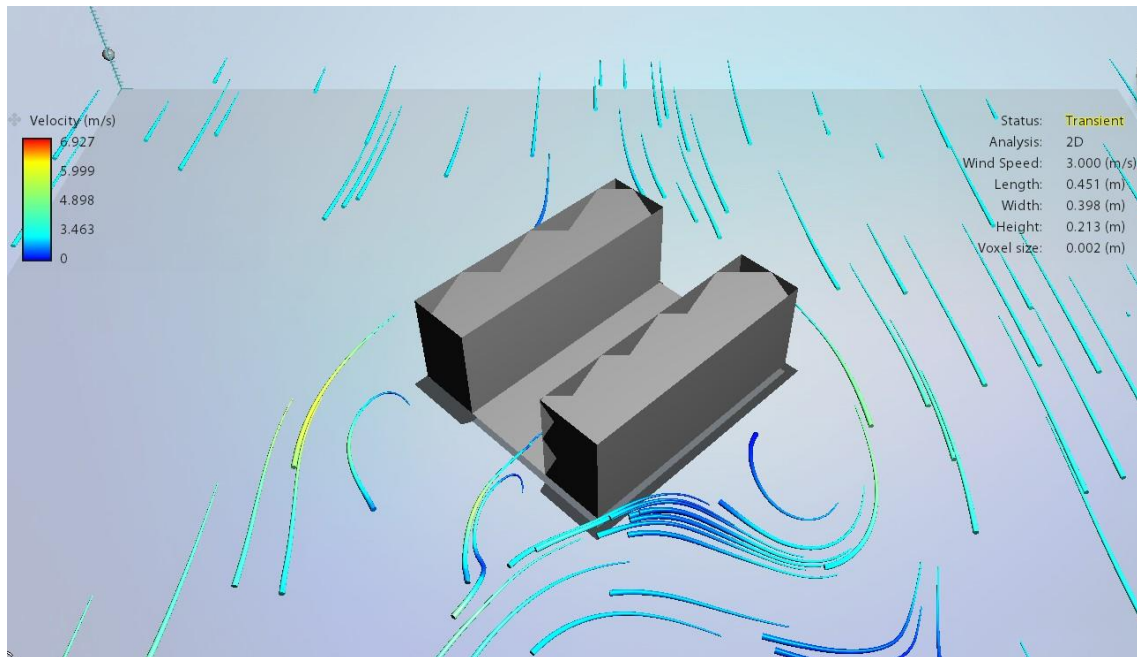


Figura 234. Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 1 relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

6.4.5 Espacio urbano con tejido compacto de baja altura (LCZ 3) relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur:

En este espacio urbano se observa que la velocidad del viento oscila entre 0 m/s a 7.2 m/s; la presión atmosférica se presenta entre valores que van de -23 Pa a 12 Pa (Ver figura 235).

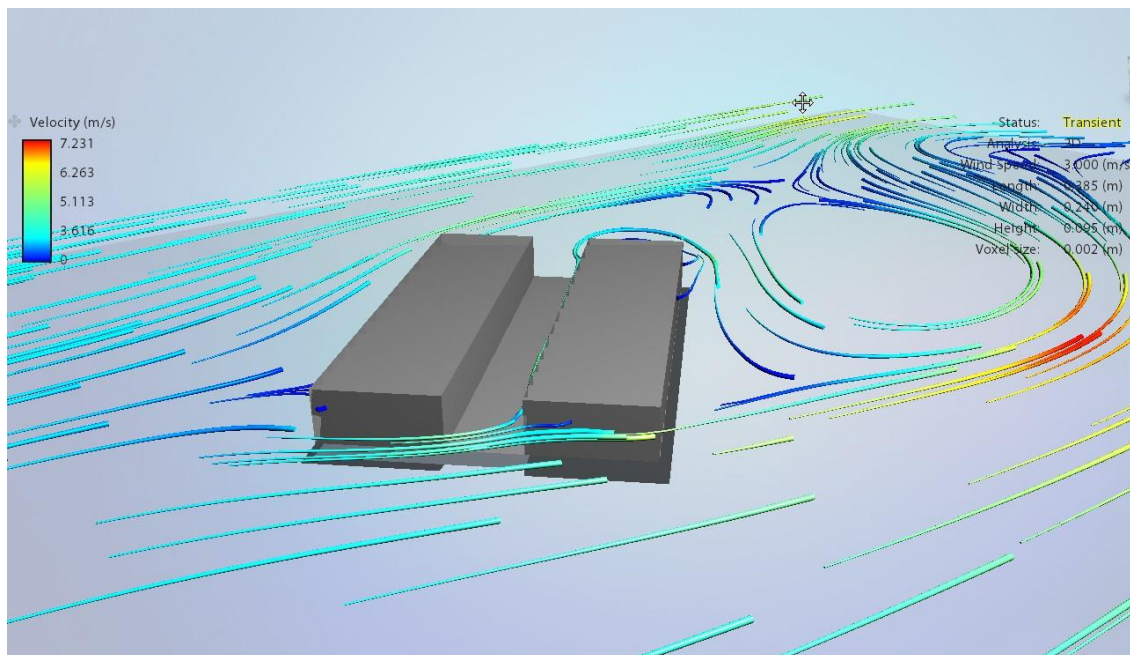


Figura 235. Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 3 relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

6.4.6 Espacio urbano con tejido compacto de baja altura (LCZ 3) relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste:

En este espacio urbano se observa que la velocidad del viento oscila entre 0 m/s a 5.2 m/s; la presión atmosférica se presenta entre valores que van de -12 Pa a 7.9 Pa (Ver figura 236).

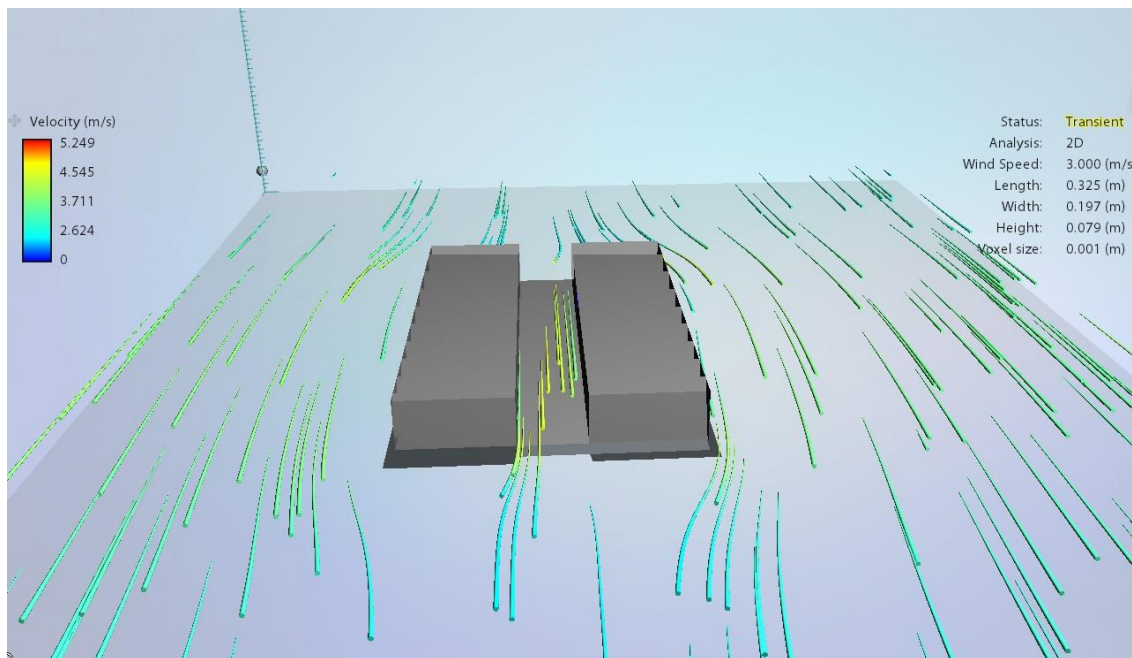


Figura 236. Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 3 relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

6.4.7 Espacio urbano con tejido compacto de baja altura (LCZ 3) relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste:

En este espacio urbano se observa que la velocidad del viento oscila entre 0 m/s a 7.8 m/s; la presión atmosférica se presenta entre valores que van de -34 Pa a 18 Pa (Ver figura 237).

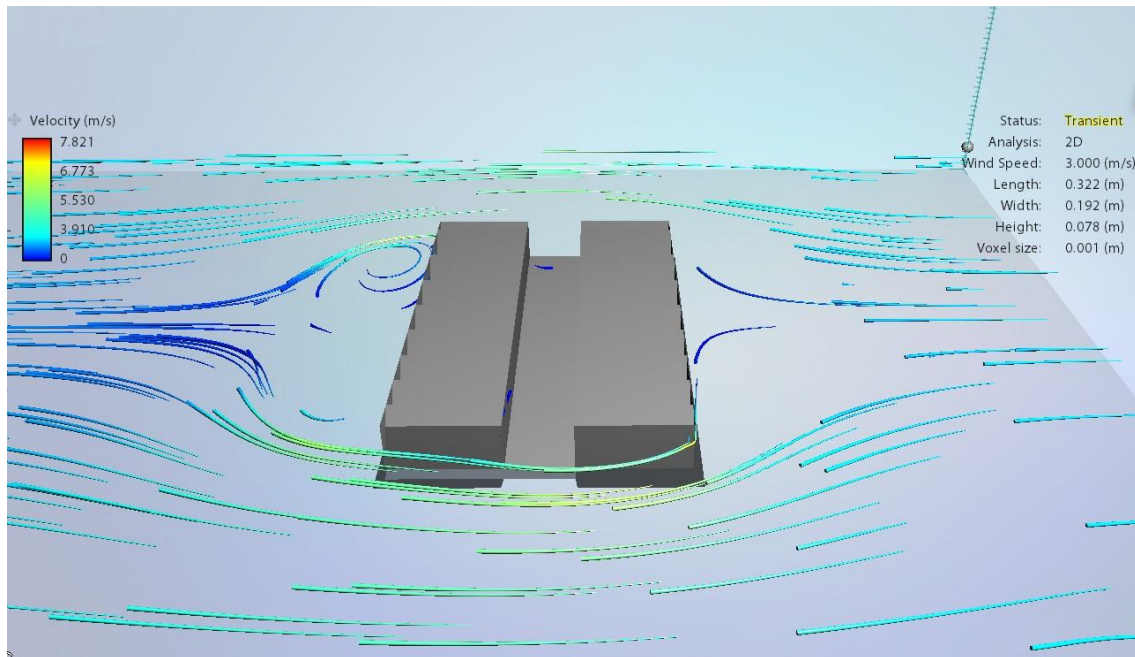


Figura 237. Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 3 relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

6.4.8 Espacio urbano con tejido compacto de baja altura (LCZ 3) relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste:

En este espacio urbano se observa que la velocidad del viento oscila entre 0 m/s a 7 m/s; la presión atmosférica se presenta entre valores que van de -15 Pa a 22 Pa (Ver figura 238).

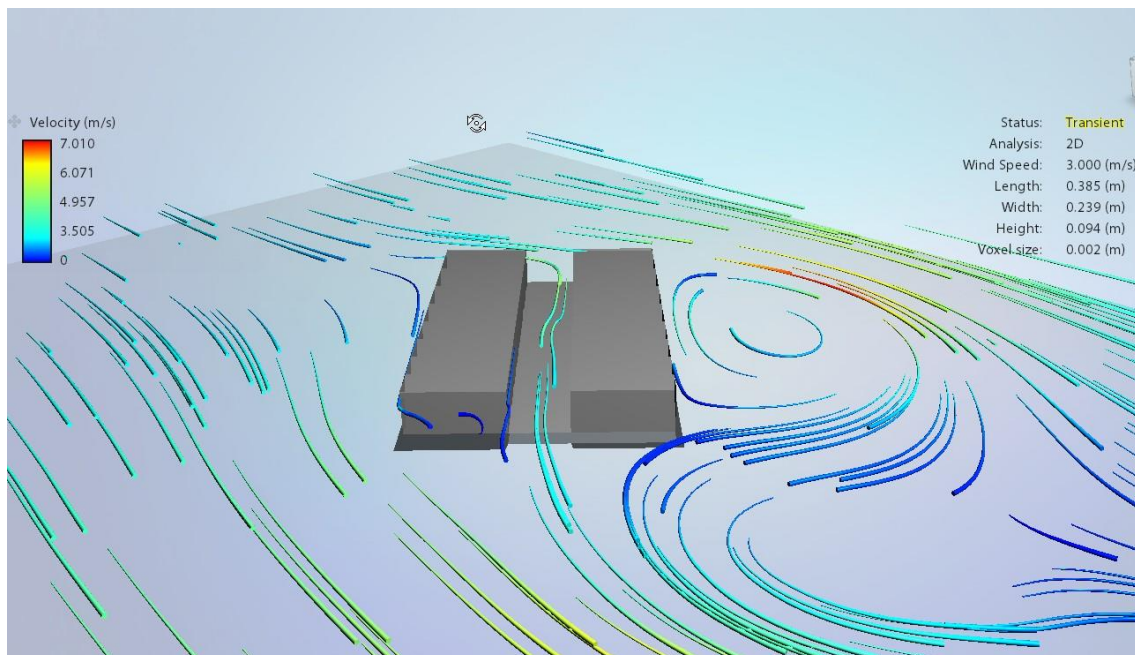


Figura 238. Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 3 relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

6.4.9 Espacio urbano con tejido abierto de gran altura (LCZ 4) relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur:

En este espacio urbano se observa que la velocidad del viento oscila entre 0 m/s a 5.9 m/s; la presión atmosférica se presenta entre valores que van de -33 Pa a 9 Pa (Ver figura 239).

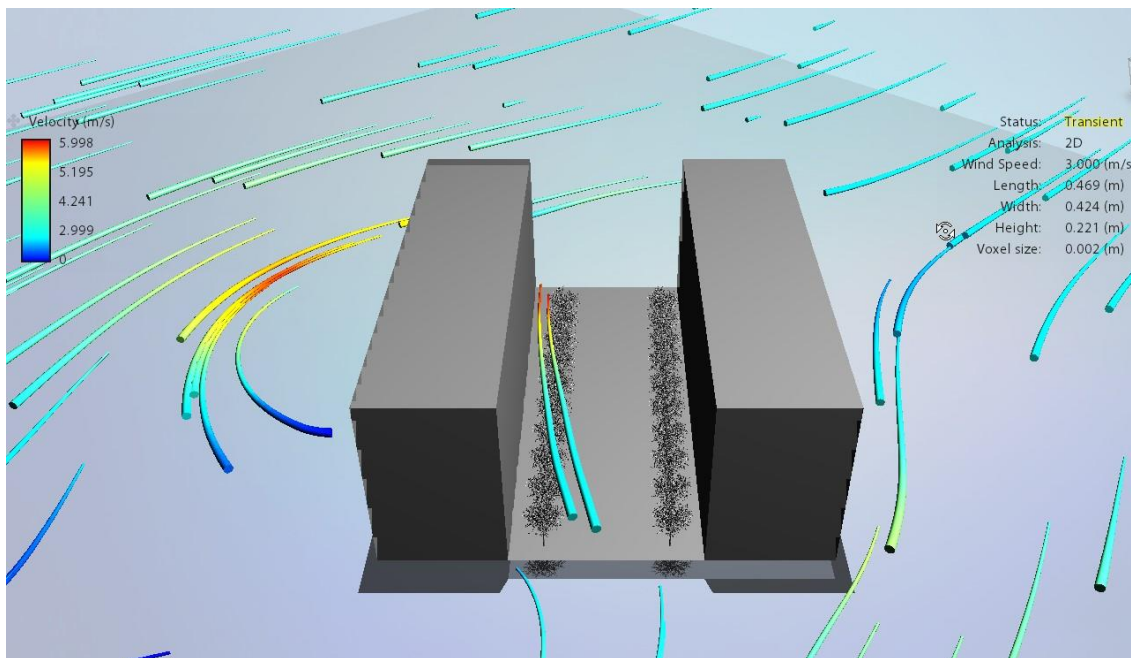


Figura 239. Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 4 relación H/W igual a 1 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

6.4.10 Espacio urbano con tejido abierto de gran altura (LCZ 4) relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste:

En este espacio urbano se observa que la velocidad del viento oscila entre 0 m/s a 5.9 m/s; la presión atmosférica se presenta entre valores que van de -12 Pa a 10 Pa (Ver figura 240).

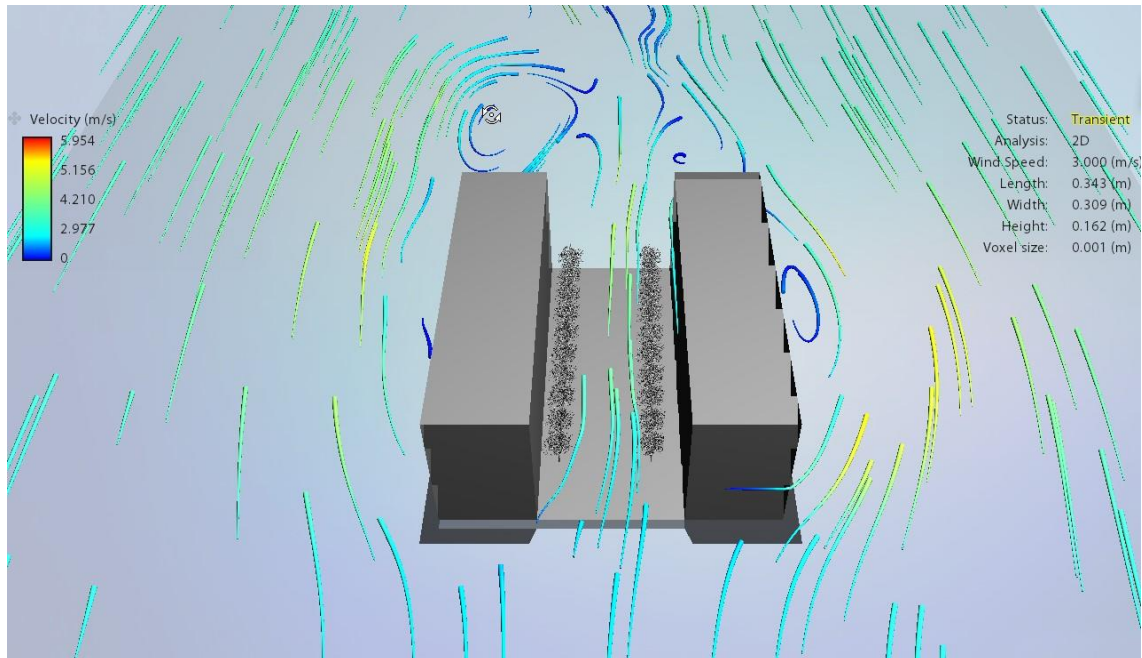


Figura 240. Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 4 relación H/W igual a 1 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

6.4.11 Espacio urbano con tejido abierto de gran altura (LCZ 4) relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste:

En este espacio urbano se observa que la velocidad del viento oscila entre 0 m/s a 6.5 m/s; la presión atmosférica se presenta entre valores que van de -18 Pa a 13 Pa (Ver figura 241).

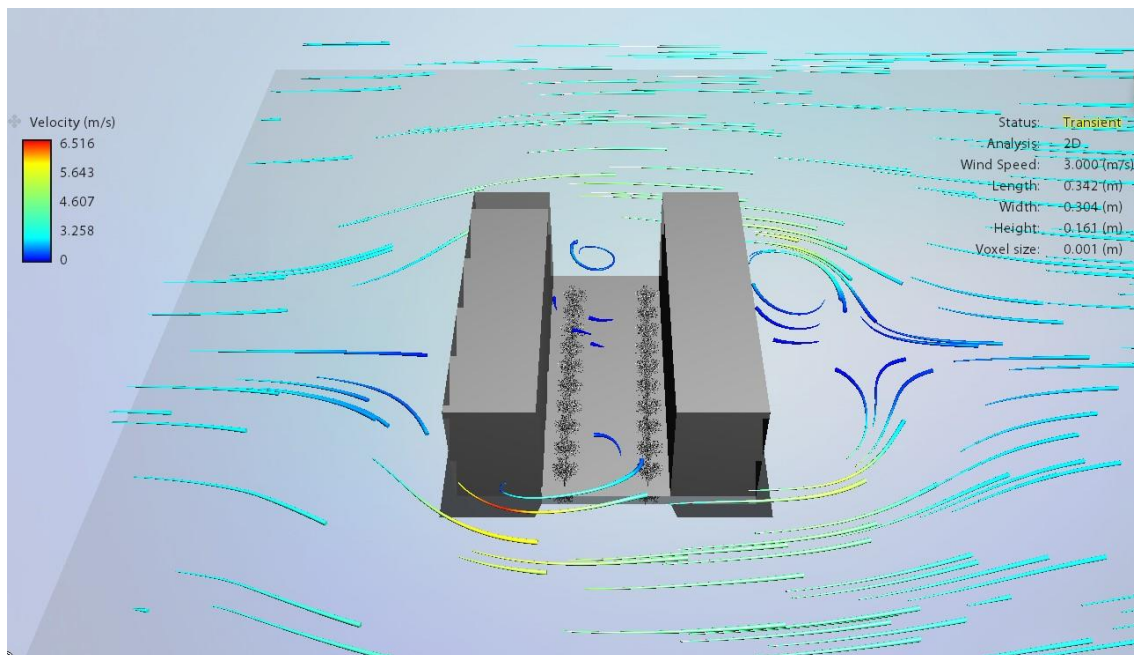


Figura 241. Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 4 relación H/W igual a 1 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

6.4.12 Espacio urbano con tejido abierto de gran altura (LCZ 4) relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste:

En este espacio urbano se observa que la velocidad del viento oscila entre 0 m/s a 5.8 m/s; la presión atmosférica se presenta entre valores que van de -18 Pa a 13 Pa (Ver figura 242).

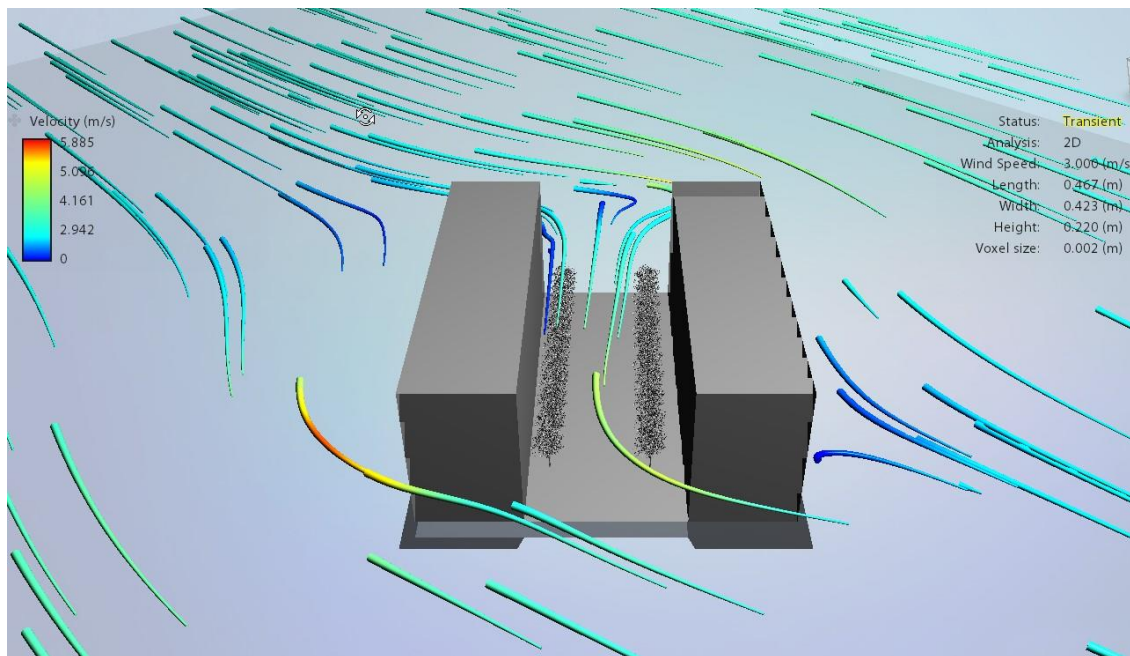


Figura 242. Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 4 relación H/W igual a 1 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

6.4.13 Espacio urbano con tejido abierto de baja altura (LCZ 6) relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur:

En este espacio urbano se observa que la velocidad del viento oscila entre 0 m/s a 10 m/s; la presión atmosférica se presenta entre valores que van de -47 Pa a 12 Pa (Ver figura 243).

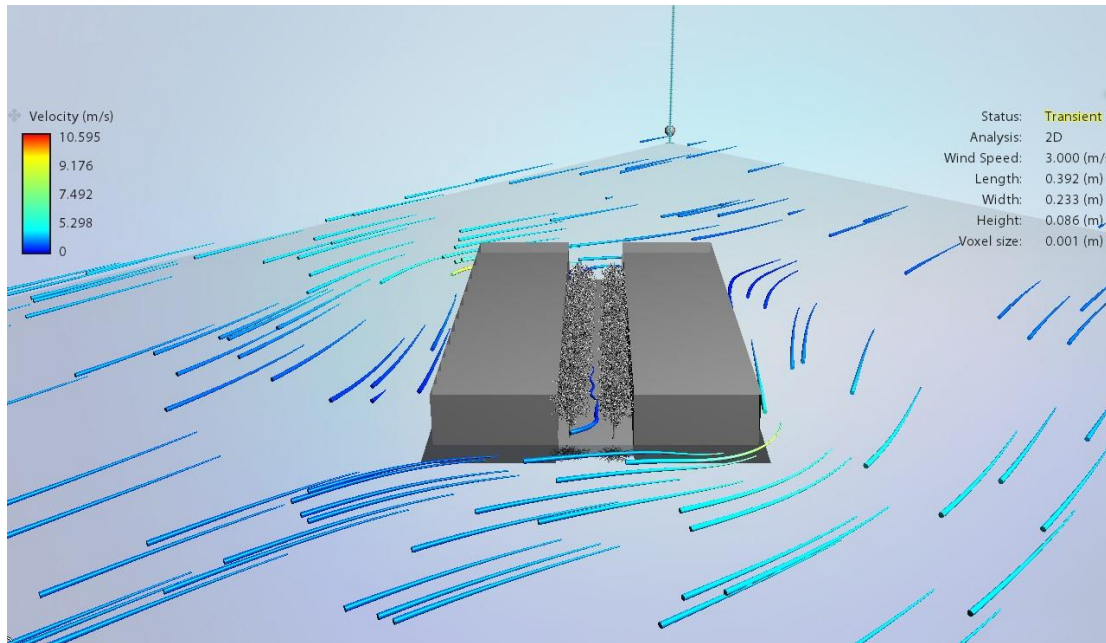


Figura 243. Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 6 relación H/W igual a 0.75 y orientación Norte-Sur. Elaboración propia.

6.4.14 Espacio urbano con tejido abierto de baja altura (LCZ 6) relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste:

En este espacio urbano se observa que la velocidad del viento oscila entre 0 m/s a 6.5 m/s; la presión atmosférica se presenta entre valores que van de -21 Pa a 10 Pa (Ver figura 244).

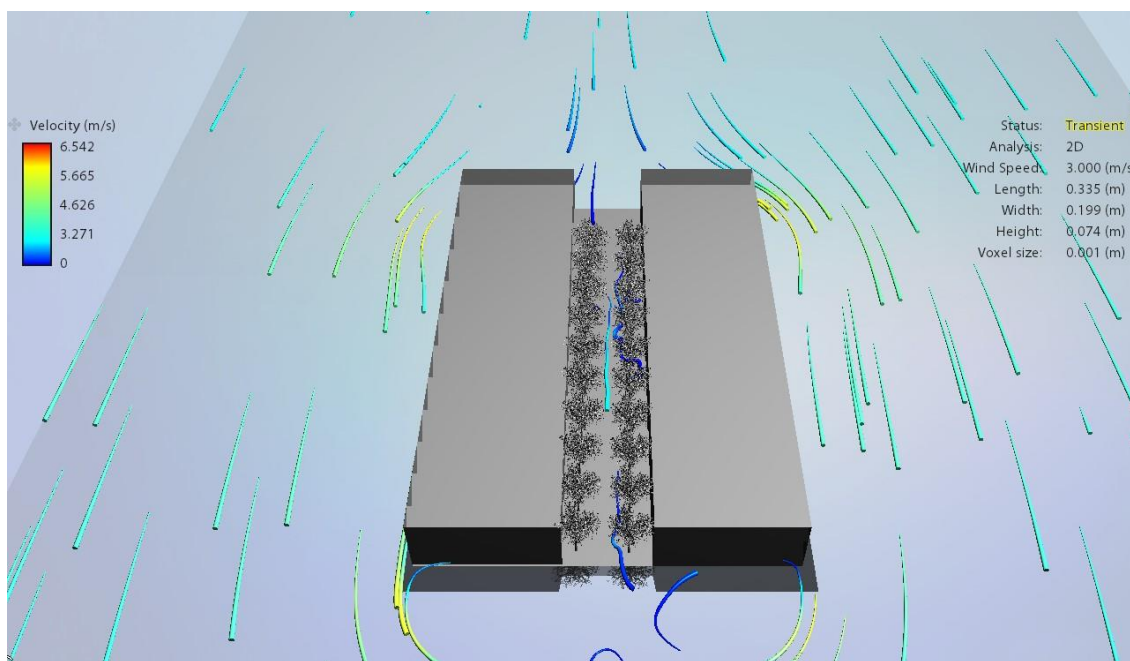


Figura 244. Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 6 relación H/W igual a 0.75 y orientación Noreste-Suroeste. Elaboración propia.

6.4.15 Espacio urbano con tejido abierto de baja altura (LCZ 6) relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste:

En este espacio urbano se observa que la velocidad del viento oscila entre 0 m/s a 9.98 m/s; la presión atmosférica se presenta entre valores que van de -36 Pa a 13 Pa (Ver figura 245).

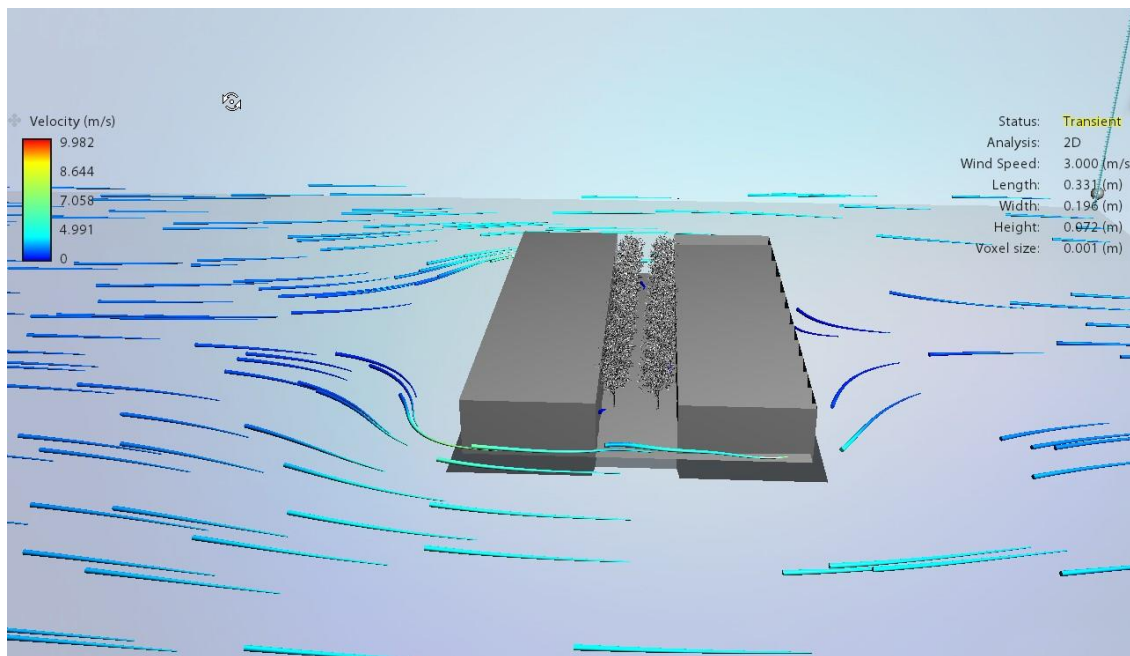


Figura 245. Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 6 relación H/W igual a 0.75 y orientación Noroeste-Sureste. Elaboración propia.

6.4.16 Espacio urbano con tejido abierto de baja altura (LCZ 6) relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste:

En este espacio urbano se observa que la velocidad del viento oscila entre 0 m/s a 9.99 m/s; la presión atmosférica se presenta entre valores que van de -40 Pa a 10 Pa (Ver figura 246).

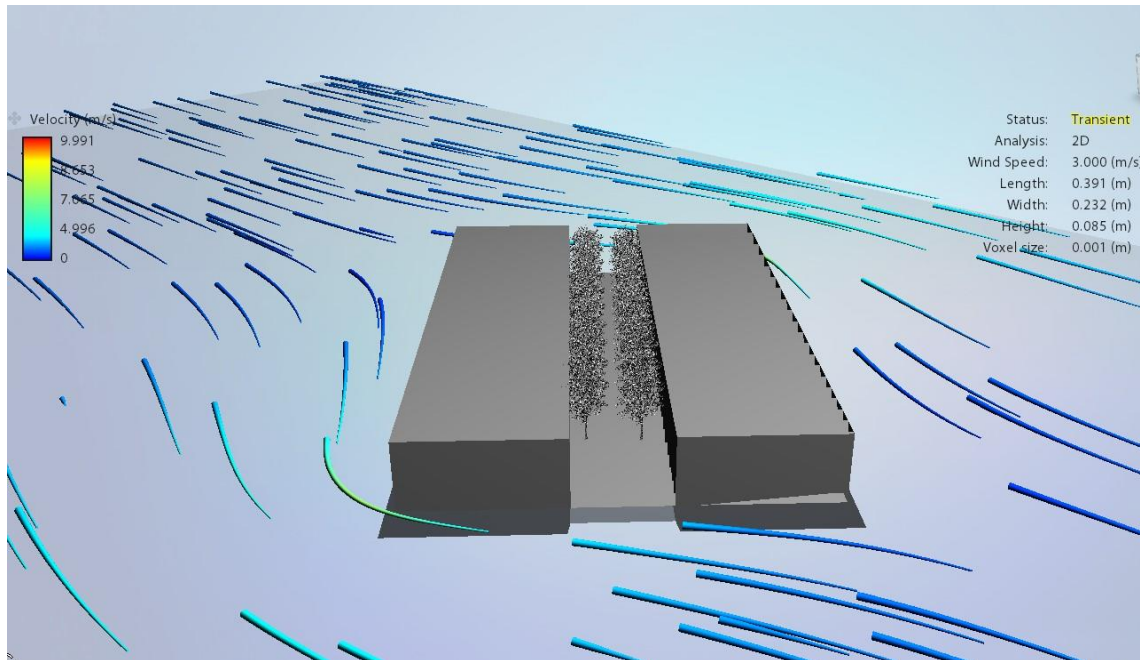


Figura 246. Simulaciones virtuales de viento: Velocidad del viento modelo LCZ 6 relación H/W igual a 0.75 y orientación Este-Oeste. Elaboración propia.

Según lo analizado en las simulaciones presentadas de velocidad del viento, en los espacios urbanos de baja altura, la velocidad del viento tiende a ser mayor con respecto a los modelos de gran altura. Además, en estos espacios se evidencia mayores efectos del viento en cuanto a las variables de turbulencia y frecuencia. El viento tiene mayor frecuencia en su circulación en los modelos de baja altura, puesto que entre mayor sea la altura de una edificación en los espacios urbanos, mayores serán las modificaciones en los patrones de circulación de viento. Los árboles pertenecen a la rugosidad superficial, por esta razón, en los espacios urbanos con tejido abierto, el viento tiene ciertas modificaciones en su recorrido por el eje de calle; modificaciones favorables a estos espacios.

En las zonas de presión alta (+), se presentan en su mayoría cuando la edificación se antepone al viento o cuando el viento pega sobre un edificio, modificando su patrón natural y desviando su circulación; estas zonas conocidas como barlovento, permiten que el viento rodee al edificio, incrementando en gran manera su velocidad. En las zonas de presión baja (-), se

presentan en las caras laterales de la edificación, o en su defecto, en la caras posteriores y eje de calle en el caso de las simulaciones realizadas; estas zonas se conocen como sotavento.

6.5 Propuesta de criterios bioclimáticos para el diseño urbano en ciudades con climas tropicales. Caso de estudio: Barranquilla, Colombia.

Para el caso de estudio se seleccionaron 4 espacios urbanos basados en las Zonas Climáticas Locales (LCZ), estas fueron:

- LCZ 6 abierto de baja altura: espacios urbanos con arborización y suelo permeable, con edificaciones de 3 niveles máximo.
- LCZ 4 abierto de gran altura: espacios urbanos con arborización y suelo permeable, con edificaciones de 10 niveles o más.
- LCZ 3 compacto de baja altura: espacios urbanos sin arborización y suelo no permeable, con edificaciones de 3 niveles máximo.
- LCZ 1 compacto de gran altura: espacios urbanos sin arborización y suelo no permeable, con edificaciones de 10 niveles o más.

Las razones por la selección de estos espacios se presentan el apartado de diseño metodológico del presente trabajo de grado; basándose en el estudio e investigación hecho por Kattia Villadiego Bernal (2014). Por lo tanto, la propuesta de criterios bioclimáticos que se presenta analiza de forma independiente cada uno de los LCZ estudiados y las variables microclimáticas analizadas, determinando su favorabilidad y des favorabilidad, mediante tablas y gráficos, en el diseño de espacios urbanos de ciudades con climas tropicales. Recordando que, los criterios bioclimáticos estructurados se presentan a modo de sugerencias para el diseño urbano y como caso de estudio la ciudad mencionada y, por tanto, algunos aspectos de la propuesta como análisis de los valores de radiación incidente sobre los elementos del cañón

urbano, temperatura de confort y, predominancia y velocidad del viento, pueden variar según la ciudad a aplicar los criterios.

6.5.1 Espacios urbanos con tejido compacto y de gran altura (LCZ 1) relación H/W igual a 1:

Los espacios urbanos con tejido compacto y de gran altura, no son recomendados en el diseño urbano de ciudades con climas tropicales. En estos espacios no hay presencia de arborización y de suelo permeable, por tanto, la cantidad de radiación incidente sobre los elementos del cañón urbano serán mayores tanto en el solsticio de junio como en el solsticio de diciembre (ver tabla 52). En cuanto al promedio de porcentaje de sombras generadas sobre los elementos del cañón urbano, como no hay presencia de arborización la sombra se genera por las edificaciones presentes en el espacio urbano (ver tabla 53).

Tabla 52

Radiación incidente³ (Wh/m²) en los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura (LCZ 1)

Radiación incidente (Wh/m²) en los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura (LCZ 1)					
Orientación	Elemento	21 de junio (Wh/m²)		21 de diciembre (Wh/m²)	
		10 hrs.	16 hrs.	10 hrs.	16 hrs.
Norte-Sur	Este	626	3800-4200	1600	1800
	Oeste	1112	3000-3400	541	600-800
	Suelo	1598	1800	600-800	600-800
Este-Oeste	Sur	626	3240	1600	1600
	Norte	1598	2360	1800	1800
	Suelo	1598-2570	1480	600-800	600-800
Noreste-Suroeste	Noroeste	140-626	140-626	1400-1600	1400-1600
	Sureste	140	140	1600	1600
	Suelo	1598-2570	1598-2570	600	600
Noroeste-Sureste	Noreste	626	626	1800	1800
	Suroeste	1598	1598	1600	1600

³ Valores calculados por el estilo de análisis por defecto de radiación incidente del software Ecotect, cuyos datos oscilan entre 0 Wh/m² a 5000 Wh/m².

	Suelo	1598-2570	1598-2570	600-800	600-800
--	-------	-----------	-----------	---------	---------

Nota. Elaboración propia.

Tabla 53

Porcentaje de sombras (%) sobre los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura (LCZ 1)

Porcentaje de sombras (%) sobre los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido compacto de gran altura (LCZ 1)				
Orientación	Elemento	21 de junio (%)	21 de diciembre (%)	
Norte-Sur	Oeste	58.36	55.04	
	Este	52.32	63.04	
	Suelo	49.8	58.86	
Este-Oeste	Sur	100	7	
	Norte	3	100	
	Suelo	23.84	58	
Noreste- Suroeste	Sureste	56.84	44.65	
	Noroeste	52.92	70.47	
	Suelo	48.48	37.5	
Noroeste- Sureste	Noreste	52.84	79.52	
	Suroeste	60.8	37.08	
	Suelo	48.4	51.43	

Nota. Elaboración propia

En cuanto a velocidad del viento, este tipo de espacio urbano en las diferentes orientaciones de eje de calle presenta valores que oscilan entre 0 m/s a 6 m/s, en los solsticios de junio y diciembre. La gran altura de las edificaciones, no favorece a los patrones y frecuencia de circulación de viento.

6.5.2 Espacios urbanos con tejido abierto y de gran altura (LCZ 4) relación H/W igual a 1:

Los espacios urbanos con tejido abierto y de gran altura, son favorables en el diseño urbano de ciudades con climas tropicales. La presencia de arborización y suelo permeable favorece a la disminución de radiación incidente y aumento de porcentaje de sombras sobre los elementos del cañón urbano (ver tabla 54-55). Es recomendable, según lo simulado, que en el

espacio urbano en una extensión de 77 metros de largo de la manzana existan entre 15 a 22 árboles que sean altos y de geometría de la corona redonda y/o ramificación horizontal. La selección de los árboles a utilizar dependerá de la selección y estudio urbano de cualquier proyecto en este tipo de ciudades. De igual forma, la presencia de arborización beneficia a la circulación del viento en el eje de calle y la temperatura de confort.

Tabla 54

Radiación incidente⁴ (Wh/m²) en los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura (LCZ 4)

Radiación incidente (Wh/m²) en los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura (LCZ 4)					
Orientación	Elemento	21 de junio (Wh/m²)		21 de diciembre (Wh/m²)	
		10 hrs.	16 hrs.	10 hrs.	16 hrs.
Norte-Sur	Este	459	37	260	41
	Oeste	90	263	55	265
	Suelo	224	25	131	34
Este-Oeste	Sur	92	40	318	241
	Norte	288	160	54	43
	Suelo	404	84	102	56
Noreste-Suroeste	Noroeste	94	263	53	137
	Sureste	221	37	360	46
	Suelo	440	25	28	100
Noroeste-Sureste	Noreste	489	40	59	41
	Suroeste	90	162	103	238
	Suelo	216	84	242	24

Nota. Elaboración propia

Tabla 55

Porcentaje de sombras (%) sobre los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura (LCZ 4)

Porcentaje de sombras (%) sobre los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido abierto de gran altura (LCZ 4)			
Orientación	Elemento	21 de	21 de

⁴ Valores calculados por el estilo de análisis por defecto de radiación incidente del software Revit de Autodesk, cuyos datos oscilan entre 0 Wh/m² a 500 Wh/m².

		junio (%)	diciembre (%)
Norte-Sur	Este	55.44	63.04
	Oeste	59.6	56.91
	Suelo	61.64	74.35
Este-Oeste	Sur	100	8.48
	Norte	3.68	100
	Suelo	41.12	91.83
Noreste-Suroeste	Sureste	57.08	44.74
	Noroeste	53.08	71.17
	Suelo	58.92	64,35
Noroeste-Sureste	Noreste	52.88	80.3
	Suroeste	61.16	41
	Suelo	56.08	62.91

Nota. Elaboración propia.

Es importante que este tipo de espacios urbanos se diseñen con una relación H/W igual a 1, es decir, que la misma altura de la edificación sea el mismo ancho de la calle. Para favorecer los porcentajes de sombras generados y disminuir la radiación incidente. Se presentan los siguientes diseños urbanos de este tipo de espacio urbano aplicable en la ciudad caso de estudio (ver figura 247-249).

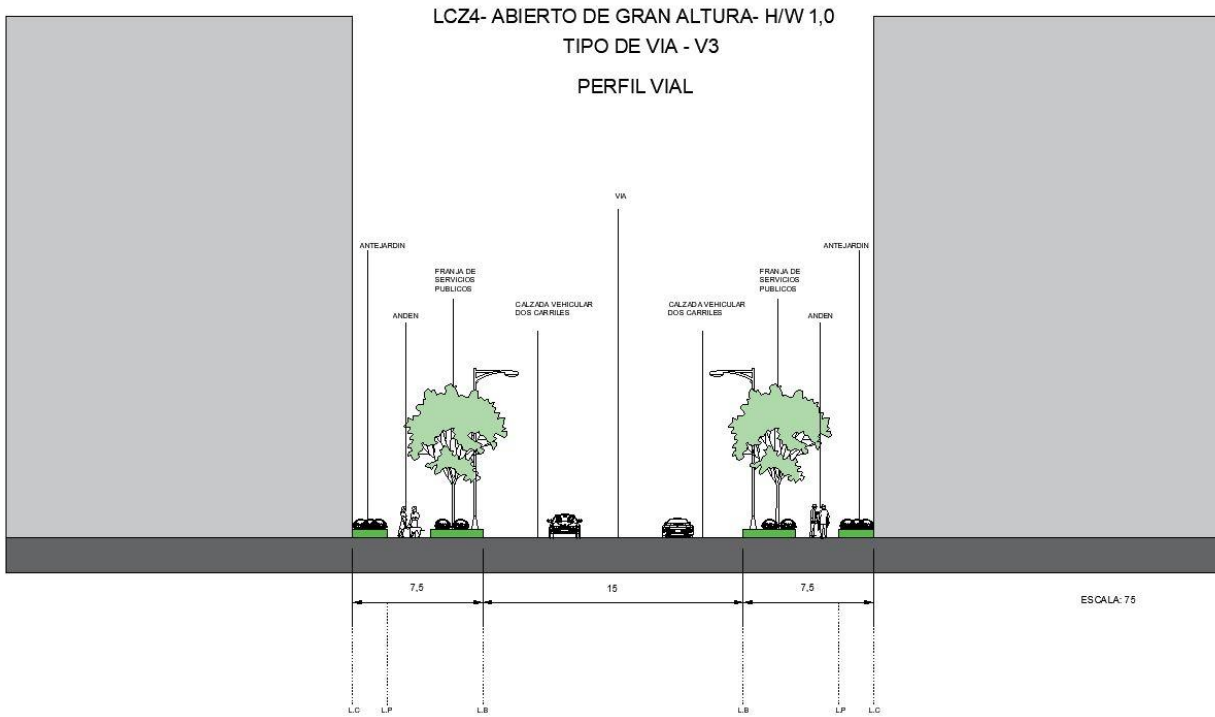


Figura 247. Perfil vial espacio urbano con tejido abierto de gran altura y relación H/W igual a 1. Elaboración propia.

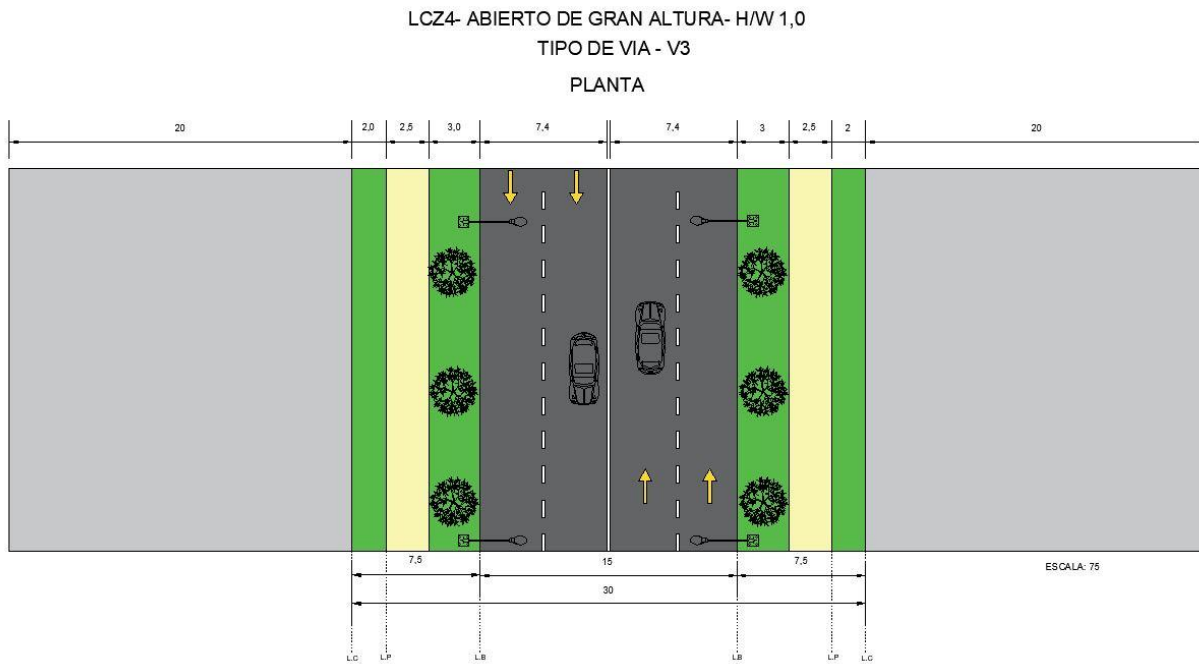


Figura 248. Vista en planta espacio urbano con tejido abierto de gran altura y relación H/W igual a 1. Elaboración propia



Figura 249. Modelizado espacio urbano con tejido abierto de gran altura y relación H/W igual a 1. Elaboración propia

En el caso de este espacio urbano, todas las orientaciones de eje de calle son favorables para el diseño urbano en ciudades con climas tropicales, basándose en los valores obtenidos en radiación incidente, porcentajes de sombras generados, SVF y velocidad y efectos del viento. Únicamente, en la orientación Este-Oeste, debe tenerse en cuenta la protección de los elementos del cañón urbano, puesto que el eje de calle está orientado con la trayectoria solar. Las velocidades del viento que se presentan en este espacio en las distintas orientaciones de eje de calle, oscilan entre 0 m/s a 7 m/s.

6.5.3 Espacios urbanos con tejido compacto y de baja altura (LCZ 3) relación H/W igual a 0.75:

Los espacios urbanos con tejido compacto y de baja altura, no son recomendados en el diseño urbano de ciudades con climas tropicales. En estos espacios no hay presencia de arborización y de suelo permeable, por tanto, la cantidad de radiación incidente sobre los elementos del cañón urbano serán mayores tanto en el solsticio de junio como en el solsticio de

diciembre (ver tabla 56). En cuanto al promedio de porcentaje de sombras generadas sobre los elementos del cañón urbano, como no hay presencia de arborización la sombra se genera por las edificaciones presentes en el espacio urbano (ver tabla 57). Lo que sí es favorable en estos espacios son los patrones de circulación y velocidad de viento.

Tabla 56

Radiación incidente⁵ (Wh/m²) en los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura (LCZ 3)

Radiación incidente (Wh/m²) en los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura (LCZ 3)					
Orientación	Elemento	21 de junio (Wh/m ²)		21 de diciembre (Wh/m ²)	
		10 hrs.	16 hrs.	10 hrs.	16 hrs.
Norte-Sur	Este	626	626	600	600
	Oeste	626-1112	626-1112	600-800	600-800
	Suelo	1598	1598	400	400
Este-Oeste	Sur	2200	2200	1600	1600
	Norte	4600	4600	1600	1600
	Suelo	1000	1000	400-600	400-600
Noreste-Suroeste	Noroeste	1480	1480	600-800	600-800
	Sureste	600-1040	600-1040	600-800	600-800
	Suelo	2800	2800	400	400
Noroeste-Sureste	Noreste	1480	1480	600-800	1600
	Suroeste	600	600	600-800	0-200
	Suelo	2800	2800	800	600-800

Nota. Elaboración propia.

Tabla 57

Porcentaje de sombras (%) sobre los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura (LCZ 3)

Porcentaje de sombras (%) sobre los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido compacto de baja altura (LCZ 3)			
Orientación	Elemento	21 de	21 de
		junio (%)	diciembre (%)

⁵ Valores calculados por el estilo de análisis por defecto de radiación incidente del software Ecotect, cuyos datos oscilan entre 0 Wh/m² a 5000 Wh/m².

Norte-Sur	Este	51	56
	Oeste	53	50
	Suelo	55	40
Este-Oeste	Sur	100	3
	Norte	0.4	100
	Suelo	30	38
Noreste-Suroeste	Sureste	56.56	39
	Noroeste	45	70
	Suelo	35.8	23.13
Noroeste-Sureste	Noreste	47	80
	Suroeste	61	35
	Suelo	21	39

Nota. Elaboración propia.

6.5.4 Espacios urbanos con tejido abierto y de baja altura (LCZ 6) relación H/W igual a 0.75:

Los espacios urbanos con tejido abierto y de baja altura, son favorables en el diseño urbano de ciudades con climas tropicales. La presencia de arborización y suelo permeable favorece a la disminución de radiación incidente y aumento de porcentaje de sombras sobre los elementos del cañón urbano (ver tabla 58-59). Es recomendable, según lo simulado, que en el espacio urbano en una extensión de 77 metros de largo de la manzana existan entre 15 a 22 árboles que sean altos y de geometría de la corona redonda y/o ramificación horizontal, no obstante, los árboles no pueden tener una pronunciada ramificación horizontal, se debe permitir el paso de luz solar a cada uno de los elementos del cañón.

La selección de los árboles a utilizar dependerá de la selección y estudio urbano de cualquier proyecto en este tipo de ciudades. De igual forma, la presencia de arborización beneficia a la circulación del viento en el eje de calle y la temperatura de confort. Este tipo de espacio urbano se sugiere que sea de uso residencial con calles peatonales.

Tabla 58

Radiación incidente⁶ (Wh/m²) en los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura (LCZ 6)

Radiación incidente (Wh/m²) en los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura (LCZ 6)					
Orientación	Elemento	21 de junio (Wh/m²)		21 de diciembre (Wh/m²)	
		10 hrs.	16 hrs.	10 hrs.	16 hrs.
Norte-Sur	Este	363	31	177	34
	Oeste	82	149	49	166
	Suelo	148	14	86	19
Este-Oeste	Sur	82	31	197	119
	Norte	247	102	48	34
	Suelo	162	19	50	21
Noreste-Suroeste	Noroeste	81	130	46	66
	Sureste	170	30	187	33
	Suelo	177	11	46	29
Noroeste-Sureste	Noreste	260	30	48	31
	Suroeste	75	61	72	132
	Suelo	128	24	127	13

Nota. Elaboración propia.

Tabla 59

Porcentaje de sombras (%) sobre los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura (LCZ 6)

Porcentaje de sombras (%) sobre los elementos del cañón urbano: Espacio urbano con tejido abierto de baja altura (LCZ 6)			
Orientación	Elemento	21 de	21 de
		junio (%)	diciembre (%)
Norte-Sur	Este	58.96	60
	Oeste	62,76	56
	Suelo	73.96	83
Este-Oeste	Sur	100	22.04
	Norte	16.04	100
	Suelo	69.72	83.82
Noreste-	Sureste	63.64	48.91

⁶ Valores calculados por el estilo de análisis por defecto de radiación incidente del software Revit de Autodesk, cuyos datos oscilan entre 0 Wh/m² a 500 Wh/m².

Suroeste	Noroeste	51.44	74.86
	Suelo	77.56	82.56
Noroeste- Sureste	Noreste	51.68	74.86
	Suroeste	67.68	43.91
	Suelo	73.24	83.39

Nota. Elaboración propia.

Es importante que este tipo de espacios urbanos se diseñen con una relación H/W que oscile entre 0.75 a 1. Para favorecer los porcentajes de sombras generados y disminuir la radiación incidente. Al igual que en el modelo LCZ 4, todas las orientaciones de eje de calle del modelo LCZ 6, son favorables en el diseño urbano de ciudades con climas tropicales; tomando a consideración, el eje de calle Este-Oeste, orientado respecto a la trayectoria solar, aunque, como es analizado en las simulaciones de radiación y sombras, en uno de los elementos del cañón urbano no incide los rayos del sol en cualquiera de los solsticios.

Por lo anterior, se presentan los siguientes puntos de análisis conclusivos de la propuesta de criterios bioclimáticos para el diseño urbano:

1. Para el 21 de junio la radiación acumulada e incidente en los elementos del cañón urbano y la cubierta de los modelos de espacios urbanos con tejido compacto, tanto a las diez de la mañana como a las cuatro de la tarde, oscila entre 0 Wh/m² a 5000 Wh/m². Para el 21 de diciembre, los valores oscilan entre 0 Wh/m² a 2000 Wh/m². Es decir, en el solsticio de junio la radiación acumulada en cada uno de los elementos del cañón urbano es mayor a lo acumulado en el solsticio de diciembre.
2. En horas de la tarde, los elementos del cañón urbano acumulan más radiación, no obstante, en ciertas orientaciones de ejes de calle en los modelos analizados, los valores de radiación incidente acumulados en la mañana son similares y/o iguales a los presentados en horas de la tarde. Aunque, en ciertos elementos del cañón urbano (teniendo en cuenta la orientación de eje de calle) de algunos modelos seleccionados, la

radiación que incide en horas de la mañana es mayor a lo que incide en horas de la tarde.

Hay que tener presente que el material de construcción del elemento del cañón urbano influye en la cantidad de radiación que se acumula y se retiene en estos. En el caso de esta investigación, para las simulaciones de radiación incidente, el material de construcción de las edificaciones es bloque de cemento y/o arcilla (mampostería). Para el caso del suelo, en los espacios con tejido compacto el pavimento es en concreto, en cambio, en los espacios con tejido abierto el suelo es permeable, es decir, hay mayor presencia de zonas verdes.

3. En las cubiertas de las edificaciones, en los modelos de gran altura de tejido compacto, la radiación que índice es superior a 4000 Wh/m^2 . Por tanto, es recomendable que en ciudades con climas tropicales se usen cubiertas o techos verdes o, en su defecto, un material de cubierta y/o tipo losa que acumule menos radiación. No obstante, como fue mencionado anteriormente, en las ciudades con climas tropicales no es recomendable los espacios urbanos con tejido compacto.
4. En el espacio urbano con tejido compacto de gran altura (LCZ 1), en las orientaciones Noreste-Suroeste y Noroeste-Suroeste, la radiación incidente en los elementos de cañón urbano es similar y/o igual tanto a las diez de la mañana como a las cuatro de la tarde. Esto se presenta en ambas épocas del año simuladas; 21 de junio y 21 de diciembre.
5. Según los resultados de la simulación de porcentaje de sombras sobre los elementos del cañón urbano en el espacio urbano con tejido compacto de gran altura (LCZ 1), la orientación de eje de calle más adecuada es Norte-Sur, seguido de Noroeste-Sureste y Noreste-Suroeste. La orientación de eje de calle para este tipo de espacio urbano es Este-Oeste, a pesar de tener elementos con promedios de porcentajes de sombras igual a 100

%, no obstante, algunos elementos presentan porcentajes bastantes desfavorables.

Recordando que este espacio urbano presenta un tejido compacto, sin presencia de arborización, edificios de 10 niveles (30 metros) y ancho de la calle de 30 metros, con una relación H/W igual a 1.

6. Los elementos del espacio urbano con tejido compacto y de gran altura (LCZ 1) con orientación de eje de calle Este-Oeste, acumulan más radiación solar en las épocas del año simuladas.
7. Los elementos del espacio urbano con tejido compacto y de gran altura (LCZ 1) con orientación de eje de calle Noreste-Suroeste, acumulan menos radiación solar en las épocas del año simuladas, seguidos de las orientaciones Noroeste-Sureste y Norte-Sur.
8. Para el espacio urbano con tejido compacto de gran altura (LCZ 1), sin arborización, con edificaciones de 10 niveles (30 metros) y H/W igual a 1, las orientaciones de ejes de calles más óptimas y favorables en un diseño urbano, teniendo en cuenta radiación solar incidente y porcentajes de sombras generados en los elementos del cañón urbano, son: Norte-Sur, Noreste-Suroeste y Noroeste-Sureste. La orientación Este-Oeste, no es favorable ni recomendable para este tipo de espacio en el diseño urbano.
9. Para el espacio urbano con tejido compacto de baja altura, edificaciones de tres niveles (9 metros) y ancho de la calle de 12 metros, con relación H/W igual a 0.75, la orientación de eje de calle Norte-Sur incide menos radiación solar en los elementos del cañón urbano. Seguido por las orientaciones Noreste-Suroeste y Noroeste-Sureste.
10. Los elementos del cañón urbano en las orientaciones Este-Oeste en el espacio LCZ 3 acumulan más radiación solar, en comparación al resto de orientaciones, en las épocas del año simuladas.

11. Para el espacio urbano LCZ 3, la orientación Norte-Sur presenta en promedio porcentajes de sombras sobre los elementos del cañón urbano más favorables, seguidos por las orientaciones Noroeste-Sureste y Este-Oeste. Para este modelo, los elementos de la orientación de eje de calle Noreste-Suroeste presentan los promedios de porcentajes de sombras más bajos en comparación al resto de orientaciones.
12. Para el espacio urbano LCZ 3, la orientación de eje de calle más óptima y favorable, tanto por la incidencia de radiación solar y porcentajes de sombras generados en los elementos del cañón urbano, es Norte-Sur. Seguido por la orientación Noroeste-Sureste. La orientación de eje de calle Este-Oeste no es recomendable en este tipo de modelo para el diseño de espacios urbanos.
13. Para el espacio urbano con tejido abierto de baja altura, edificaciones de tres niveles (9 metros) y ancho de la calle de 12 metros, con relación H/W igual a 0.75 y presencia de arborización, en las orientaciones de ejes de calles analizadas y seleccionadas presentan mejores y favorables porcentajes de sombras en comparación al espacio urbano LCZ 3. Las orientaciones Norte-Sur y Noroeste-Sureste, presentan los promedios de porcentajes de sombras más favorables, seguido por la orientación Noreste-Suroeste y, por último, Este-Oeste.
14. En el espacio urbano con tejido abierto de gran altura (LCZ 4) en cada una de sus orientaciones, en los elementos del cañón urbano incide menos radiación en el solsticio de diciembre con respecto al solsticio de junio. La presencia de arborización y de suelo permeable (zonas verdes y suelo vegetal), favorece a que la radiación que se refleja en los elementos sea menor con respecto a los espacios que no tienen esta característica. Con presencia de arborización, suelo permeable, edificaciones con más de 10 niveles y h/w

igual a 1, cada una de las orientaciones de eje de calle del espacio urbano LCZ 4 son favorables en el diseño urbano en cuanto a radiación incidente.

15. En los modelos LCZ 4, en sus diferentes orientaciones d eje de calle, la radiación incide con más valor en los elementos del cañón urbano en horas de la mañana; la fachada este en la orientación Norte-Sur, el elemento suelo en la orientación Este-Oeste y Noreste-suroeste, y la fachada Noreste en la orientación Noroeste-Sureste presentan valores de radiación acumulada superiores a 400 Wh/m² en horas de la mañana, disminuyendo este valor en horas de la tarde, donde se generan mayores porcentajes de sombras en los elementos.
16. Se observa que, la presencia de arborización favorece más a los porcentajes de sombras generados en espacios con tipologías urbanas de baja altura y tejido abierto. En cambio, en los espacios con tipologías urbanas de gran altura, la arborización favorece en cierto porcentaje aproximado a 2 % más con respecto las tipologías de espacios urbanos de gran altura con tejido compacto. A excepción del elemento del cañón urbano suelo, donde sí se presenta gran diferencia de porcentajes de sombras entre las tipologías de espacios urbanos con tejido abierto y tejido compacto.
17. La presencia de árboles en espacios urbanos de gran altura favorece en porcentaje de sombras y radiación acumulada al elemento horizontal (suelo) del cañón urbano y no tiene mucha significancia para los elementos verticales del cañón urbano.
18. En los espacios urbanos con tipologías de edificaciones de gran altura (LCZ 1-LCZ 4), las edificaciones presentes permiten la generación de buenos porcentajes de sombras en los elementos del cañón urbano, no obstante, la presencia de arborización beneficia los

porcentajes de sombras generados sobre los elementos, especialmente, en las tipologías de espacios con ejes de calles orientados de forma Este-Oeste.

19. Para el solsticio de diciembre se presentan mejores porcentajes de sombras generadas en los elementos del cañón urbano para los diferentes espacios urbanos analizados (LCZ 1, LCZ 3, LCZ 4 y LCZ 6).
20. En espacios urbanos con edificaciones de baja altura (hasta 3 niveles), con relación h/w igual a 0.75 y presencia de arborización, se generarán mayores porcentajes de sombras en los diferentes elementos del cañón urbano.
21. Las tipologías de espacios urbanos de gran altura pueden ser utilizados en ciudades con climas tropicales, no obstante, la presencia de arborización influye favorablemente al confort térmico de estos espacios.
22. En los espacios urbanos de baja altura, la velocidad del viento tiende a ser mayor con respecto a los modelos de gran altura. Además, en estos espacios se evidencia mayores efectos del viento en cuanto a las variables de turbulencia y frecuencia.
23. Entre mayor altura tenga un edificio el ancho de la calle debe ser similar a la altura de este, para reducir la acumulación de radiación y aumentar el porcentaje de sombra incidente en los elementos del cañón urbano. En el caso de los edificios de baja altura, el H/W debe oscilar entre 0.75 y 1 para obtener resultados favorables para el espacio urbano.
24. La temperatura de confort o temperatura neutra varía según el mes y época del año, no obstante, para que un espacio urbano sea confortable térmicamente la temperatura de aire debe oscilar entre 28 grados centígrados a 30 grados centígrados, para el caso de la ciudad de estudio.

De igual forma, se presentan las siguientes consideraciones para un óptimo diseño de espacios urbanos bioclimático y con un enfoque hacia la sostenibilidad:

- Diseño de espacios urbanos con criterios de orientación de predominancia de los vientos
- Estrategias de ventilación de espacios urbanos para mitigación de la isla de calor
- Diseño de elementos de sombra en los espacios abiertos
- Diseño efectivo, seguro y accesible del espacio público
- Uso de arborización autóctona de la región
- Utilización de materiales en elementos de suelo, fachadas y cubiertas con inercia térmica adecuada al clima
- Estrategias para mantener el confort térmico urbano
- Proximidad y accesibilidad, atender a las distancias máximas entre los espacios verdes y las edificaciones
- Consideración de los vientos fuertes para el diseño, barreras de vientos para minimizar los disturbios
- Diseño de torres de captación de viento
- Manejo y reutilización de residuos sólidos y aguas servidas
- Gestión y aprovechamiento de aguas lluvias
- Espacios destinados para aprovechamientos de energías renovables a escala local
- Modelos de silvicultura y agricultura urbana
- Usos de suelo compatibles

7. Conclusiones

Las ciudades son grandes aglomeraciones urbanas que se presentan como un ecosistema urbano, donde factores como el ambiente, la población y el clima las caracterizan. Por tanto, en el urbanismo, la planificación de la ciudad es un proceso complejo y técnico, donde se debe tener en cuenta los aspectos socioculturales y económicos, medioambientales y climáticos del territorio. El diseño urbano no puede responder a intereses económicos, el urbanismo bioclimático aparece como una herramienta para diseñar los espacios en la ciudad, teniendo en cuenta el microclima, paisaje y confort térmico de las personas.

El microclima urbano es distinto en cada una de las zonas de la ciudad, respondiendo a las características morfológicas y tejido urbano, así como la presencia de vegetación y materiales de elementos de las fachadas de las edificaciones. Influyendo en el consumo energético de las edificaciones y sensación térmica de los transeúntes. Los parámetros microclimáticos como temperatura del aire, viento, radiación solar, etc., se modifican por las condiciones morfológicas de un espacio urbano. El diseño urbano debe responder a las necesidades y confort humano, construyendo espacios exteriores con las condiciones morfológicas, microclimáticas y ambientales necesarias para el desarrollo urbano. De cierto, cada parámetro microclimático y sus variables puede ser controlada en los espacios urbanos a favor de la eficiencia térmica de las edificaciones, reducción de la isla de calor urbano y confort térmico. No obstante, es importante tomar conciencia de la importancia que cobra el microclima y el confort térmico en el diseño urbano.

Establecer el confort térmico de un individuo en un espacio urbano, requiere del estudio y análisis del microclima urbano de un sector seleccionado, identificando las condiciones físicas de la persona y estructura urbana del sector. De igual forma, de identificar la presencia de

vegetación favorable en la sensación de confort. La vegetación juega un papel fundamental en los espacios exteriores; debajo de los árboles la sensación térmica es bastante favorable para las personas, creándose en estas zonas espacios para el descanso, ocio y trabajo.

El confort térmico de una persona está relacionado, directamente, con la temperatura del aire de un espacio urbano, tomando en cuenta la edad, vestimenta, sexo y actividad física que esté realizando la persona. Siendo este parámetro, el que tiene una relación positiva con la sensación térmica. Por otra parte, los resultados de las mediciones de campo, arrojaron que en todos los espacios las personas tuvieron una sensación de confort térmico, de esta manera en un primer momento y basándose en los datos registrados por parámetros microclimáticos, para que una persona en un espacio urbano en una ciudad con clima tropical como Barranquilla, la temperatura del aire debería oscilar entre 28 °C a 30 °C, humedad relativa entre 65 % a 70.5 % y velocidades de viento entre 0.3 m/s a 1.5 m/s. No obstante, este análisis es resultado de un día de mediciones de campo y aplicación de encuestas en el mes de febrero, por tanto, son datos y apreciaciones conceptuales que pueden variar en otra época distinta del año.

Para el diseño urbano en ciudades con climas tropicales es necesario conocer, estudiar y analizar los parámetros microclimáticos y su comportamiento en los espacios urbanos. Las zonas climáticas locales (LCZ) representan los espacios urbanos comúnmente encontrados en una ciudad o aglomerado poblacional. Por tanto, es imprescindible estudiar el comportamiento microclimático de los LCZ presentes en una ciudad, para determinar así la favorabilidad de este o los efectos adversos que puede estar generando las características morfológicas, arquitectónicas, urbanísticas y paisajísticas del mismo.

En el estudio realizado, las zonas climáticas locales con tejido compacto no son favorables para el diseño urbano en ciudades con climas tropicales, puesto que la cantidad de radiación que

incide en los elementos del cañón urbano es mayor respecto a los modelos con tejido abierto. Por otro lado, la presencia de arborización, zonas verdes y suelo permeable, permite y ayudar a mejorar la sensación de confort térmico en los espacios.

Las zonas climáticas locales con tejido abierto son más favorables en cuanto a la radiación acumulada y porcentajes de sombras generados en los elementos del cañón urbano. Por su parte, el viento es un parámetro microclimático cuyas variables como frecuencia, turbulencia y velocidad se modifican en las zonas urbanas. Existe un coeficiente de rugosidad que determina los vientos laminares, es decir, aquellas zonas en altura donde la velocidad y frecuencia del viento es mayor ya que no se presentan elementos obstructores; de este modo, en espacios urbanos con edificaciones de gran altura la velocidad del viento es menor respecto a los espacios urbanos con edificaciones de menor altura.

Según los criterios planteados, las zonas climáticas locales de tejido abierto de gran altura (LCZ 4) y de baja altura (LCZ 6) son favorables y óptimos en el diseño urbano de ciudades con climas tropicales; a su vez, cada una de las orientaciones de eje de calle presentan resultados satisfactorios en cuanto a los parámetros microclimáticos analizados. Para el LCZ 4, la relación H/W debe ser igual a 1 y para el LCZ 6 la relación H/W debe oscilar entre 0.75 y 1, permitiendo relación H/W menor a 0.75 hasta 0.6. De igual modo, el material de superficie de los elementos del cañón urbano no puede acumular gran cantidad de radiación a lo largo del día, sugiriendo el uso de materiales adecuados en el diseño bioclimático.

El diseño urbano debería responder a criterios bioclimáticos de planeamiento que aseguren el confort térmico, bienestar social y mental de los individuos en espacios exteriores. Los criterios bioclimáticos para el diseño urbano que permitan una adecuada sensación y bienestar térmico de los individuos, tomando como caso de estudio una ciudad con clima cálido húmedo, respectivo

de regiones tropicales. El clima cálido húmedo siempre busca confort climático en la protección solar (Sombras) y el viento. Para esto, es necesario el estudio de los parámetros microclimáticos como temperatura del aire, humedad relativa, viento y radiación solar (incluyendo trayectoria solar), los efectos de la vegetación en espacios exteriores y las condiciones de la morfología urbana del espacio. El urbanismo bioclimático que debe proponerse tiene que basarse en el equilibrio entre el microclima urbano, la morfología y vegetación de un espacio exterior.

Referencias

- Abreu-Harbich, L., Chebel Labaki, L., & Matzarakis, A. (2015). Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. *Landscape and Urban Planning*, 99-109.
- Abreu-Harbich, L. V., Labaki, L. C., & Matzarakis, A. (2013). *Thermal bioclimate as factor in urban and architectural planning in tropical climates – The case of Campinas, Brazil*. Urban Ecosystems, <http://dx.doi.org/10.1007/s11252-013-0339-7>.
- Abreu-Harbich, L. V., Labaki, L. C., & Matzarakis, A. (2013b). *Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil*. *Theoretical and Applied Climatology*, 115, 333–340. <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-013-0886-Akbari>.
- Andreou, E. (2013). *Thermal comfort in outdoor spaces and urban canyon microclimate*. *Renewable Energy* 55 (2013) 182-188.
- Australian Academy of Science. (2018). *About us Australian Academy of Science*. Recuperado el 06 de Febrero de 2017, de Australian Academy of Science: <https://www.science.org.au/learning/general-audience/science-booklets-0/science-climate-change/1-what-climate-change>.
- Bertoux, L., & González Romero, D. (2015). *Vulnerabilidad y resiliencia urbana frente al cambio climático: el caso de la zona metropolitana de Guadalajara, México*. *Urbano*, 24-31.
- Blender, M. (2015). *Arquitectura y energía*. Santiago, Chile. Obtenido de: <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/isla-de-calor-urbana/>.
- Brown, R., & Gillespie, T. (1995) *Microclimatic Landscape Design. Creating thermal comfort and energy efficiency*. New York: John Wiley & Sons, 1995.

- Carrasco Aldunate, C. (2008). *Tesis Doctoral: Morfología y microclima urbano. Análisis de la forma espacial y materiales como modeladores del microclima de tejidos urbanos mediterráneos costeros. El caso de la ciudad de Valparaiso*. Barcelona, España. Universitat Politècnica de Catalunya. Obtenido de: TDR, tesis doctorales en red: <https://www.tdx.cat/handle/10803/51572>.
- Castro Conrado, Y., Fernández Figueroa, E., & Álvarez López, A. (2015). *Influencia de la forma urbana en el microclima térmico de Sagua la Grande La Habana, Cuba*. Obtenido de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-58982015000100003
- Chandler, T. J. (1965). *El clima de Londres*. Londres, Inglaterra. *University College London*.
- Chuet-Missé, J. P. (2017). *La Vanguardia*. Obtenido de La Vanguardia: <https://www.lavanguardia.com/natural/20170228/42358632446/semillas-cambio-climatico.html>.
- Chicas, J. C. (2012). *Estudio de microclimas urbanos en Santiago de Chile, mediante la aplicación del concepto de cañón urbano e índices de confort térmico*. Santiago, Chile.
- Chye Toe, D., & Kubota, T. (2013). *Development of an adaptive thermal comfort equation for naturally ventilated buildings in hot-humid climates using ASHRAE RP-884 database*. *Frontiers of architectural research*, 2(3), 278 - 291.
- Coch Roura, H., & Salvati, A. (2014). *Análisis sobre la influencia de la morfología del cañón urbano caso de estudio en los barrios el raval y gracia, barcelona. microclima y confort térmico urbano*. Barcelona, España.
- Coch Roura, Helena, & Serra Florensa, Rafael. (1995). *Arquitectura y energía natural*. Barcelona.

- Conde, C., Pabón, D., & Sánchez Rodríguez, R. (2013). *La importancia de la información climática para la planificación del crecimiento y desarrollo urbano*. En R. S. Rodríguez, *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina* (págs. 26-40). Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Conde Álvarez, C., & Saldaña Zorilla, S. (2007). *Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación*. revista ambiente y desarrollo de cipma, 23-30.
- Conquito. (2017). Obtenido de: Conquito Agencia de promoción económica:
<http://www.conquito.org.ec/quito-como-ejemplo-de-resiliencia-para-el-mundo-en-el-foro-ciudades-resilientes/>.
- Cordero, X. (2014). *microclima y confort térmico urbano. Análisis sobre la influencia de la morfología del Cañón Urbano. Caso de estudio el Raval y García de Barcelona*. Barcelona, España: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona.
- DW/ Axel Warnstedt. (2012). *DW Made for minds*. Obtenido de
<https://www.dw.com/es/ciudades-resilientes-urbes-del-futuro/a-16253378>
- Dessí, V. (2007). *Progettare il comfort urbano. Napoli*. Nápoles, Italia.
- Dunnett, N., & Kingsbury, N. (2008). *Planting Green Roofs and Living Walls*. Obtenido de
http://www.timberpress.com/books/planting_green_roofs_living_walls/kingsbury/9780881929119.
- EFE. (2018). *El Tiempo*. Obtenido de El Tiempo: <http://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/proyecto-de-semillas-contrala-deforestacion-en-brasil-197654>.
- FAO Colombia. (2017). *Programa de Resiliencia 2017-2020*. Roma: FAO COLOMBIA.
- Fanger, P. (1973). *Thermal Comfort*. McGraw-Hill.

- Fernández Expósito, M., Moreno Rangel, D., & Esquivias Fernández, P. M. (2015). *Influencia de la iluminación natural en el diseño urbano como herramienta hacia una ciudad más sostenible*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla (IUACC).
- Fischer, E.M., Seneviratne, S.I., Vidale, P.L., Luthi, D., Schar, C., (2007). *Soil moisture - atmosphere interactions during the 2003 European summer heat wave*. J. Clim. 20, 5081–5099.
- Friedmann, J. (1998). *The New Political Economy of Planning: The Rise of Civil Society*. En M. Douglass, & J. Friedmann, *Cities for citizens: planning and the rise of civil society in a global age* (págs. 19-35). New York, England: J. Wiley. Obtenido de: https://bibliodarq.files.wordpress.com/2014/08/3_friedmann-j-the-new-political-economy-of-planning-the-rise-of-civil-society.pdf.
- García Chávez, J. R., & Fuentes Freixnet, V. (2005). *Viento y Arquitectura. El viento como factor de diseño arquitectónico*. México D.F: Trillas S.A de C.V.
- García Chávez, J., & Fuentes Freixanet, V. (2005). *Viento y Arquitectura. El viento como factor de diseño arquitectónico*. México D.F.: Editorial Trillas S.A. de C.V.
- Galindo Bianconi, A. S., & Victoria Uribe, R. (2012). *La vegetación como parte de la sustentabilidad urbana: beneficios, problemáticas y soluciones, para el QUIVERA*, 108.
- Gardner, C., & Molony, R. (2002). *Luz reinterpretación de la Arquitectura*. México: MC GRAW HILL.
- Geographic, R. N. (2010). *National Geographic*. Obtenido de National Geographic: <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-el-calentamiento-global>
- Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Estados Unidos.
- Guevara Vásquez, S. (2003). *estimación de la radiación solar*. Lima, Perú.

- Guevara-Sánchez, C., Núñez, M., & Neila, F. (2017). *Isla de calor urbana y población vulnerable. El caso de Madrid. 3er Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones*, (págs. 545-556). Sevilla.
- Hernández, S. G. (2018). *LatinAmerican Post*. Obtenido de LatinAmerican Post:
<https://latinamericanpost.com/es/19645-cultivos-resistentes-a-los-cambios-de-clima>.
- Higueras, E. (1998). *Urbanismo bioclimático. Criterios medioambientales para la ordenación del territorio*. Madrid, España: FASTER.
- Higueras, E. (1998b). *Tesis doctoral: Urbanismo bioclimático*. Madrid, España: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- Higueras, E. (2009). *El reto de la ciudad habitable y sostenible*. DAPP.
- Höppe, H. M. (1986). *Confort térmico del hombre en diferentes entornos urbanos*.
- Huang, K. T., Lin, T. P., & Lien, H. C. (2015). *Investigating thermal comfort and user behaviors in outdoor spaces: A seasonal and spatial perspective*. *Advances in Meteorology*, 1–11.
- Humphreys, M., & Nicol, J. (2000). *Outdoor temperature and indoor thermal comfort: raising the precision of the relationship for the 1998 ASHRAE database of field studies*. *ASHRAE Transactions*, 485–492.
- Hwang, R. L., Lin, T. P., & Matzarakis, A. (2011). *Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort*. *Building and Environment*, 46(4), 863–870.
- International Institute for Sustainable Development (IISD). (2013). *Resiliencia climática y seguridad. Un marco para la planificación y el monitoreo*. Winnipeg, Manitoba, Canada: The International Institute for Sustainable Development. Recuperado el 18 de Octubre de 2018, de
https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/adaptation_CREFSCA_es.pdf

- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra, Suiza: IPCC.
- IPCC. (2014). *cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad-Parte B: Aspectos Regionales*. Nueva York: Cambridge University Press.
- John Wiley & sons. (1999). *Reasserting Town Planning: Challenging the Representation and Image of the Planning Profession*. Chichester, Inglaterra.
- Ka-Lun Lau, K., Tan, Z., & Ng, E. (2017). *Planning strategies for roadside tree planting and outdoor comfort enhancement in subtropical high-density urban areas*. *Building and Environment*, 93-109.
- Koenigsberger, O. (1977). *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales. Manual of Tropical Housing and Building*. Londres: Longman Group Limited.
- Kong, L., Lau, K.K.L., Yuan, C., Chen, Y., Xu, Y., Ren, C., et al., (2017). *Regulation of outdoor thermal comfort by trees in Hong Kong*. *Sustain. Cities Soc.* 31, 12–25.
- Kong, F., Yan, W., Zheng, G., Yin, H., Cavan, G., Zhan, W., Cheng, L., (2016). *Retrieval of three-dimensional tree canopy and shade using terrestrial laser scanning (TLS) data to analyze the cooling effect of vegetation*. *Agric. For. Meteorol.* 217, 22–34
- Kratzer, A. (1937). *Tesis doctoral Climatología Urbana*. Múnich, Alemania. Ludwig-Maximilians-University.
- Li, X., & Ratti, C. (2018). *Mapping the spatial distribution of shade provision of street trees in Boston using Google Street View panoramas*. *Urban Forestry & Urban Greening*, 109-119.

- Li, X., Ratti, C., & Seiferling, I. (2018b). *Quantifying the shade provision of street trees in urban landscape: A case study in Boston, USA, using Google Street View*. *Landscape and Urban Planning*, 81-91.
- Limor Shashua-Bar, Ioannis X. Tsiros & Milo E. Hoffman. (2010). *A modeling study for evaluating passive cooling scenarios in urban streets with trees. Case study: Athens, Greece*. Volume 45, Issue 12, Pages 2798–2807.
- Luber, G., & McGeehin, M., (2008). *Climate change and extreme heat events*. *Am. J. Prev. Med.* 35 (5), 429–435.
- Martines L, E. (2007). *Centro Nacional de Metrología, División de Termometría*. Obtenido de: <http://www.cenam.mx/dme/pdf/TM02.pdf>
- Magrin, G., Marengo, J., Boulanger, J.-P., Buckeridge, M., Castellanos, E., Poveda, G., Vicuña, S. (2014). *Climate change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects*. Nueva York (USA) y Cambridge (UK): Cambridge University Press.
- Mariso López. (2018). Obtenido de: ExpokNews Comunicación de sustentabilidad y RSE: <https://www.expoknews.com/que-es-una-ciudad-resiliente-y-8-ejemplos/>
- Medioambiente. (2017). *En el 2040, 119 municipios en riesgo muy alto por cambio climático*. El Tiempo.
- Medioambiente. (2017b). *Estos son los planes de Colombia para enfrentar el cambio climático*. El Tiempo.
- Minambiente.(2018).Obtenido de<http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3895-colombia-avanza-en-busca-de-su-resiliencia-al-cambio-climatico>

Minambiente. (2018b). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2018*. Obtenido de:

<http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=462:plantilla-cambio-climatico-18#enlaces>

Miller, H.J., Tolle, K., (2016). Big data for healthy cities: using location-aware technologies, open data and 3D urban models to design healthier built environments. *Built Environ.* 42 (3), 441–456.

Muñoz Núñez, D. G. (2010). *La iluminación natural en los espacios arquitectónicos educativos interiores. Modelo de indicadores de diseño*. San Luis de Potosí, México.

Nasa ClimateKids. (2018) *¿Qué es una isla de calor urbana?* Obtenido de:

<https://climatekids.nasa.gov/heat-islands/>.

Nárvaez Rodríguez, F. (2016). *Proceso de diseño urbano orientado a las personas*. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de Sinaloa.

Edward Ng, Liang Chen, Yingna Wang & Chao Yuan. (2012). *a study on the cooling effects of greening in a high-density city: an experience from Hong Kong*. *Building and Environment* 47 (2012) 256-271.

OMS. (2017). *Acerca de la OMS*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud:

<http://www.who.int/es/news-room/detail/13-12-2017-world-bank-and-who-half-the-world-lacks-access-to-essential-health-services-100-million-still-pushed-into-extreme-poverty-because-of-health-expenses>

ONU-Habitat. (2011). *Cities and Climate Change*. London-Washington: Earthscan.

ONU-Habitat. (2017). *Sobre nosotros:ONU habitat*. obtenido de ONU habitat: por un mejor futuro urbano: <https://es.unhabitat.org/resiliencia/>

Oke, T. (1987). *Boundary Layer Climates*. Estados unidos : Routledge.

- Oke, T. y otros (1999). *The energy balance of central Mexico City during the dry season*. Atmospheric Environment (Elsevier) Amsterdam. 24-25.
- Oyarzún, M. D., & Castillo Haeger, C. (2014). *Aproximación bioclimática para el diseño de espacios públicos, análisis inicial en distintas plazas chilenas*. Chile.
- Pacala, S., & Socolow, R. (2004). *Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies* (Vol. 305). Princeton, Nueva Jersey (USA): Princeton University.
- Pardo, T. (16 de Septiembre de 2017). *El tiempo*. Obtenido de el tiempo.
- Pérez, J. L., Ladrón de Guevara, I., & Boned, J. (2015). *Incidencia del clima local en los procesos de planificación territorial. Análisis bioclimático de la Costa del Sol Occidental de Málaga (España)*. EURE, 187-210.
- PNACC. (2016). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Bogotá: Diseño y diagramación: Integra Producción y Logística S. A. S.
- PNUMA. (2015). *Informe de 2015 sobre la disparidad en las emisiones*. . Nairobi: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- PURE NEW ZELAND. (s.f.). *Sobre newzealand.com*. Obtenido de 100% PURE NEW ZELAND: <https://www.newzealand.com/cl/feature/new-zealand-flora-and-fauna/>
- Papparelli, A., Kurban, A., Cunsulo, M., Montilla, E., & Ríos, E. (2009). *Aporte del diseño bioclimático a la sustentabilidad de áreas urbanas en zonas áridas*. Revista INVI, 18(46).
- Quijano Pérez, S. A., Ramírez Velásquez, I. M., & González Manosalva, J. L. (2017). *Gradiente térmico en la ciudad de Medellín y su relación con el crecimiento urbano: estudio de caso*. Producción + Limpia, 159-168.

- Rahman, M., Moser, A., Gold, A., Rötzer, T., & Pauleit, S. (2018). *Vertical air temperature gradients under the shade of two contrasting urban tree species during different types of summer days*. *Science of the Total Environment*, 111.
- RAE. (2018). *Enclave de la Real Academia Española*. Obtenido de <http://dle.rae.es/srv/fetch?id=JvbcNEL>
- Robitu, M. (2005). *Etude de l'interaction entre le bâtiment et son environnement urbain: influence sur les conditions de confort en espaces extérieurs*. Nantes, Loira Atlántico, Francia: Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes.
- Rodríguez Becerra, M., & Mance, H. (2009). *Cambio climático: lo que está en juego*. Bogotá: Foro Nacional Ambiental.
- Rodríguez Becerra, M., & Mance, H. (2009). *Foro Nacional Ambiental. Cambio climático: Lo que está en juego*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- Rodríguez Potes, L. (2010). *Efectos de los árboles sobre el viento en el medio urbano*. Módulo arquitectura cuc, 9(1). Obtenido de http://revistascientificas.cuc.edu.co/index.php/moduloarquitecturacuc/article/download/122/pdf_53
- Rodríguez Potes, L., & Padilla Llanos, S. (2018). *El urbanismo: ¿Cómo construir ciudades fértiles?* En S. Nail, *Alimentar las ciudades. Territorio, actores, relaciones* (págs. 117-156). Bogotá: U. Externado de Colombia.
- Rodríguez Potes, L., Hanrot, S., Dabat, M.-A., & Izard, J.-L. (2012). *Variation des paramètres de plantation des arbres d'alignement dans un milieu urbain et son influence sur la température de l'air-Cas d'Aix-en-Provence, France*. *Ambiances in action/Ambiances en acte (s)-International Congress on Ambiances*, 261-266.

- Rodriguez Potes, L., Hanrot, S., Dabat, M.-A., & Izard, J.-L. (2013). *Influence of trees on the air temperature in outdoor spaces according to planting parameters: the case of the city of Aix-en-Provence in France*. (W. Press, Ed.) WIT Transactions on Ecology and the Environment, 173, 299-310.
- Rodríguez, L. (2011). *Análisis de las condiciones que impiden la plantación de árboles según los principios de la silvicultura urbana en el nororiente de barranquilla*. MODULO CUC, 55-83.
- Rodriguez Potes, L. (2017). *Las condiciones microclimáticas en algunos espacios exteriores cubiertos*. EuroElecs.
- Rodríguez Potes, L. (2017b). *Procedimiento para simulaciones de sombra incidente en Ecotect*. Facultad de Arquitectura, Universidad de la Costa.
- Rodríguez Algeciras, J. (2013). *Morfología y microclima urbano: La forma espacial, su influencia en el bienestar climático en plazas de clima cálido húmedo*. Barcelona (España): Universidad Politécnica de Cataluña; Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSA): Departamento de Construcciones arquitectónicas.
- Rodríguez Viqueira, M., Figueroa Castrejón, A., Fuentes Freixanet, V., Castorena Espinosa, G., Huerta Velázquez, V., García Chávez, J. R. & Guerrero Baca, L. F. (2006). *Introducción a la arquitectura bioclimática*. México: Limusa.
- Rojas Cortorreal, G. (2013). *“La vegetación tropical en el confort climático urbano” Aplicado a Santo Domingo, República Dominicana en comparación con el clima mediterráneo, Barcelona, España*. Barcelona, España: Escuela Técnica Superior de Barcelona.

- Rosheidat, A. & Harvey, B. (2010) *Optimizing the effect of vegetation for pedestrian thermal comfort and urban heat island mitigation in a hot arid urban environment*. Fourth National Conference of IBPSA-USA. New York City, New York. August 11 – 13, 2010
- Sanusi, R., Johnstone, D., May, P., & Livesley, S.J., (2016). *Street orientation and side of the street greatly influence the microclimatic benefits street trees can provide in summer*. J. Environ. Qual. 45 (1), 167–174
- Sarricolea, P; Aliste, E; Castro, P; & Escobedo, C. (2008) "*Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos*". Chile. Revista de climatología. 2008, Vol. 8, p. 71-74.
- Sarricolea, P., Romero, H. (2010) "*Análisis de los factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el área metropolitana de Valparaíso, Chile*". ace: arquitectura, ciudad y entorno. vol.14, p.79-96. 2010
- Seneviratne, S.I., Luthi, D., Litschi, M., & Schar, C., (2006). *Land-atmosphere coupling and climate change in Europe*. Nature 443, 205–209.
- Serra Florensa, R., & Coch, H. (1999). *Arquitectura y climas*. Barcelona, España.
- Schuschny, A. (2014). *Sostenibilidad y Resiliencia Urbana: Aportes para su medición..*
- Stewart, I. et Oke T. (2012). *Local Climate Zones for Urban Temperature Studies*. Bulletin American Meteorological Society, 93(12), 1879–1900. Doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Stewart, I. & Oke. T. (2009). *Classifying urban climate field sites by "local climate zones the case of Nagano, Japan*. Dans *The seventh International Conference on Urban Climate, Yokohama, Japan*. Obtenido de:

- http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/385055-1-090515165722-002.pdf
- Streiling, S., & Matzarakis, A. (2003). *Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of a city: A case study*. *Journal of Arboriculture*, 29, 309–316
- Taha, H. (1997). *Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat*. Estados Unidos.
- Tella, G. (2014). *Planificar la ciudad : estrategias para intervenir territorios en mutación*. Buenos Aires: Diseño.
- Tewdwar- Jones, M. (1999). *Reasserting Town Planning: Challenging the Representation and Image of the Planning Profession*. (P. Allmendiger, & M. Chapman, Edits.) London. New York: Planning Beyond 2000. Obtenido de <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-270/sn-270-54.htm>
- Torres Ochoa, J. M. (1999). *Tesis Doctoral: La vegetación como instrumento para el control microclimático*. Barcelona, España: universitat politècnica de catalunya .
- Tumini, I. (2012). *Teis doctoral: El microclima urbano en los espacios abiertos. Estudios de casos en Madrid*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- UN Habitat & UNISDR. (2018). *Progress on the Making Cities Sustainable and Resilient Action*. UN Habitat.
- Vinet, J. (2000). *Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain. Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espaces extérieurs*. Nantes, Loira Atlántico, Francia: Université de Nantes, Ecole polytechnique de l'Université de nantes.

Villadiego Bernal, K. (2014). *Une lecture de la forme urbaine et des microclimats. Le cas de*

Barranquilla. Marseille, France. Aix marseille universite; Institut d'Urbanisme et

d'Aménagement Régional – IUAR; Laboratoire Interdisciplinaire En Urbanisme – LIEU.

Vogt, V. (2018). *El Tiempo*. Obtenido de El Tiempo:

<http://www.eltiempo.com/colombia/medellin/termino-de-ipbes-deja-evidencia-alarmante-sobre-biodiversidad-mundial-197612>

Yuan, C., Norford, L., Ng, E., (2017). *A semi-empirical model for the effect of trees on the urban wind environment*. *Landscape Urban Plann.* 168, 84–93.