



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO

**TITULO: Impacto Energético de la Redensificación en Altura en el Distrito
Metropolitano de Quito**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

AUTORA: Cynthia Estefanía Montes Villalva

PROFESOR GUÍA: Dr. Alexis Pérez Fargallo

PROFESORA CO-GUÍA: Dra. María Beatriz Piderit

CONCEPCIÓN, 1 de marzo de 2021

Resumen

La calidad de vida y bienestar de los seres humanos está ligada a la radiación solar y sus beneficios energéticos y lumínicos, tanto para espacios privados como públicos en una ciudad. Sin embargo, esta condición se está viendo vulnerada debido al rápido crecimiento y verticalización de las ciudades, promovida por marcos regulatorios e intereses inmobiliarios que buscan la densificación en altura y la redensificación de ciertas zonas urbanas, lo que pone en riesgo la accesibilidad solar y la justicia energética. La presente investigación propone evaluar el impacto del aumento de edificabilidad sobre la demanda energética de calefacción e iluminación en viviendas en la línea ecuatorial. Para ello se analizaron las características urbanas y edificatorias de la ciudad de Quito respecto a las condiciones de emplazamiento de los edificios. A continuación, mediante herramientas de simulación se exploró las reducciones de irradiancia solar en fachada y los incrementos en la demanda de iluminación y calefacción comparando escenarios de alta, media y baja densidad de edificación. Dentro de los principales hallazgos se sostiene que, al menos el 30% de las fachadas se ven obstruidas por los conos de sombra proyectados por los edificios vecinos lo que incrementa cerca del 300% en la demanda de iluminación y 230% en demanda de calefacción. y por ende existe un incremento en el gasto para cubrir las demandas energéticas en el 88% de los escenarios simulados. Finalmente, se entregan recomendaciones que pretenden establecer una ratio de proporcionalidad para mantener los impactos por bajo las determinantes de pobreza energética más allá de lo establecido en la normativa local.

Palabras claves: cono de sombra, acceso solar, densificación urbana, obstrucción solar, demanda de iluminación, demanda de calefacción.

Abstract

The quality of life and well-being of human beings is linked to solar radiation and its energy and light benefits, both for private and public spaces in a city. However, this condition is being compromised due to the rapid growth and verticalization of cities, promoted by regulatory frameworks and real estate interests that seek the densification in height and the redensification of certain urban areas, which puts at risk solar accessibility and the energy justice. The present research proposes to evaluate the impact of the increase in buildability on the energy demand for heating and lighting in homes on the equatorial line. For this, the urban and building characteristics of the city of Quito were analyzed with respect to the location conditions of the buildings. Then, using simulation tools, the reductions in solar irradiance on the façade and the increases in the demand for lighting and heating were explored, comparing scenarios of high, medium and low density of buildings. Among the main findings, it is argued that at least 30% of the facades are obstructed by shadow cones projected by neighboring buildings, which increases nearly 300% in the demand for lighting and 230% in the demand for heating. and therefore there is an increase in spending to cover energy demands in 88% of the simulated scenarios. Finally, recommendations are given that seek to establish a proportionality ratio to keep the impacts below the determinants of energy poverty beyond what is established in local regulations.

Keywords: mutual shadow, solar access, urban densification, solar obstruction, lighting demand, heating demand.

Índice

Introducción	13
1.1 Formulación del problema	13
1.2 Relevancia del problema	15
1.3 Hipótesis	17
1.4 Objetivo general	17
1.5 Objetivos específicos	17
1.6 Metodología	17
Marco Teórico	26
2.1 Problemática energética mundial y local	26
2.2 Antecedentes de la importancia de la energía solar y el entorno urbano.....	28
2.3 Acceso solar	33
2.4 Envolvente y obstrucción solar	35
2.5 Radiación solar	36
2.5.1 Tipos de Radiación.....	36
2.5.2 Cuantificación de radiación	37
2.5.3 Sistema de referencia para la evaluación solar	38
2.6 Densificación urbana y acceso solar.....	39
2.6.1 Demanda de Iluminación	41
2.6.2 Demanda de Calefacción.....	43
2.7 Conclusiones.....	47
Clima y Condiciones Ambientales	48
3.1 Clima	48
3.2 Nubosidad	49
3.3 Temperatura.....	50
3.4 Recorrido Solar	51

3.5	Radiación Solar	52
3.6	Iluminancia	54
3.7	Conclusiones.....	55
Contexto Urbano y Edificatorio.....		56
4.1	Distrito Metropolitano de Quito	56
4.2	Antecedentes Normativos.....	59
4.3	Ordenanza Metropolitana No. 003	61
4.3.1	Ordenanza Metropolitana N 003. Resolución No, STHV-034-2020 (Anexo 1).....	62
4.4	Contexto urbano actual.....	66
4.4.1	Área de Influencia BRT y Metro	69
4.5	Contexto Edificatorio Actual	71
4.5.1	Condiciones de la envolvente	71
4.6	Conclusiones.....	73
Resultados		74
5.1	Caracterización del contexto urbano y edificatorio	74
5.1.1	Altura de edificación	74
5.1.2	Ancho de vías en el área de influencia	77
5.1.3	Orientación morfológica en el área de influencia.....	82
5.1.4	Resumen del Sistema de Referencia de Evaluación Urbana	86
5.1.5	Tipología de Fachada.....	88
5.1.6	Materialidad predominante en fachada	94
5.2	Irradiancia en Fachadas.....	97
5.2.1	Escenario 1. Análisis sin obstrucción solar.	97

5.2.2	Escenario 2. Cañón urbano ratio 24.	99
5.2.3	Escenario 3. Cañón urbano ratio 12.	102
5.2.4	Escenario 4. Cañón urbano ratio 9.	105
5.2.5	Escenario 5. Cañón urbano ratio 6,5.	108
5.2.6	Escenario 6. Cañón urbano ratio 4,8.	111
5.3	Demanda de Iluminación y Calefacción	117
5.3.1	Escenario 1. Demanda de iluminación y calefacción sin obstrucción solar.	117
5.3.2	Escenario 2. Demanda de iluminación y calefacción cañón urbano ratio 24.	118
5.3.3	Escenario 3. Demanda de iluminación y calefacción cañón urbano ratio 12.	120
5.3.4	Escenario 4. Demanda de iluminación y calefacción cañón urbano ratio 9.	122
5.3.5	Escenario 5. Demanda de iluminación y calefacción cañón urbano ratio 6,5.	124
5.3.6	Escenario 6. Demanda de iluminación y calefacción cañón urbano ratio 4.8.	126
5.3.7	Gráficas de resumen.....	127
5.4	Condiciones Mínimas de Emplazamiento	131
5.4.1	Condiciones mínimas de emplazamiento Escenario 2.	131
5.4.2	Condiciones mínimas de emplazamiento Escenario 3.	133
5.4.3	Condiciones mínimas de emplazamiento Escenario 4.	134
5.4.4	Condiciones mínimas de emplazamiento Escenario 5.	136
5.4.5	Condiciones mínimas de emplazamiento Escenario 6.	137
5.5	Conclusiones.....	140
	Conclusiones	142

6.1 Conclusiones de los resultados	145
Continuidad de la investigación	146
Listado de Abreviaturas.....	147
Referencias bibliográficas	148
Anexo A: Mapas de Análisis Urbano	155
Anexo B: Tablas de Resultados de Simulación	167
Anexo C: Consolidado de Impactos Anual (%)	180

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Variables de Análisis	20
Tabla 2 Ejemplo de configuración de cañones.....	22
Tabla 3 Escenario de Densificación Crítica.....	23
Tabla 4 Parámetros de referencia para evaluación del comportamiento solar del tejido urbano... 38	
Tabla 5 Parámetros de la Matriz de Ecoeficiencia.	62
Tabla 6 Resumen de Parámetros Urbanísticos	64
Tabla 7 Rangos de edificabilidad actual.	68
Tabla 8 Requisitos de envolvente para zona climática 3	72
Tabla 9 Tasa de infiltración máxima según el tipo de uniones.	72
Tabla 10 Tasas de infiltración máxima según el tipo de pared.	72
Tabla 11 Niveles mínimos de iluminación.....	73
Tabla 12 Porcentaje de pisos según el PUOS en el área de influencia de BRT y Metro.....	75
Tabla 13 Altura de edificación y obstrucción solar.	77
Tabla 14 Anchos de vías en polígonos BRT-Metro	80
Tabla 15 Anchos de Vías.....	80
Tabla 16 Distanciamiento horizontal	81
Tabla 17 Porcentaje de Orientación de Manzanas del área de influencia.....	84
Tabla 18 Consolidado orientación de manzanas NE+NO	86
Tabla 19 Sistema de Referencia Urbana	87
Tabla 20 Análisis de Fachada Escala Pequeña.....	89
Tabla 21 Análisis de Fachada Escala Mediana.....	90
Tabla 22 Análisis de Fachada Escala Grande.	91
Tabla 23 Análisis de Fachada Escala Extra Grande.....	92
Tabla 24 Proporciones de área opaca y traslúcida de los edificios de muestra.	93
Tabla 25 Muestra predominancia de materiales traslúcidos.....	96
Tabla 26 Muestra de predominancia de materiales opacos.....	96
Tabla 27 Medidas de Tendencia Central Escenario 1 (kWh/m ²).....	97
Tabla 28 Irradiancia Escenario 1 por orientación.....	98
Tabla 29 Medidas de Tendencia Central Escenario 2 (kWh/m ²).....	99
Tabla 30 Irradiancia Escenario 2 por orientación.....	100
Tabla 31 Medidas de Tendencia Central Escenario 3 (kWh/m ²).....	102
Tabla 32 Irradiancia Escenario 3 por orientación.....	103

Tabla 33 Medidas de Tendencia Central Escenario 4 (kWh/m ²).....	105
Tabla 34 Irradiancia Escenario 4 por orientación.....	106
Tabla 35 Medidas de Tendencia Central Escenario 5 (kWh/m ²).....	108
Tabla 36 Irradiancia Escenario 5 por orientación.....	109
Tabla 37 Medidas de Tendencia Central Escenario 6 (kWh/m ²).....	111
Tabla 38 Irradiancia Escenario 6 por orientación.....	112
Tabla 39 Ley de Reducción distanciamiento 6m.....	114
Tabla 40 Ley de Reducción distanciamiento 12 m.....	115
Tabla 41 Ley de Reducción distanciamiento 16 m.....	115
Tabla 42 Ley de Reducción distanciamiento 22 m.....	116
Tabla 43 Ley de Reducción distanciamiento 30 m.....	116
Tabla 44 Demanda de Iluminación Anual (kWh/m ²). Escenario Base.....	117
Tabla 45 Demanda de Calefacción Anual (kWh/m ²). Escenario Base.....	118
Tabla 46 Demanda de Iluminación Anual (kWh/m ²). Escenario 2.....	118
Tabla 47 Demanda de Calefacción Anual (kWh/m ²). Escenario 2.....	119
Tabla 48 Demanda de Iluminación Anual (kWh/m ²). Escenario 3.....	120
Tabla 49 Demanda de Calefacción Anual (kWh/m ²). Escenario 3.....	121
Tabla 50 Demanda de Iluminación Anual (kWh/m ²). Escenario 4.....	122
Tabla 51 Demanda de Calefacción Anual (kWh/m ²). Escenario 4.....	123
Tabla 52 Demanda de Iluminación Anual (kWh/m ²). Escenario 5.....	124
Tabla 53 Demanda de Calefacción Anual (kWh/m ²). Escenario 5.....	124
Tabla 54 Demanda de Iluminación Anual (kWh/m ²). Escenario 6.....	126
Tabla 55 Demanda de Calefacción Anual (kWh/m ²). Escenario 6.....	126
Tabla 56 Costo de Iluminación Mensual (\$). Escenario 2.....	132
Tabla 57 Costo de Iluminación Mensual (\$). Escenario 3.....	133
Tabla 58 Costo de Iluminación Mensual (\$). Escenario 4.....	135
Tabla 59 Costo de Iluminación Mensual (\$). Escenario 5.....	136
Tabla 60 Costo de Iluminación Mensual (\$). Escenario 6.....	138
Tabla 61 Resumen de condiciones mínimas de emplazamiento.....	139
Tabla 62 Resultados de Simulación de Irradiancia. Escenario Base (1).....	167
Tabla 63 Resultados de Simulación de Irradiancia. Escenario 2.....	169
Tabla 64 Resultados de Simulación de Irradiancia. Escenario 3.....	170
Tabla 65 Resultados de Simulación de Irradiancia. Escenario 4.....	171

Tabla 66 Resultados de Simulación de Irradiancia. Escenario 5	172
Tabla 67 Resultados de Simulación de Irradiancia. Escenario 6	173
Tabla 68 Resultados de Simulación de Calefacción. Escenario base.	174
Tabla 69 Resultados de Simulación de Calefacción. Escenario 2	175
Tabla 70 Resultados de Simulación de Calefacción. Escenario 3	176
Tabla 71 Resultados de Simulación de Calefacción. Escenario 4	177
Tabla 72 Resultados de Simulación de Calefacción. Escenario 5	178
Tabla 73 Resultados de Simulación de Calefacción. Escenario 6	179
Tabla 74 Consolidado de Resultados Anuales (%). Escenario 2	180
Tabla 75 Consolidado de Resultados Anuales (%). Escenario 3	182
Tabla 76 Consolidado de Resultados Anuales (%). Escenario 4	184
Tabla 77 Consolidado de Resultados Anuales (%). Escenario 5	186
Tabla 78 Consolidado de Resultados Anuales (%). Escenario 6.	188

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Escenarios de Densificación	19
Figura 2 Planta Tipo	20
Figura 3 Escenario Crítico 36 pisos.	21
Figura 4 Cañón Urbano 6m. Edificio de 36 pisos.....	21
Figura 5 Casa griega clásica orientada al sur (arriba). Trazado de las calles de Olynthus (abajo). ..	29
Figura 6 Sección transversal de un heolicaminus romano en los baños de Ostia	30
Figura 7 Casas Patio Andaluzas	30
Figura 8 Casas Patio Iberoamericanas.....	31
Figura 9 Museo Casa de Sucre. Quito	31
Figura 10 Proyección de sombras según orientación y altura	33
Figura 11 Alturas máximas de los edificios en Tel Aviv	34
Figura 12 Acceso solar según la orientación urbana.	35
Figura 13 Construcción gráfica de la envolvente solar.....	35
Figura 14 Relación geométrica en Acoma. Origen de la envolvente solar.....	36
Figura 15 Factor de vista de cielo (SVF) entre edificaciones.	37
Figura 16 Contribución de los factores para el consumo energético de un edificio.....	39
Figura 17 Proyección de sombra Edificio Bacatá, Bogotá.2016	40
Figura 18 Acceso Solar por niveles. Escenario de densificación uniforme.....	41
Figura 19 Porcentaje de horas por debajo de los rangos de iluminación interior. Piso 1 y 51	43

Figura 20 Consumo de energía en Miami, Washington, Minneapolis.	44
Figura 21 Representación esquemática de la orientación de los cañones urbanos, ancho de calle de 15 m.....	45
Figura 22 Separación de las filas de vivienda.	46
Figura 23 Demanda de calefacción en bloques multifamiliares de acuerdo a distintas densidades.	46
Figura 24 Quito. Vista aérea hacia el nor oeste.	48
Figura 25 Rosa de los Vientos.....	49
Figura 26 Distribución de nubosidad porcentual-mensual en Quito.	50
Figura 27 Rangos de Temperatura. Estación Iñaquito 2017.	50
Figura 28 Temperaturas Máximas.....	51
Figura 29 Ubicación geográfica de Quito.	51
Figura 30 Carta Estereográfica del Ecuador.	52
Figura 31 Horas de luz natural.	53
Figura 32 Radiación Solar Global en Quito.....	53
Figura 33 Incidencia Solar en la latitud 0°.....	54
Figura 34 Iluminancia horaria Quito.....	54
Figura 35 Plano de Quito en 1735.....	57
Figura 36 Quito en la década de 1940.....	57
Figura 37 Esquema del crecimiento urbano de Quito.	58
Figura 38 Zona del hipercentro de Quito.	59
Figura 39 Sector de La Carolina. Hipercentro de Quito.....	60
Figura 40 Mapa de zonas de influencia de METRO.....	61
Figura 41 Definición de Escalas.	63
Figura 42 Retranqueo en Planta Baja.....	65
Figura 43 Retranqueo gradual para edificaciones.....	65
Figura 44 Consolidación del suelo urbano y rural de Quito.	66
Figura 45 Nivel de edificabilidad en Quito.	67
Figura 46 Número de edificaciones de acuerdo al número de pisos en el Hipercentro.....	68
Figura 47 Área de Influencia de BRT y Metro.....	70
Figura 48 Sector de El Telégrafo (izquierda), Sector de la República del Salvador (derecha).	75
Figura 49 Alturas de Edificación en el Área de Influencia BRT-Metro.	76
Figura 50 Anchos de Vías en el Área de Influencia BRT-Metro.....	79
Figura 51 Distanciamiento en función de la escala de edificación.....	81

Figura 52 Orientación de manzanas.....	82
Figura 53 Orientación de manzanas del área de influencia.	83
Figura 54 Orientación en manzana longitudinal	85
Figura 55 Materiales predominantes en la construcción.....	88
Figura 56 Ubicación de edificios muestra.	88
Figura 57 Vista al oeste norte.....	94
Figura 58 Vista al centro sur.....	94
Figura 59 Vista al este norte.....	95
Figura 60 Escenario Crítico. Cañón urbano ratio 24.....	101
Figura 61 Análisis por orientación. Cañón urbano ratio 24.....	101
Figura 62 Escenario Crítico. Cañón urbano ratio 12.....	104
Figura 63 Análisis por orientación. Cañón urbano ratio 12.....	104
Figura 64 Escenario Crítico. Cañón urbano ratio 9.....	107
Figura 65 Análisis por orientación. Cañón urbano ratio 9.....	107
Figura 66 Escenario Crítico. Cañón urbano ratio 6,5.....	110
Figura 67 Análisis por orientación. Cañón urbano ratio 6,5.....	110
Figura 68 Escenario Crítico. Cañón urbano ratio 4,8.....	113
Figura 69 Análisis por orientación. Cañón urbano ratio 4,8.....	113
Figura 70 Demanda de Iluminación y Calefacción. Escenario 2	119
Figura 71 Demanda de Iluminación y Calefacción. Escenario 3.	121
Figura 72 Demanda de Iluminación y Calefacción. Escenario 4.	123
Figura 73 Demanda de Iluminación y Calefacción. Escenario 5.....	125
Figura 74 Demanda de Iluminación y Calefacción. Escenario 6.....	127
Figura 75 Resumen de Incremento de Calefacción e Iluminación vs Reducción de Radiación. Escenario 2.	128
Figura 76 Resumen de Incremento de Calefacción e Iluminación vs Reducción de Radiación. Escenario 3	129
Figura 77 Resumen de Incremento de Calefacción e Iluminación vs Reducción de Radiación. Escenario 4	129
Figura 78 Resumen de Incremento de Calefacción e Iluminación vs Reducción de Radiación. Escenario 5	130
Figura 79 Resumen de Incremento de Calefacción e Iluminación vs Reducción de Radiación. Escenario 6	130
Figura 80 Alturas de Edificación en el Área de Influencia BRT-Metro.	155
Figura 81 Alturas de Edificación en el Área de Influencia BRT-Metro. Zona Norte	156

Figura 82 Alturas de Edificación en el Área de Influencia BRT-Metro. Zona Sur.	157
Figura 83 Ancho de Vías Área de Influencia.	158
Figura 84 Ancho de Vías Área de Influencia. Zona Norte.	159
Figura 85 Ancho de Vías Área de Influencia. Zona Sur.	160
Figura 86 Orientación de manzanas Área de Influencia BRT-Metro.	161
Figura 87 Orientación de manzanas Área de Influencia BRT-Metro. Zona Norte.	162
Figura 88 Orientación de manzanas Área de Influencia BRT-Metro. Zona Sur.	163
Figura 89 Orientación de manzanas y anchos de vía Área de Influencia BRT-Metro.	164
Figura 90 Orientación de manzanas y anchos de vía Área de Influencia BRT-Metro. Zona Norte.	165
Figura 91 Orientación de manzanas y anchos de vía Área de Influencia BRT-Metro. Zona Sur. ...	166

Introducción

1.1 Formulación del problema

Se estima que en el año 2050 el 68% de la población mundial vivirá en zonas urbanas (ONU, 2018), actualmente América Latina tiene el 81% de población urbana y se prevé que para el año 2050 exista un aumento del 9% (ONU-Hábitat, 2012, pp. 18–20), este crecimiento poblacional está unido a un mayor consumo de servicios y recursos para abastecer las necesidades de los habitantes.

El crecimiento poblacional y la expansión de sectores productivos han aumentado el consumo energético, siendo el 36% de la electricidad global consumida por los edificios (IEA and UNEP, 2018, p. 11) y, concretamente el 30% del consumo global corresponde al sector residencial/comercial y a nivel de América Latina el 22,7% (REPSOL, 2019, p. 152). En Ecuador el grupo de mayor consumo es el residencial con 7.400,31 GWh que representa el 37% del consumo energético nacional y en la ciudad de Quito dicho sector representa el 40% (ARCONEL, 2019, p. 58), factor que impacta directamente al desarrollo económico de la ciudad y del país.

Actualmente, dicho consumo energético en el sector edilicio se destina a calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación de espacios interiores (Cárdenas–Jirón & Uribe Araya, 2012), por lo tanto, el acceso a luz natural, como fuente primaria de energía, permite reducir por sí misma la demanda energética en calefacción e iluminación de una edificación. El adecuado acceso solar es fundamental en términos de sostenibilidad urbana ya que la edificación podría asegurar su suministro de electricidad mediante estrategias de captación/generación activas como también de sistemas pasivos sobre todo si el entorno urbano es favorable y lo permite (Lobaccaro & Frontini, 2014).

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ) a partir del año 2011 sanciona una serie de ordenanzas, denominadas a lo largo del tiempo como Eco-Eficiencia, en las cuales establece que el Régimen Administrativo del Suelo permita el incremento de edificabilidad. Se dispone que los propietarios de predios podrán solicitar el incremento de número de pisos por sobre lo establecido en el Plan de Uso y Ocupación del Suelo (PUOS) previa autorización del Municipio.

Capítulo 2: Marco Teórico

Los proyectos proponentes al aumento de edificabilidad deben privilegiar la reutilización aguas servidas, garantizar limitaciones del consumo de energía y agua, y en general proponer un aporte paisajístico, ambiental y tecnológico a la ciudad con el objetivo de promover la consolidación el suelo urbano, aprovechar la inversión en infraestructura de movilidad, promover el uso del transporte público, optimizar los recursos de la ciudad y, a su vez, para reforzar la densificación en el hipercentro de la ciudad (Secretaría de Territorio Hábitat y Vivienda, 2011).

A pesar de que este crecimiento en altura no es obligatorio para todos los predios que se encuentren dentro del área de influencia de las estaciones del Metro de Quito ni de los sistemas BRT (Bus Rapid Transit), áreas para las que rige esta ordenanza, se estima que en un futuro estas zonas consolidadas se transformen y redensifiquen al doble de la altura actual. Puesto que, las inversiones de infraestructura pública, así como, la implementación de los planes reguladores que promueven la construcción en altura representan mayor rentabilidad para el sector inmobiliario privado, incrementando la valorización de renta del suelo y la plusvalía de ciertos sectores de la ciudad, un ejemplo de esto han sido los casos de Bogotá, Montevideo, Santiago, Curitiba, Sao Paulo, entre otros (Bocarejo et al., 2013; López-Morales et al., 2019; Sandroni, 2011).

Esta redensificación de la ciudad y la definición de polígonos de zonas urbanísticas de asignación especial donde la ordenanza permite proyectar edificios hasta el doble de la altura de la zonificación (de 18 a 36 pisos), dentro de una trama compacta e irregular con vías angostas como las de Quito, pueden llegar a producir transformaciones urbanas abruptas, que produzcan obstrucciones solares tan infranqueables que afecten tanto al espacio urbano como al habitacional en cuanto al acceso solar, confort térmico y lumínico (Alicia et al., 2016).

Dentro de la arquitectura bioclimática, el acceso solar es considerado como un factor de sostenibilidad, con una gran importancia sobre la calidad de vida de los usuarios de los edificios y del espacio público, quienes ven afectados su confort térmico y demandas energéticas en sus actividades cotidianas e incluso les representa un mayor gasto económico (Cárdenas-Jirón & Chang Lou, 2019).

La radiación solar tiene distintos efectos dependiendo de la latitud. Por lo tanto, es necesario explorar el acceso solar para la ciudad de Quito, ya que como se ha mencionado anteriormente, el

Capítulo 2: Marco Teórico

acceso solar se interrelaciona con la orientación, la morfología urbana y la ratio del volumen de las edificaciones y su altura. Por ello, se considera importante evaluar los efectos de sombra debido de la distancia entre edificios de gran altura y el crecimiento vertical en un contexto de redensificación, ya que en una morfología urbana irregular y una trama de lotes muy pequeños podría resultar en detrimento del acceso solar y del bienestar de los usuarios.

1.2 Relevancia del problema

Quito es la capital y la ciudad más poblada del Ecuador con 2,8 millones de habitantes, según proyecciones del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2019) para el año 2040 tendrá una tasa de ocupación de 112 habitantes por hectárea (5401,29 hab/km²), densidad de ocupación baja comparado con otras capitales de Latinoamérica como Ciudad de México que tiene cerca de 5966 hab/km², Santiago con 8497 hab/km², Buenos Aires con 15 069,99 hab/km², Caracas con 15 774 hab/km² (CAMICON, 2020; DANE, 2005; INE, 2011; INEC, 2013; INEGI, 2020).

El Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la ciudad de Quito busca la construcción de un modelo territorial compacto y denso, en el área urbana, a través del aumento de la densificación edificatoria y poblacional, para evitar la continua expansión en la meseta superior y de los valles bajos, que deja varias zonas centrales con una trama consolidada, pero a su vez, muy porosa (PMDOT, 2015).

El marco regulatorio de consolidación urbana y la ordenanza de Eco-Eficiencia se promueven y respaldan mediante la implementación de la primera línea del Metro de Quito, que crea oportunidades de nuevas centralidades multifuncionales, dinamismo y reinversión inmobiliaria con conciencia ambiental, reduciendo a su vez la falta de acceso a servicios, tráfico, especulación y depredación del suelo, deterioro del paisaje natural y suelo agrícola. Este plan de redensificación vertical es inédito en la ciudad de Quito ya que actualmente las zonas de mayor altura no superan los 16 pisos.

La redensificación en altura en una trama ya consolidada puede tener impactos negativos en el consumo energético y confort de los usuarios, debido a las obstrucciones solares de las propias edificaciones que pueden reducir hasta en un 20% el confort lumínico al interior de los edificios (Miranda Iñiguez, 2016) e, incrementar hasta en un 30% la demanda de calefacción y refrigeración

Capítulo 2: Marco Teórico

(Braulio-Gonzalo et al., 2016), por lo que resulta pertinente evaluar dichos impactos en el contexto de la ciudad de Quito.

De acuerdo con la densificación sustentable¹, cada edificación debe tener cubierto su derecho de soleamiento y a su vez, no debe condicionar este al resto de edificaciones ni espacio público de una ciudad. Por tanto, se debe respetar la envolvente solar como un espacio imaginario cuya geometría dependa del tamaño, la forma, la pendiente y la orientación del edificio y la parcela, trazado a partir de las alturas edificadas en la manzana y los ángulos de la geometría solar (García & García, 2012; Knowles, 2003).

Por otro lado, esta disminución de luz natural y por ende de cantidad de radiación en fachada, significa de forma directa exponer a los usuarios de las viviendas a una situación de vulnerabilidad debido al incremento de consumo de energía (Sarquis, 2018). Desde la perspectiva de pobreza energética se entiende esta vulnerabilidad como “la incapacidad para obtener un adecuado confort térmico debido a la ineficiencia de la vivienda” lo que, si se analiza según uno de los indicadores basados en gastos e ingresos del hogar, una familia estará en situación de pobreza energética si destina más del 10% de los ingresos para suplir los gastos por demanda de iluminación, calefacción, refrigeración o cocina (Boardman, 2010; Castaño-Rosa et al., 2020; Schuessler, 2014). Por tanto, la redensificación de las tramas urbanas debería establecer la altura máxima de bloqueo solar en las distintas geometrías de cañones urbanos manteniendo por debajo del 10% el gasto de energía respecto a los ingresos familiares, con el objetivo de no incrementar los casos de pobreza energética.

¹ La sustentabilidad como concepto plantea el equilibrio entre los valores economía, medioambiente y equidad, sin embargo, al hablar de densificación sustentable se debe incorporar el concepto de habitabilidad, ya que existe una relación simbiótica en donde la densidad promueve la habitabilidad y la habitabilidad logra que la densidad sea aceptable en la calidad de vida de sus ocupantes (Rodríguez Sosa & Sánchez Flores, 2018).

1.3 Hipótesis

Las obstrucciones solares y conos de sombra generados ante un escenario de redensificación en altura en la ciudad de Quito pueden aumentar entre un 30% y un 50% el consumo energético de iluminación y calefacción en edificios de vivienda.

1.4 Objetivo general

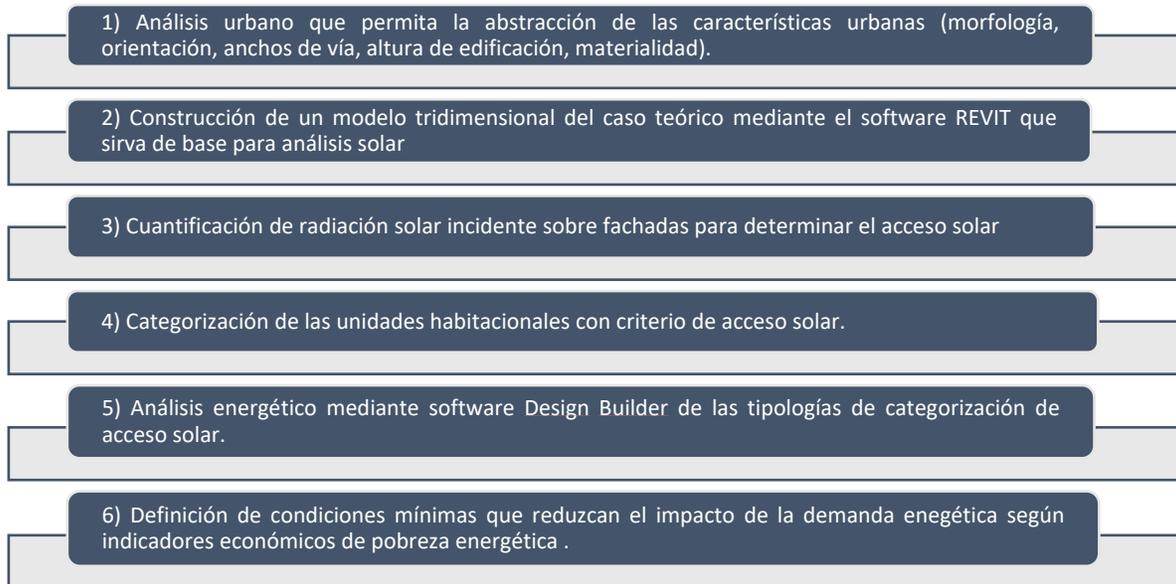
Evaluar cómo impacta el aumento de edificabilidad sobre la demanda energética de calefacción e iluminación de viviendas considerando escenarios de densificación baja, intermedia y crítica en la zona urbana del hipercentro de la ciudad de Quito para definir condiciones mínimas que reduzcan su impacto asociado a situaciones de pobreza energética.

1.5 Objetivos específicos

- a) Definir los escenarios de densificación actual, medio y crítico, así como las características urbanas y de edificación que permitan abstraer la morfología urbana para un análisis de un edificio teórico frente al cañón urbano.
- b) Cuantificar la radiación solar incidente captada con y sin bloqueo solar en escenarios de densificación urbana crítica para evaluar su impacto respecto a las condiciones actuales.
- c) Establecer la demanda energética de calefacción e iluminación de las edificaciones del área de estudio con escenarios de densificación crítica respecto las actuales.
- d) Establecer el distanciamiento mínimo entre edificaciones en función de su altura para minimizar las situaciones de pobreza energética provocadas por los conos de sombra y obstrucciones solares.

1.6 Metodología

Para concretar los objetivos de la investigación la metodología a desarrollar será experimental, ya que se analizará el impacto de la Ordenanza N°003 sobre el acceso solar y las demandas energéticas de calefacción e iluminación, en base a técnicas de simulación, elaboración y análisis de tablas comparativas de resultados siguiendo las etapas que se enumeran a continuación:



1. Definición de caso de estudio:

La primera etapa consistió en la definición de las características urbanas de la ciudad de Quito a través de un análisis de las zonas en las que se aplica la Ordenanza de Ecoeficiencia, definidas como “Zonas de Influencia de BRT y Metro”, donde rige el marco regulatorio de incremento de edificabilidad, para establecer las escalas según la altura posible de las edificaciones, así como de las obstrucciones solares.

La definición de las distintas escalas de edificación se las realizó en base al Anexo 2 de la resolución N° 34 (STHV, 2020) donde se define como escala baja los edificios entre 1 y 6 pisos, media los edificios entre 7 y 12 pisos, intermedia los edificios entre 13 y 18 pisos y edificios extra grandes o críticos como se ha denominado para este estudio entre 19 y 36 pisos.

Adicionalmente, es importante mencionar que la mayoría de las zonas de influencia del metro en la actualidad tienen una densidad de media a baja (entre uno y ocho plantas) y a pesar que, desde la perspectiva inmobiliaria y la rentabilización del suelo, se tiende a proyectar edificios al límite permitido de altura y coeficientes de ocupación del suelo al máximo, es muy improbable que las zonas definidas para el incremento de edificabilidad lleguen a la totalidad de la cabida debido a las mismas condiciones de densificación extrema así como la morfología urbana, acceso solar, calidad

Capítulo 2: Marco Teórico

visual, tráfico, etc. Sin embargo, se tomó a este escenario crítico (escenario de máxima cabida de 36 pisos) como base de estudio ya que al analizar las condicionantes más desfavorables y aplicar la metodología descrita será factible analizar el resto de escenarios de densificación (Ver Figura 1), con resultados más favorables.

Escenario de densificación baja y media	Escenario de densificación predominante actualmente en la ciudad. Edificios entre 1 y 12 pisos.
Escenario de densificación intermedia	Extrapolación de escenario altamente densificado existente en la ciudad. Edificios entre 13 y 18 pisos.
Escenario de densificación crítico	Escenario de máxima cabida en altura y coeficientes de ocupación máxima en planta. Edificios entre 19 y 36 pisos.

Figura 1 Escenarios de Densificación

Además, se analizaron una serie de mapas del Plan de Uso y Ocupación del Suelo y el catastro de Quito, mediante el portal de Centro de Información Urbana de Quito (CIUQ) en cuanto a la altura de edificación, anchos de vía y orientaciones para identificar los casos más representativos de la morfología urbana que permitan su abstracción para el caso de estudio.

Mediante la herramienta ArcGIS 10.6 se analizaron las orientaciones predominantes de la morfología urbana determinando ángulos de rotación de las manzanas respecto al norte. El sistema de referencia urbano se estableció a través del concepto de cañón urbano que permite describir las características formales básicas de un tejido urbano sintetizando su estructura compleja en elementos espaciales más sencillos (Strømman-Andersen & Sattrup, 2011), permitiendo la replicabilidad del estudio teórico para toda la ciudad.

A través de Google Maps y Google Earth se analizó una muestra aleatoria de cuatro edificios por cada escala de edificación en los sectores centro, norte y sur de la ciudad con distintas alturas y características constructivas como materialidad de fachada, colores, texturas, porcentajes de área opaca y translúcida. El promedio de estas características edilicias se aplicó tanto al volumen teórico como al de la obstrucción solar.

Tabla 1 Variables de Análisis

<i>Escala de Edificación</i>	<i>Baja-Media-Intermedia-Crítica</i>	<i>(m)</i>
<i>Altura de Obstrucción Solar</i>	Baja-Media-Intermedia-Crítica	(m)
<i>Distanciamiento entre Edificios</i>	6-12-16-22-30	(m)
<i>Orientación respecto al Norte</i>	Cada 15°	°N
<i>Materialidad de Fachada</i>	Opaco-Translúcido	(%)

2. Construcción de un modelo tridimensional del caso teórico mediante el software REVIT.

A través del programa Revit 2020 se modeló el edificio teórico considerando un emplazamiento a línea de fábrica (alineado a fachada), ya que es el escenario menos favorable respecto al acceso solar debido a que en esta zonificación el volumen tiene dos fachadas expuestas y que el retiro entre edificaciones no varía en función de la altura de edificación, manteniéndose siempre constante.

Es importante mencionar que el Anexo No 1 de la Resolución 34 establece que la implantación a línea de fábrica en todos los casos mantiene un retranqueo de 2m en las dos primeras plantas, para el presente estudio no se consideró dicho retranqueo ya que todos los pisos deben tener las mismas características de área, densidad ocupacional, etc. lo mismo que se aplica a los retranqueos en planta alta si la escala de edificación no responde al ancho de vía.

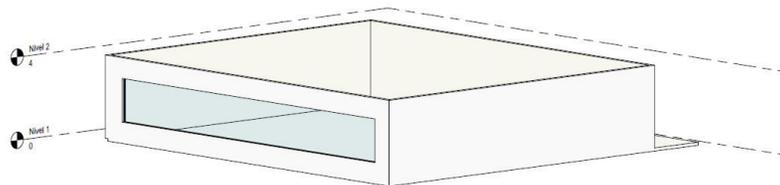


Figura 2 Planta Tipo

La planta tipo tiene una altura de entrepisos de 4m, área de 340 m², de los cuales se proyectó un área de 20 m² por planta para circulaciones centrales internas y verticales, por lo que se planteó

Capítulo 2: Marco Teórico

cuatro departamentos de 80 m² de área útil por planta del edificio teórico, dato que se utilizó para el cálculo de densidad habitacional y renovaciones de aire por hora, entre otros.

El cañón urbano se conformó con 5 edificios de las mismas características constructivas y de área en planta (Ver Figura 3), variando la distancia entre el edificio teórico y la obstrucción solar, por las distintas escalas y orientaciones con respecto al norte, considerando como bloques adiabáticos a los edificios laterales y al piso de la planta baja del edificio teórico, ya que este estaría en contacto con subsuelos.

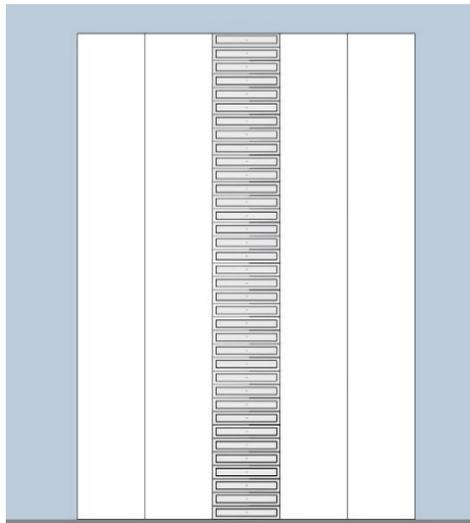


Figura 3 Escenario Crítico 36 pisos.

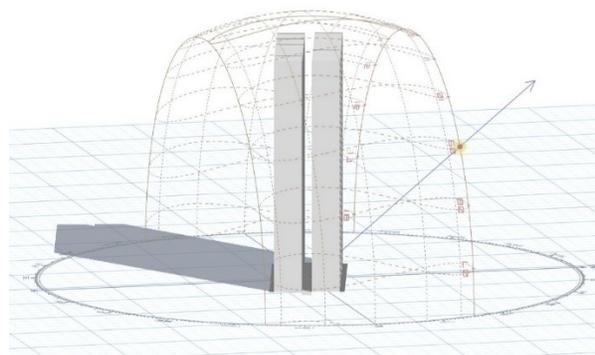
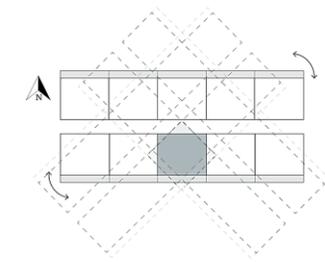
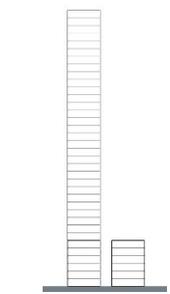
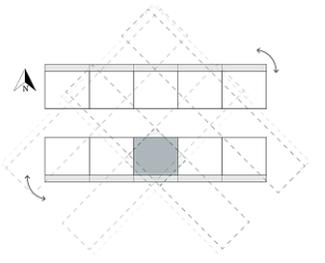
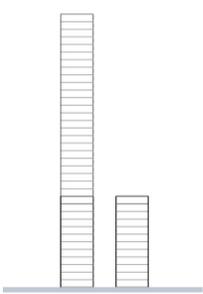
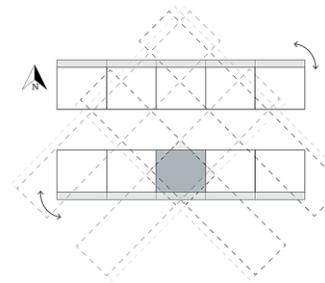
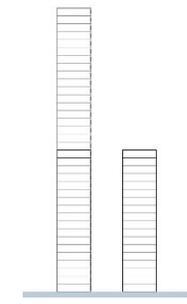
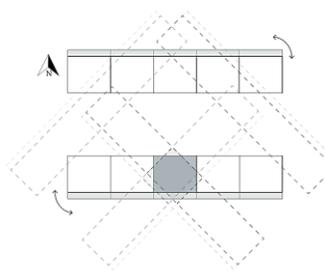
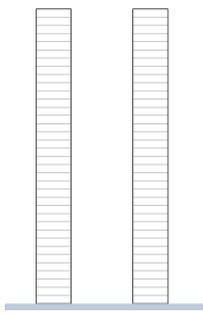


Figura 4 Cañón Urbano 6m. Edificio de 36 pisos

Tabla 2 Ejemplo de configuración de cañones

<i>Escenario de Densificación</i>	<i>Vista en Planta</i>	<i>Elevación</i>
<p>Densificación Crítica (36 pisos) Obstrucción Baja (6 pisos) Distancia 6m Orientación: 15°,30°,45°,120°,165°, -30°, -60°, -135°, -150°N</p>		
<p>Densificación Crítica (36 pisos) Obstrucción Media (12 pisos) Distancia 12m Orientación: 15°,30°,45°,120°,165°, -30°, -60°, -135°, -150°N</p>		
<p>Densificación Crítica (36 pisos) Obstrucción Intermedia (18 pisos) Distancia 16m Orientación: 15°,30°,45°,120°,165°, -30°, -60°, -135°, -150°N</p>		
<p>Densificación Crítica (36 pisos) Obstrucción Crítica (36 pisos) Distancia 30m Orientación: 15°,30°,45°,120°,165°, -30°, -60°, -135°, -150°N</p>		

3. Cuantificación de radiación solar incidente sobre fachadas para determinar el acceso solar del volumen teórico.

Capítulo 2: Marco Teórico

La tercera etapa consistió en la cuantificación de radiación solar incidente sobre fachadas para determinar el acceso solar del volumen teórico. A través del programa de Autodesk FormIt 360© se cuantificó la irradiancia anual incidente (kWh/m²) captada con y sin bloqueo, medido en el punto medio de la ventana de la fachada principal, en todos los pisos del edificio teórico en el escenario crítico de densificación; es decir el escenario de mayor altura (36 pisos), frente a las distintas escalas de bloqueo solar con los anchos de vía y las orientaciones predominantes, analizadas anteriormente (Ver Tabla 3). Con estos datos se establecieron modelos matemáticos que permiten analizar el impacto en las distintas alturas de edificación sin la necesidad de simular el resto de los escenarios base.

Tabla 3 Escenario de Densificación Crítica

<i>Altura de Edificio</i>	<i>Altura de Obstrucción</i>	<i>Distancia Entre Edificios</i>	<i>Orientación Respecto al Norte</i>	
	Sin obstrucción	6 m	15° N	-30° N
36 pisos (144 m)	6 pisos (24m)	12 m	30° N	-60° N
	12 pisos (48 m)	16 m	45° N	-135° N
	18 pisos (72m)	22 m	120° N	-150° N
	36 pisos (144 m)	30 m	150° N	-165° N

4. Categorización de las unidades habitacionales según su acceso solar durante el año.

De los resultados obtenidos en el escenario crítico de densificación sobre el análisis de cuantificación del acceso solar en fachadas del volumen teórico se establecieron 3 categorías de clasificación: reducción del acceso solar del 30%, 60% y más del 60%, deduciendo que todos los pisos que se encuentren dentro de una misma categoría de acceso solar tendrían el mismo comportamiento energético.

En términos generales la categorización por pisos y porcentaje de acceso solar buscó simplificar los estudios futuros de evaluación de demanda energética en escenarios con las mismas variables ya

Capítulo 2: Marco Teórico

definidas mediante la definición de ecuaciones matemáticas que permitieron evaluar la reducción de la radiación sin la necesidad de simular los escenarios.

Una vez establecidos los rangos por reducción de radiación solar y definidas las ecuaciones de reducción por cada cañón urbano se estableció un criterio de ley de reducción, entendiéndose como un criterio que permite simplificar el análisis tomando en cuenta que, en el piso donde la reducción de radiación mantiene constante como un piso 0 (X), se consideró que a partir de este piso x hacia arriba (x+1, x+2, x+10, etc.) existe la variación representativa. Por lo tanto, de acuerdo con esta consideración se analizó el escenario crítico máximo que consiste en un edificio teórico de 36 pisos, con una obstrucción de la misma altura en los distintos cañones y orientaciones.

5. Análisis energético mediante software Design Builder© de las tipologías de categorización de acceso solar.

A través del software Design Builder© se realizaron simulaciones dinámicas de la demanda energética (demanda de calefacción e iluminación) de las 3 categorías de acceso solar en el escenario crítico descrito anteriormente para analizar la cantidad de energía requerida para el funcionamiento de las edificaciones y específicamente para cubrir la necesidad de calefacción en el horario de ocupación de los espacios, sin tomar en cuenta el horario nocturno para demostrar así, cuantitativamente la incidencia del cono de sombra sobre el comportamiento energético del entorno consolidado.

En cuanto a la tasa de ocupación se estableció que por cada departamento de 80m² de área útil exista una ocupación de 4 personas (2 adultos y 2 niños) en un horario de ocupación de lunes a viernes con jornada laboral de 8 horas y fines de semana con ausencia en la vivienda del 60% (Johanson, 1981), lo que representa una densidad ocupacional de 0,05 personas/m².

También se tomó en cuenta que la Resolución No. STHV-034-2020 establece que el rango de temperatura de confort para la ciudad de Quito debe encontrarse entre 18° y 25° C, por lo tanto, se introdujeron estas variables como límites para el modelo energético. El modelo teórico responde a un sistema constructivo en base a la muestra tomada que consiste en paredes de mampostería de bloque y vidrio simple, con infiltraciones de 6,00 m³/h-m² de acuerdo a la resolución. Con respecto a la calidad del aire interior se tomó los valores indicados por la ASHRAE Standard 62.1-2007 (Hedrick et al., 2013) con renovaciones de 2,5 l/s por persona y 0,30 l/s-m²

Capítulo 2: Marco Teórico

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (MIDUVI, 2018) para los espacios residenciales se debe considerar una iluminación promedio de 300 lux ya que para dormitorios señala 200 lux y para cocinas y áreas de estar determina 500 lux, por lo tanto como se trabaja con un área tipo sin definiciones de espacios interiores se incorporó en la configuración del programa un promedio de 300 lux. Adicionalmente, de acuerdo con esta misma normativa se establece los valores de transmitancias para espacios habitables no climatizados para techo ($2,9 \text{ W/m}^2\text{C}$), paredes ($2,35 \text{ W/m}^2\text{C}$), pisos ($3,2 \text{ W/m}^2\text{C}$) y ventanas ($5,78 \text{ W/m}^2\text{C} -0,82 \text{ SHGC}$).

6. Definición de condiciones mínimas que reduzcan el impacto en la demanda energética en función del aumento o disminución del distanciamiento entre edificios según su altura.

Esta etapa de la metodología consistió en la compilación y sinterización todos los resultados de acceso solar y demanda energética para los distintos cañones y orientaciones, con el fin de establecer las condiciones mínimas de emplazamiento de los edificios que tengan el menor impacto en la demanda de iluminación y calefacción.

Se buscó establecer la altura máxima admisible según los distanciamientos y orientaciones analizados relacionándolo con el impacto en el incremento de iluminación, calefacción y la reducción de irradiancia en fachada. Este análisis se lo realizó con uno de los indicadores de pobreza y justicia energética en donde una familia no debería destinar más del 10% de los ingresos para cubrir costos de energía ya que si supera este porcentaje se encontraría en situación de PE (Schuessler, 2014), por lo tanto, es importante mencionar que en Ecuador del salario mínimo de un grupo familiar según el Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censos es de \$700 dólares mensuales (El Comercio, 2017), valor sobre el cual se establecerá el 10% mencionado anteriormente.

El 10% de gasto máximo de energía corresponde a todos los rubros de consumo en una vivienda, refrigeración y cocción de alimentos, iluminación, calentamiento de agua, etc. Para el análisis del consumo de iluminación se define que, representa 28% del total de consumo de energía en el sector residencial de la sierra ecuatoriana (Baquero & Quesada, 2016). Lo que representaría mensualmente un gasto por departamento de 19,60 dólares como máximo admisible, para este análisis.

Adicionalmente, para establecer el costo máximo de gasto por iluminación por departamento cabe mencionar que en la provincia de Pichincha, entonces para Quito, el costo del kWh es de 9,51 centavos de dólar (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2016).

Marco Teórico

El presente capítulo expone la problemática energética mundial y local enfocada en los consumos energéticos en el sector residencial en altura desde la perspectiva del acceso solar y los impactos que generan las obstrucciones solares en un entorno urbano altamente densificado o que busca una redensificación del mismo.

2.1 Problemática energética mundial y local

El cambio climático en el planeta presenta cifras sin precedentes y alarmantes basadas en un análisis tendencial de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y, por lo tanto, en el calentamiento global. Las emisiones continuas causarán un mayor calentamiento y nuevos cambios en todos los componentes del sistema climático. Para contener el cambio climático es necesario reducir de forma sustancial y sostenida las emisiones de GEI (IPCC, 2014).

El aumento de GEI observado desde el siglo XX está sujeto a las actividades humanas tanto en el calentamiento de la atmósfera y el océano, en alteraciones en el ciclo global del agua, en reducciones de la cantidad de nieve y hielo, en la elevación media mundial del nivel del mar y en cambios en algunos fenómenos climáticos extremos (IPCC, 2014). El 76% de dióxido de carbono (CO₂) parte de los gases de efecto invernadero es de origen antropogénico, particularmente del uso del petróleo como fuente primaria de energía (Estenssoro, 2010, p. 63). Por lo tanto, en el contexto de cambio climático la variable ambiental y la variable energética se transforman en un solo fenómeno determinante para el aumento o disminución de los gases de efecto invernadero y sus consecuencias.

La matriz energética primaria mundial depende 85% de los combustibles fósiles, principales emisores de CO₂, particularmente del petróleo, gas y carbón; adicionalmente el 40% de todas las fuentes primarias de energía se utilizan en la generación eléctrica y solamente el 3% se consigue a través de energías renovables como la solar, eólica y geotérmica (CEEPYS, 2014). A nivel mundial en el año 2019 el consumo del petróleo creció 0,9%, mientras que el consumo de gas natural

Capítulo 2: Marco Teórico

incrementó en 2%, muy por debajo del crecimiento excepcional observado en 2018 (5,3%), la producción mundial de carbón aumentó un 1,5%, el consumo hidroeléctrico aumentó un 0,8% y a su vez la generación de electricidad creció solo un 1,3% donde la participación de las energías renovables en la generación de energía aumentó de 9,3% a 10,4% (BP, 2020, pp. 3–7).

Adicionalmente, la demanda de energía y de servicios está estrechamente vinculada con el desarrollo social y económico, considerando la energía como un bien estratégico fundamental para el progreso socioeconómico de cualquier país y de sus sectores productivos ya que se busca cubrir las necesidades humanas básicas como alumbrado, cocina, movilidad, comunicación, salud y bienestar. Entre el 2004 y 2030 el consumo energético se incrementará en un 57% a nivel mundial, siendo mucho mayor en las economías emergentes llegando a un 95%, como lo es el caso de Latinoamérica (Cárdenas–Jirón & Uribe Araya, 2012).

En los últimos diez años, Ecuador registró una tasa de crecimiento promedio anual de 4% en consumo de energía (MEER, 2017, p. 13). En el año 2018 el 70,71% de la energía bruta producida fue hidráulica, 27,42% térmica, 1,31% a través de biomasa, 0,27% eólica, 0,16% por biogás y 0,13% fotovoltaica. Específicamente en el sector residencial el consumo de energía se concentra en un 60,2% en GLP, seguido de un 30% de consumo en electricidad y 9,8% en leña (ARCONEL, 2019, pp. 29–34).

El crecimiento poblacional y la expansión de sectores productivos han aumentado el consumo energético, en donde el 36% de la electricidad global es consumida por los edificios (IEA and UNEP, 2018, p. 11), de esto, el 30% del consumo global corresponde al sector residencial/comercial y que a nivel de América Latina el mismo sector representa el 22,7% (REPSOL, 2019, p. 152). En Ecuador el grupo de mayor consumo es el residencial con 7.400,31 GWh, representando el 37% del consumo energético nacional y el 40% en la ciudad de Quito (ARCONEL, 2019, p. 58), factor que impacta directamente al desarrollo económico de la ciudad y del país.

El consumo de electricidad en el sector residencial en la sierra ecuatoriana se encuentra distribuido entre iluminación, cocción, calentamiento de agua, conservación de alimentos, calefacción y otros usos (televisor a color, licuadora, equipos audiovisuales, plancha eléctrica, etc.), representando el consumo de iluminación el 49%, los sistemas de refrigeración el 14%, el calentamiento de agua el 7% y el 30% restante consiste en otros usos eléctricos (Ríos et al., 2018).

Capítulo 2: Marco Teórico

Actualmente, dicho consumo energético en el sector edilicio se produce para acondicionar espacios interiores ya sea para calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación (Cárdenas–Jirón & Uribe Araya, 2012), por lo tanto, la energía solar como fuente primaria permite reducir por sí misma la demanda energética de una edificación o de un entorno urbano. El adecuado acceso solar de una edificación es fundamental en términos de sostenibilidad urbana ya que la edificación podría asegurar su propio suministro de electricidad mediante estrategias de captación/generación activas como también de sistemas pasivos sobre todo si el entorno urbano es favorable y lo permite formando parte de una suma de soluciones al incremento de demandas energéticas a nivel mundial y aportando en su medida a la reducción de impactos en la crisis climática (Lobaccaro & Frontini, 2014).

2.2 Antecedentes de la importancia de la energía solar y el entorno urbano

Actualmente las energías renovables no convencionales son una opción viable y factible para la reducción GEI y, entre ellas, la energía solar tiene un rol importante como alternativa para disminuir los consumos de las fuentes de energías tradicionales y puede ser considerada una necesidad el acceso a ella (Knowles, 2003). Los antecedentes de acceso solar y el desarrollo urbano tienen origen en las culturas antiguas como Grecia, Roma, China y América prehispánica, ya que en la mayoría se buscaba que todas las viviendas tuvieran acceso igualitario al sol para calentar espacios en época de invierno y mediante la misma arquitectura o vegetación se proteja a los mismos espacios para evitar el sobrecalentamiento en verano (Franco-Medina & Bright-Samper, 2016).

Por ejemplo, como se muestra en la Figura 5, en Grecia el criterio urbanístico consistía en una trama urbana reticulada orientada de este a oeste con el objetivo de buscar un acceso democrático de todas las viviendas con al menos una fachada orientada al sur.

Este principio de diseño urbano fue una base para la arquitectura bioclimática pasiva para esta ciudad, ya que dicha orientación y disposición de habitaciones alrededor de un patio central y delimitado en la fachada sur por un pórtico de ingreso permitió que éste sea un elemento de control solar, el cual en época de invierno permitía el paso de energía solar calentando los espacios aledaños al patio central y en verano el pórtico proyectaba sombra y refrescaba a toda la casa. (Franco-Medina & Bright-Samper, 2016; Inzulza et al., 2017).

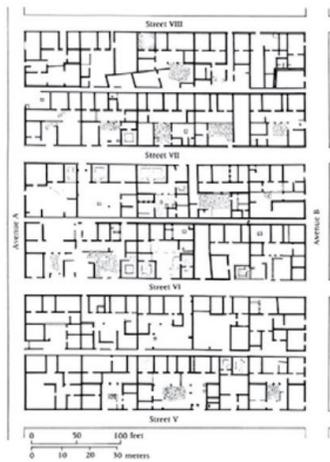
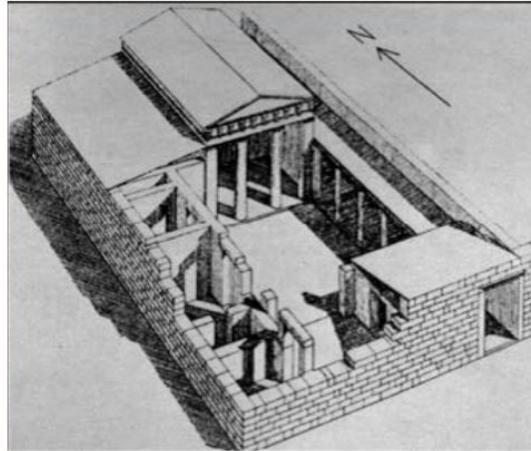


Figura 5 Casa griega clásica orientada al sur (arriba). Trazado de las calles de Olynthus (abajo).

Fuente: Butti, 1980, p 6,18.

Posteriormente, en Roma con el uso de pequeñas láminas de vidrio se empieza a cubrir los vanos de las ventanas como herramienta para el ingreso de luz y para evitar la rápida pérdida de calor de los espacios, además, se inician las primeras leyes sobre acceso solar para precautelar que no se afecte a los *Heliocaminus* de las viviendas (Inzulza et al., 2017).

Como se observa en la Figura 6 el heliocaminus u horno solar era una habitación con la funcionalidad de recibir y albergar calor durante el día y dispersar el calor hacia el resto de la casa durante la noche ya que estaba orientado directamente al sur con fachadas de vidrio, mas con el crecimiento de la población y la aparición de nuevas edificaciones se empezó a bloquear el acceso a algunos de estos hornos solares, lo cual fue denunciado y luego penalizado (Franco-Medina & Bright-Samper, 2016).

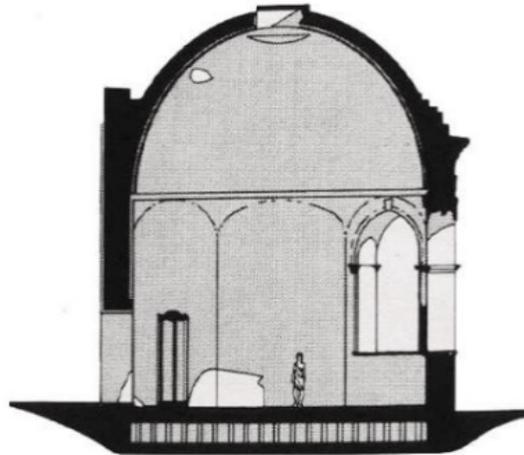


Figura 6 Sección transversal de un heilicaminus romano en los baños de Ostia

Fuente: Butti ,1980, p 18.

Por otro lado, la arquitectura árabe tuvo influencia en la arquitectura española y por ende en la iberoamericana debido a la serie de colonizaciones de los pueblos. En muchas regiones de Latinoamérica se refleja la arquitectura andaluza (Ver Figura 7 y Figura 8) y especialmente la casa sevillana. Por un lado debido a que muchos de los colonizadores eran de esta región y por otro, porque el clima de Andalucía era el más semejante a de la mayoría de las regiones americanas (Silva, 2000).

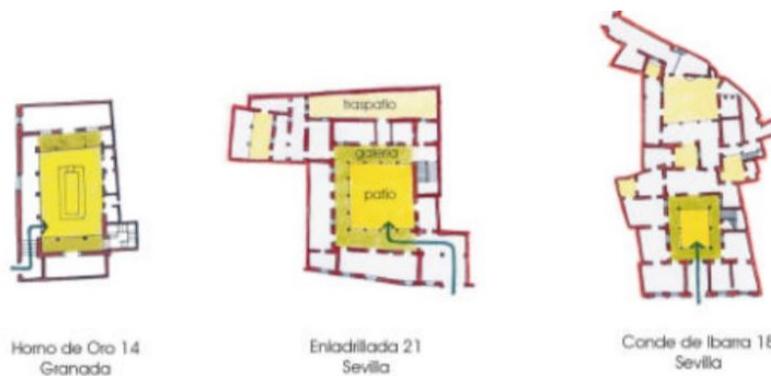


Figura 7 Casas Patio Andaluzas

Fuente: Silva, 2000

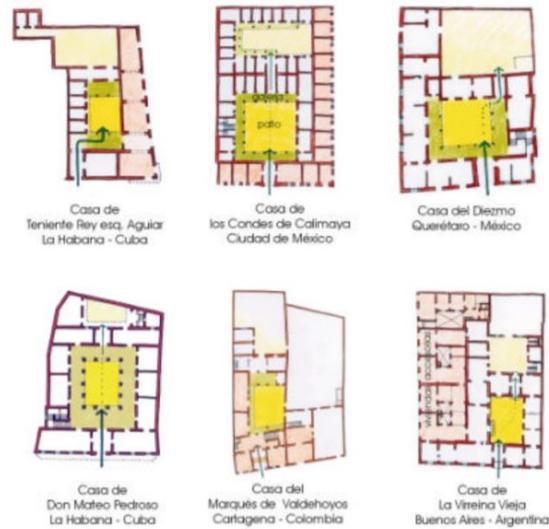


Figura 8 Casas Patio Iberoamericanas

Fuente: Silva, 2000

Lo particular de estas edificaciones es que abordan el acceso solar desde el patio central porticado usualmente con una piletta o espejo de agua en el centro y la distribución de los espacios habitables alrededor de ellos ubicados hasta en dos plantas, como se puede ver en la Figura 9 . La presencia de un elemento de agua en el centro permitía refrescar la vivienda en la planta baja en el verano y como difusor de iluminación del sol hacia los espacios laterales, tipología muy representativa de la arquitectura quiteña en tiempos de la colonia española (Peralta, 2017).



Figura 9 Museo Casa de Sucre. Quito

Fuente: El Comercio, 2010

Capítulo 2: Marco Teórico

El acceso solar tiene gran importancia sobre la salud e higiene de las ciudades. En el siglo XVII, la Revolución Industrial entre otras cosas, trajo fuertes problemas de hacinamiento y construcciones de viviendas obreras de mala calidad y sin acceso a luz natural lo que consecuentemente fueron asoladas por epidemias como tuberculosis, viruela, cólera, fiebre tifoidea, raquitismo. Este escenario de muerte concentró la atención de los médicos y urbanistas quienes empezaron a promover el acceso a la luz natural y aire fresco para prevenir nuevas epidemias, dando lugar a propuestas de proporcionalidad entre altura de la edificación y separación entre ellas, como por ejemplo en París, donde las viviendas que se orientaban hacia el sur no podían tener una separación inferior a 2 ½ la altura de edificación y así no generar sombra sobre las viviendas posteriores (Franco-Medina & Bright-Samper, 2016).

En la década de los 70', debido a la crisis energética, nace el concepto de acceso solar en Estados Unidos como una forma legal de protección al uso y del acceso a la luz natural por parte de los propietarios de un edificio y para garantizar su acceso en tiempo presente y futuro; traduciéndose en mecanismos legales identificados como servidumbre solar y derecho solar, para los cuales se determinan estatutos para el disfrute de la luz solar y las sanciones por sombras proyectadas por edificaciones vecinas sobre un espacio privado, como también la protección de los sistemas energéticos solares integrados a la arquitectura (Cárdenas-Jirón & Uribe Araya, 2012). Por lo tanto, actualmente con este tipo de marcos legales se precautela que, si una edificación cuenta con acceso solar, esta energía se puede aprovechar e integrar en la edificación a través de sistemas activos o pasivos con el objeto de reducir sus emisiones de CO₂ y su demanda energética, procurando una dimensión sostenible en la arquitectura.

Las ciudades actuales y la mayoría de los entornos consolidados funcionan anti natura en cuanto a la búsqueda de luz natural para el desarrollo de la vida, siendo totalmente indiferentes al medio en el que se encuentran, a la orientación y a la exposición solar (Knowles, 2003), por ello, actualmente el balance energético de un edificio está vinculado a la forma urbana, por ejemplo, las ganancias térmicas de un edificio dependen de las condiciones espaciales del entorno urbano que permitan disponer de la luz natural ya que al existir obstrucciones solares se produce un aumento en el consumo de energía tanto de iluminación como de calefacción (Cárdenas-Jirón, 2012).

En cuanto al balance energético de un edificio influenciado por la morfología urbana es importante considerar que *“la temperatura exterior, la velocidad del viento y la radiación solar a la cual un*

edificio está expuesto no corresponde al clima regional sinóptico, sino que, al microclima local, el cual es modificado por la “estructura” de la ciudad, principalmente el vecindario donde el edificio está situado” (Givoni, 1998).

2.3 Acceso solar

Knowles, uno de los arquitectos pioneros investigadores sobre la forma urbana, luz solar y normativas, señala que el sol es fundamental para la vida humana y para el bienestar de los habitantes de una ciudad ya que representa la fuente de energía que regula los ciclos circadianos, siendo la trayectoria solar un elemento que sitúa al ser humano perceptualmente en el tiempo y el espacio (Alicia et al., 2016; Decker, 2012).

El acceso solar es la continua disponibilidad de luz natural directa que posee una edificación sin obstrucción de otra de propiedad (edificios, vegetación u otro impedimento). El acceso solar de un elemento aislado se define por cuatro factores: la latitud, la pendiente del terreno donde está asentado, su forma y la orientación (Figura 10), mientras que para un entorno urbano consolidado el acceso solar toma mayor planificación y además de los cuatro anteriores se considera la altura de las edificaciones, la proporción de las calles y la orientación de las mismas (Decker, 2012). Esto se calcula con el diagrama de trayectoria solar para cada edificación (McCann, 2008).

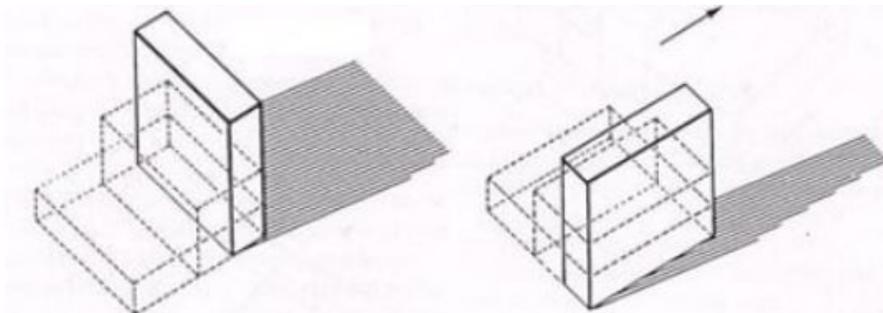


Figura 10 Proyección de sombras según orientación y altura

Fuente: De Decker, 2012.

Con base en este concepto I.G Capeluto y E. Saviv (2006) desarrollaron un método descriptivo para regularizar los derechos solares ya sea para edificios como para espacio público. Esta herramienta establecía ángulos de obstrucción y las alturas máximas de los edificios en distintas orientaciones para garantizar los derechos solares en las fachadas, tomando en cuenta intervalos de soleamiento de acuerdo a las densidades urbanas óptimas (Ver Figura 11).

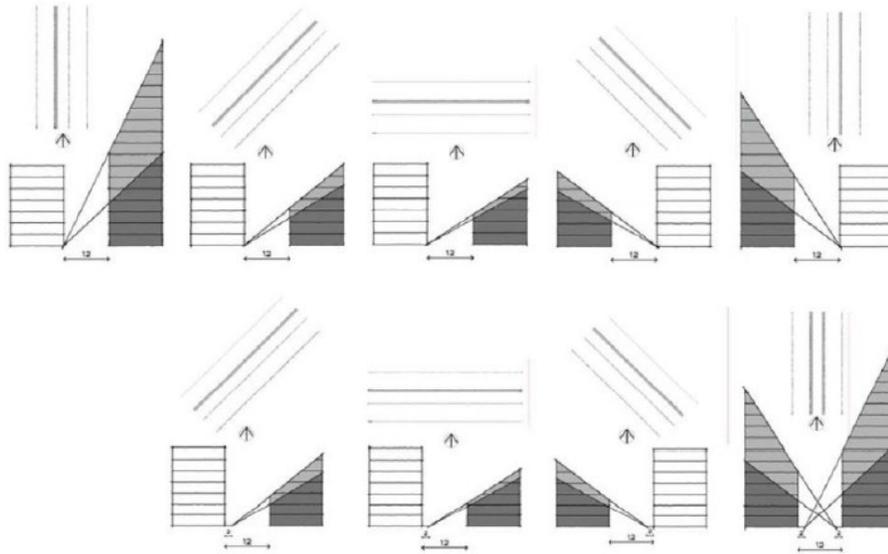


Figura 11 Alturas máximas de los edificios en Tel Aviv para garantizar el acceso solar en las fachadas (arriba) y en las calles (abajo) de acuerdo a distintas orientaciones.

Fuente: Capeluto et al., 2006.

En un entorno urbano consolidado que posee un plan de densificación es muy difícil aprovechar la totalidad del recurso solar, por lo tanto, es importante estudiar el crecimiento urbano desde el acceso igualitario y equitativo a este recurso, ya que afecta la calidad de vida de los habitantes tanto en nivel físico como anímico. Según la ubicación geográfica, la densidad del entorno y la orientación de la trama urbana se deben establecer niveles mínimos de acceso al sol, siendo en sectores habitables al menos de dos horas diarias entre las 10:00 y 14:00 horas solares (Decker, 2012; Gómez Piovano & Mesa, 2017).

Según Decker (2012), la orientación urbana en sentido este-oeste o más conocido como damero español, es más favorable en términos de acceso solar, sin embargo la orientación rotada de los puntos cardinales (grilla de Thomas Edison) permite un mayor desarrollo edilicio por manzana produciendo conos de sombra más extensos en invierno (ver Figura 12), dependiendo de la latitud en la que se ubique este efecto decrece en latitudes superiores o lejanas al Ecuador.

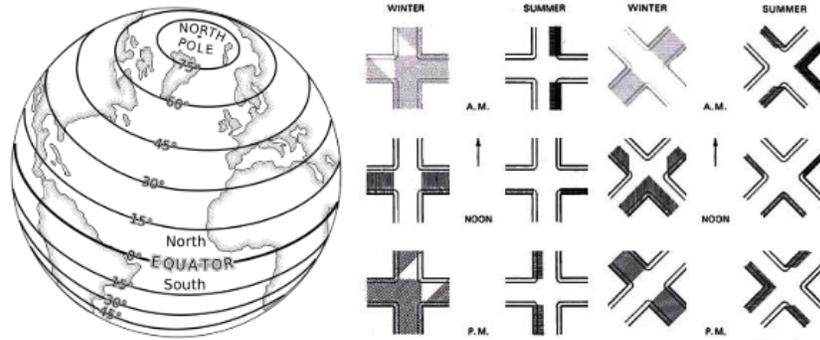


Figura 12 Acceso solar según la orientación urbana.

Fuente: De Decker, 2012.

2.4 Envoltente y obstrucción solar

La envoltente solar se define como un espacio imaginario cuya geometría depende del tamaño, la forma, la pendiente y, la orientación del edificio y la parcela, trazado a partir de las alturas edificadas en la manzana y los ángulos de la geometría solar, estudiado en cada sector que se desee analizar, ya que cada edificación debe tener cubierto su derecho de soleamiento y a su vez, no debe condicionar este derecho al resto de edificaciones ni espacio público de una ciudad como se observa en la Figura 13.

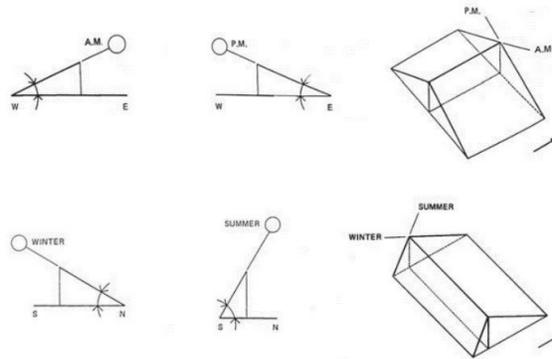


Figura 13 Construcción gráfica de la envoltente solar

Fuente: Knowles, 1981.

Adicionalmente, define las alturas máximas de los edificios para que estos no obstruyan el acceso solar de las edificaciones existentes. Este sistema es una forma de asegurar el acceso solar urbano, tanto para la energía como para la calidad de vida de las personas, y puede ayudar a regular el desarrollo urbano dentro de los límites que establece la trayectoria solar (Knowles, 2003).

La obstrucción solar consiste en una sombra arrojada que produce uno o varios elementos (edificios, vegetación u otro impedimento) sobre la posición del observador en un momento determinado suponiendo un grave riesgo de interrupción de acceso solar del envolvente de un elemento (García & García, 2012) (Ver Figura 14).

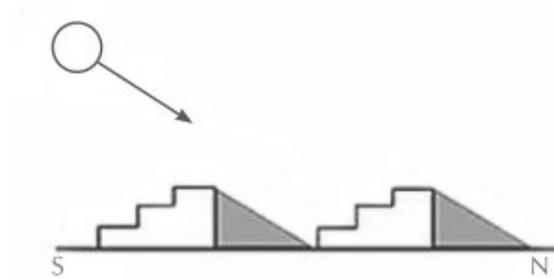


Figura 14 Relación geométrica en Acoma. Origen de la envolvente solar.

Fuente: Knowles, 2003

2.5 Radiación solar

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol incidente en la superficie terrestre. Al atravesar la atmósfera, cerca de 53% de la radiación es reflejada y absorbida por el nitrógeno, oxígeno, ozono, dióxido de carbono, vapor de agua, polvo y las nubes. Por lo tanto, al pasar esta radiación por una distancia de 150 millones de km, se reduce y el final planeta recibe energía promedio a 3×10^{17} kWh al año, equivalente a 4000 veces el consumo del mundo entero en un año (7×10^{13} kWh/año), lo cual nos indica la enorme potencia del Sol (NASA, 2021).

2.5.1 Tipos de Radiación

Es importante identificar los tipos de radiación solar para establecer la influencia urbana de cada tipo (Inzunza, 2012):

- Radiación Directa: es la radiación que llega directamente del sol sin cambios de dirección, esta radiación genera sombra cuando es bloqueada por objetos opacos que intervienen su dirección.
- Radiación Difusa: Parte de la radiación que atraviesa la atmosfera es reflejada o absorbida por las nubes, partículas de polvo atmosférico, montañas, arboles, edificios, el propio suelo, etc. Esta radiación se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones. Este tipo de radiación no produce sombra. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, debido a que confrontan el cielo, las superficies verticales reciben menor cantidad.
- Radiación Global: es la radiación total. Es la suma de todas las radiaciones. En un día despejado, con cielo limpio, la radiación directa es preponderante sobre la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa.

Al tratarse de acceso solar, la radiación solar directa y difusa juegan un papel importante en la mayoría de ciudades para iluminar espacios y edificaciones (Franco-Medina & Bright-Samper, 2016) , por lo tanto el nivel de iluminación por el factor de cielo visible (Sky View Factor) en un punto cualquiera del espacio está estrechamente vinculado con la cantidad de cielo desde este mismo punto (Ver Figura 15), el cual debe estar normalizado como porcentaje (Beckers, 2007).

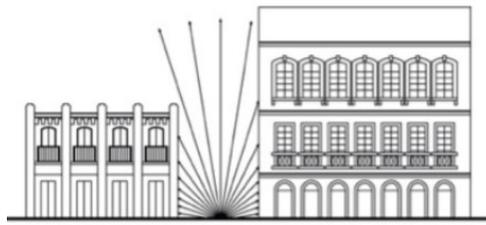


Figura 15 Factor de vista de cielo (SVF) entre edificaciones.

Fuente: Mariuxi & Santiago, 2019

2.5.2 Cuantificación de radiación

La cuantificación de radiación solar se realiza mediante un efecto acumulativo de la iluminación que resulta de un único cielo y las condiciones del sol, es decir la medida de toda la luz del sol y del cielo que incide en una superficie todo un año. Para esto se debe sumar la radiación solar directa y la radiación difusa como una medida total de acceso solar en superficies horizontales y verticales. Esta

medición entrega la irradiación total anual cuyas unidades son Watts-horas por m² al año (Franco-Medina & Bright-Samper, 2016) .

2.5.3 Sistema de referencia para la evaluación solar

La evaluación del acceso solar se ha definido mediante parámetros representativos para describir el comportamiento solar de un tejido morfológico urbano con la finalidad de realizar valoraciones y comparaciones objetivas. (Curreli, 2016, p. 133) Los parámetros de evaluación se definen en la siguiente tabla:

Tabla 4 Parámetros de referencia para evaluación del comportamiento solar del tejido urbano

E	Ganancias Solares	[kWh]	Es la cantidad global de energía solar colectada por una superficie en un determinado intervalo de tiempo. Se considera tanto su valor teórico (ET), es decir en ausencia de las obstrucciones, como su valor real (ER), calculado considerando el enmascaramiento de los obstáculos externos.
F	Potencial de Captación Solar	[kWh/m ²]	Es a relación entre las ganancias solares y el área de una superficie expuesta. En otras palabras, expresa las ganancias energéticas por unidad de superficie. Se considera tanto su valor teórico (FT), es decir en ausencia de las obstrucciones, como su valor real (FR), calculado considerando el enmascaramiento de los obstáculos externos.
P F= E/S			
Donde; E= Ganancias Solares S= Área de la superficie expuesta			
P	Potencial de Aprovechamiento Solar	[kWh/m ²]	Representa la cantidad de energía colectada ‘potencialmente’ aprovechable para un determinado uso solar. Se calcula como relación entre unas ganancias solares y una ‘superficie de aprovechamiento’ que puede variar según el uso del sol que se considera.
Hs	Horas de soleamiento	[h]	Es el promedio de las horas de exposición una superficie durante un determinado intervalo de tiempo.
Io	Influencia de obstrucciones	[%]	Es la diferencia, en términos porcentuales, entre el potencial solar (o las ganancias solares) de una superficie en ausencia de obstrucciones y el potencial solar (o las ganancias solares) calculado considerando las sombras arrojadas por los obstáculos externos.
			$I_o = [(E_T - E_R) / E_T] \cdot 100$
			$I_o = [(F_T - F_R) / F_T] \cdot 100$
Fc	Factor de Cielo	[%]	Es el porcentaje medio de ángulo sólido de cielo visible desde una determinada superficie. Es un factor puramente geométrico

Fuente: Curreli, 2016

2.6 Densificación urbana y acceso solar

El acceso solar es considerado como un factor de sostenibilidad, con gran importancia sobre la calidad de vida de los usuarios de los edificios y del espacio público puesto que afecta a su salud, productividad, confort visual, confort térmico y demandas energéticas para sus actividades cotidianas, lo que incluso les representa un mayor gasto económico (Cárdenas–Jirón & Chang Lou, 2019; Seong et al., 2006).

El desempeño energético de un edificio depende de cinco factores principales: el clima, morfología urbana, diseño del edificio, sistemas eficientes y el comportamiento del ocupante, pero a su vez la orientación de emplazamiento, la densidad urbana, la ratio de altura del edificio y el ancho de la calle impactan en el potencial solar de los edificios debido área de sombra proyectada y el ángulo de penetración solar en el edificio y por lo tanto en el comportamiento energético (Ver Figura 16)(Capeluto et al., 2006; Sanaieian et al., 2014).

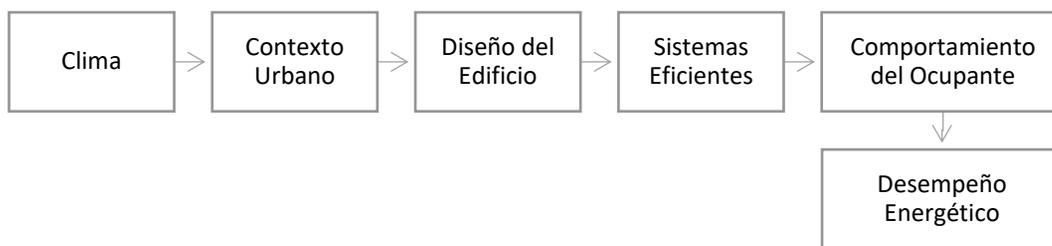


Figura 16 Contribución de los factores para el consumo energético de un edificio.

Fuente: Sanaieian et al., 2014

En la ciudad de Mendoza se evaluó el potencial solar en entornos urbanos y se definió que la relación entre el área de techos y el área de fachada con orientación norte es inversamente proporcional a la densidad volumétrica. Es decir que el porcentaje de captación solar a través de la fachada norte en edificios es un tercio de la captación solar en techos de edificaciones de baja densidad, con un factor de eficiencia del 33%. Esto debido a que las fachadas potencialmente colectoras no podrán ser destinadas en su totalidad a la captación solar por aspectos constructivos ya que se exige un porcentaje necesario de masa térmica expuesta y se debe considerar las obstrucciones solares de los otros edificios (Mesa & de Rosa, 2000).

Capítulo 2: Marco Teórico

Un estudio realizado en la Escuela de Ciencias e Ingeniería de la Energía de la Universidad Central del Sur en China (D. Li et al., 2015) analiza los porcentajes de rendimiento y potencial solar en edificios residenciales urbanos en Beijing (39.8° N, 116.3° E), considerando el ratio de los edificios, el espaciamiento entre los mismos, la densidad en altura, la orientación de emplazamiento. Demostrando que la influencia del sombreado mutuo de los edificios es más significativa en aplicaciones solares fotovoltaicas que en solar térmica, ya que un escenario de alta densidad edilicia que se encuentra agrupado el rendimiento de un sistema fotovoltaico se ve afectado en un 47%, y el solar térmico hasta un 26% comparado con un edificio aislado, porcentajes con los cuales es posible que aún satisfagan parte de la demanda eléctrica y térmica anual del edificio, aunque el tiempo de recuperación de inversión aumente en promedio 6 años más.

Por otro lado, en la ciudad de Bogotá (4°38'N, 74°E), producto de un plan urbanístico de transformación, recuperación urbana y redensificación en altura produjo que, en un barrio tradicional de la capital colombiana, se permita el incremento de edificabilidad de hasta 60 pisos en una zona que era de 5 a 20 pisos (Ver Figura 17). El movimiento solar es perpendicular en esta zona, al estar ubicada cercana a la zona ecuatorial, por lo que el producto de este incremento de altura en la zona, con un edificio de 67 pisos o 240m de altura representa una reducción entre el 38,7% y 71,3% de horas de sol en invierno en un radio de 150 m a la redonda (Franco Medina et al., 2016).

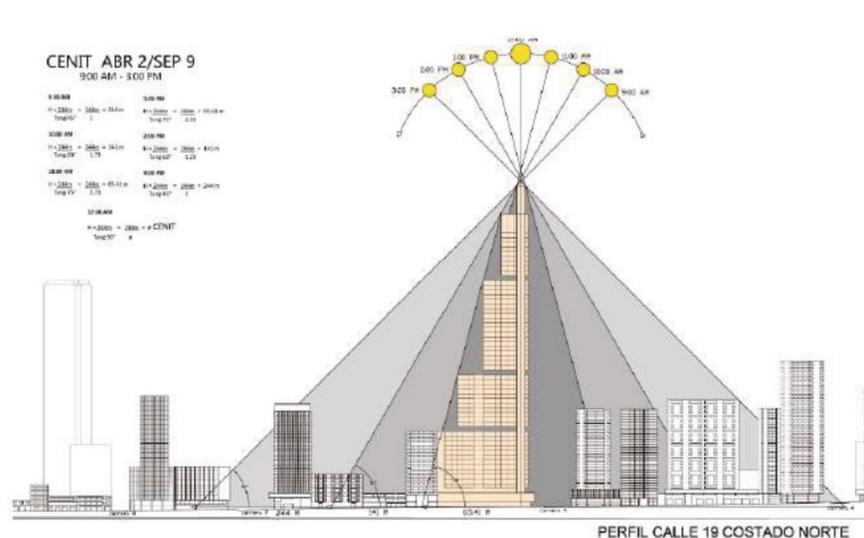


Figura 17 Proyección de sombra Edificio Bacatá, Bogotá.2016

Fuente: Estudio de acceso solar en Bogotá. Franco Medina et al., 2016

En un contexto más cercano a Quito en la ciudad de Loja, provincia de Ecuador, se determinó que en edificaciones de dos pisos el potencial solar alcanzado en fachadas este-oeste sin obstrucciones solares es de 2,4 kWh/m²día, mientras que bajo condiciones de obstrucción solar por los propios edificios de la manzana (ratio=1) la reducción del potencial solar es del 30%. Se evalúan tres tipos de densificación en los cuales existe incrementos de edificación hasta los 4 pisos: de forma equitativa (toda la manzana incrementa un piso), uniforme (se incrementa un piso sobre los dos iniciales y se simplifica la geometría de terrazas) y una densificación puntual (aleatoriamente se incrementa en dos pisos un solo edificio manzana de estudio) lo que produce una reducción del 16%, 23% y 28% respectivamente de la capacidad de captación inicial (Salas Chimbo et al., 2019) (Ver Figura 18).

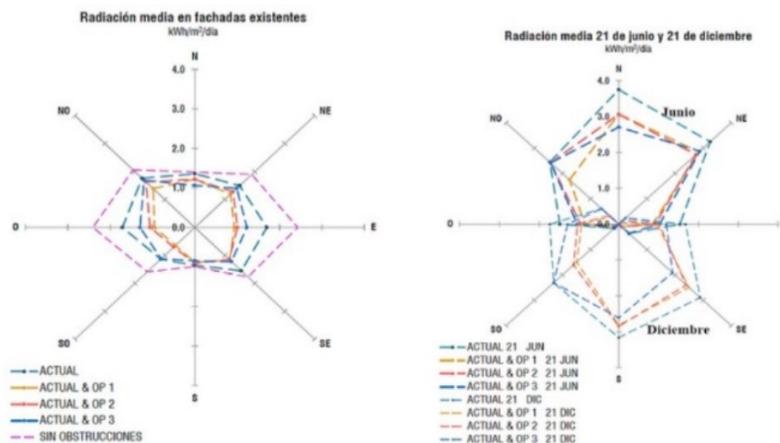


Figura 18 Acceso Solar por niveles. Escenario de densificación uniforme.

Fuente: Salas Chimbo et al., 2019.

2.6.1 Demanda de Iluminación

El bloqueo solar en ciertos países es inicialmente considerado como una violación a los derechos de los habitantes en su confort visual, térmico y económico, percibido como externalidades negativas que reducen la calidad de vida y el bienestar de los ocupantes que en muchos casos provoca desplazamiento social bajo un concepto erróneo de renovación urbana y gentrificación (Inzulza et al., 2017).

Uno de los factores que se ve deteriorado es el confort lumínico e iluminación natural de los espacios cuando la reducción de luminosidad y radiación no han sido planificados desde una perspectiva

Capítulo 2: Marco Teórico

urbana ni proyectual. Sin la intención de hacer una reseña cronológica de los estudios realizados en este campo es importante mencionar que a pesar de la dificultad de los análisis de la demanda de iluminación, calefacción y refrigeración de las viviendas por las limitaciones de los software al no realizar simulaciones integrales, o al difícil discernimiento de la influencia del comportamiento del ocupante sobre los resultados, es un campo que está en constante estudio y análisis (Decker, 2012; Kesten & Eicker, 2010; Tereci et al., 2013).

Desde un punto de vista de disponibilidad de iluminación natural analizando distintas formas urbanas para tener un aprovechamiento del suelo óptimo a finales de los años 60' Leslie Martín y Lionel March clasificaron las formas urbanas según la iluminación natural (pabellones, terrazas, terrazas-patios, pabellón patios y patios). Gupta en 1987, Blowers en 1993 y Steemers et al. en 1997 realizaron una serie de estudios de irradiancia en fachada sobre estas clasificaciones (Kesten & Eicker, 2010).

Steeemers (2003) utilizó treinta variables de diseño para evaluar el impacto de la geometría de los edificios sobre iluminación y consumo de energía térmica, desarrollando el método LT, que se utiliza para estimar la demanda de energía para iluminación, calefacción, refrigeración y ventilación en edificios. Cuando el método LT se combina con técnicas de procesamiento de imágenes, se puede utilizar para predecir el rendimiento energético de diferentes densidades urbanas. Eugenio Morello, Virginia Gori y otros (2009) calcularon el rendimiento de calefacción e iluminación natural de seis configuraciones de diferentes bloques urbanos según la tipología de patio con el mismo método. Adicionalmente, Mardeljevic y Rylatt (2000) desarrollaron el método de trazado de rayos para comprender la irradiación en un entorno urbano complejo considerando horas mínimas de acceso solar. Compagnon (2004) desarrolló sus estudios de irradiación con un método de distribución de radiación solar periódica para analizar si es viable el uso de estrategias activas y pasivas en un entorno urbano consolidado.

Analizar los impactos de los conos de sombra en el área urbana requiere de muchas variables que en la mayoría de casos, ya sea con procedimientos de cálculo simplificados o simulaciones dinámicas, requiere un profundo entendimiento del entorno urbano, su consolidación y sus ventajas, sin embargo en ningún caso puede ser analizado como una serie de edificios de forma

separada si no como grandes células que van conformando las distintas partes del cuerpo (Kesten & Eicker, 2010; Tereci et al., 2013).

Por ejemplo, en la ciudad de Santiago se ha analizado este factor obteniendo como resultado que, producto de los conos de sombra de edificios de gran altura sobre otros de menor altura tienen pérdidas de radiación directa en fachada del 48% promedio anual, pérdida de radiación difusa de 9% en superficies horizontales y del 6% en superficies verticales lo que se traduce en un deterioro de la calidad lumínica de los espacios (Miranda Iñiguez, 2016).

En Hong Kong, una de las ciudades más pobladas del mundo con un crecimiento constante de población y desarrollo de rascacielos de vivienda, con separaciones mínimas entre edificios, demuestra que el impacto del detrimento del acceso solar es severo, ya que al evaluar el consumo energético de estos se expone que en el periodo de análisis (7:00-18:00 h) asumiendo que en los pisos inferiores la iluminación artificial está activada solamente la mitad de horas del período, el consumo de electricidad anual adicional es de 470kWh cuando las cargas de iluminación eran entre 36 y 200W sin obstrucciones solares ver Figura 19 (D. H. W. Li et al., 2006).

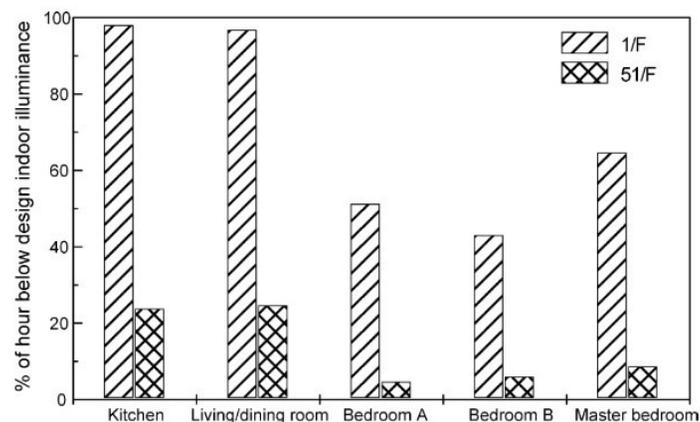


Figura 19 Porcentaje de horas por debajo de los rangos de iluminación interior. Piso 1 y 51

Fuente: D. H. W. Li et al., 2006.

2.6.2 Demanda de Calefacción

La relación entre el clima y la ciudad es directa; la ciudad influye los micro climas urbanos a través de su tipología, formas de implantación, materialidades empleadas y a su vez, el clima interfiere en

Capítulo 2: Marco Teórico

el desempeño y las necesidades que requiere cubrir un edificio producto del clima: por lo tanto, el acceso solar es una constante de suma importancia para el confort de sus ocupantes y también para que las demandas energéticas suplan dicho confort (Van Esch et al., 2012).

Como se ha mencionado anteriormente, el acceso solar depende de varios factores como la orientación de las fachadas, la morfología urbana, el tipo de envolvente, entre otros (ver más atrás Figura 16), para esto, el Efecto Entre Edificios (EEE) se ha desarrollado para entender la complejidad del impacto mutuo cuando existe cercanía entre ellos (Han et al., 2017). Los estudios desarrollados con sistema EEE o IBE por sus siglas en inglés (Inter Buildings Effects) han demostrado que la demanda de iluminación y calefacción pueden incrementar hasta en un 42% producto de las proyecciones mutuas de sombras entre los edificios (Ibid., 2017).

Según Han et al., (2017) a través de un estudio teórico en el contexto urbano de una grilla de edificios de 9x9 y una ratio igual a 2 en Miami, FL; Washington, D.C y Minneapolis, MN, demostró que el impacto de sombreado mutuo sin refracción (IBE w/o R) es más importante que el de la refracción sin sombreado (IBE w/o S). El incremento de la demanda anual en iluminación es de hasta 2,3%, mientras que el incremento en la demanda de calefacción en estas mismas ciudades es de hasta el 30,1%, siendo mucho más representativo dentro del análisis de consumo energético.

Control building's energy consumption in Miami, FL.				
Simulation type	Lighting (kW h)		Heating (kW h)	
IBE	4287.0		12.1	
IBE w/o R	4350.3	+1.5%	15.7	+30.1%
IBE w/o S	4132.2	-3.6%	4.6	-61.7%

Control building's energy consumption in Washington, D.C.				
Simulation type	Lighting (kW h)		Heating (kW h)	
IBE	4477.8		12491.9	
IBE w/o R	4572.2	+2.1%	13121.7	+5.0%
IBE w/o S	4261.9	-4.8%	9212.7	-26.3%

Control building's energy consumption in Minneapolis, MN.				
Simulation type	Lighting (kW h)		Heating (kW h)	
IBE	4572.1		28228.7	
IBE w/o R	4676.3	+2.3%	28986.1	+2.7%
IBE w/o S	4309.8	-5.7%	23504.1	-16.7%

Figura 20 Consumo de energía en Miami, Washington, Minneapolis.
 Fuente: Han et al., 2017

Capítulo 2: Marco Teórico

Por otro lado, en Holanda se determinó que la influencia de la orientación de la calle (Figura 21) se hace significativa mientras aumenta el ancho de la misma, lo que en una orientación este-oeste en una vía de 25m las viviendas tienen entre 11,8 y 12,9% más de radiación solar que en una vía de 15 m. Esto en época de invierno significa que la demanda de calefacción en un día es de 52,8 kWh mientras que en una vivienda ubicada en una calle de 25 m requiere un 4% menos ya que la ganancia solar se incrementa de 1,9 a 4,9 kWh, siendo significativo si se analiza en torno a las estaciones frías (Van Esch et al., 2012).

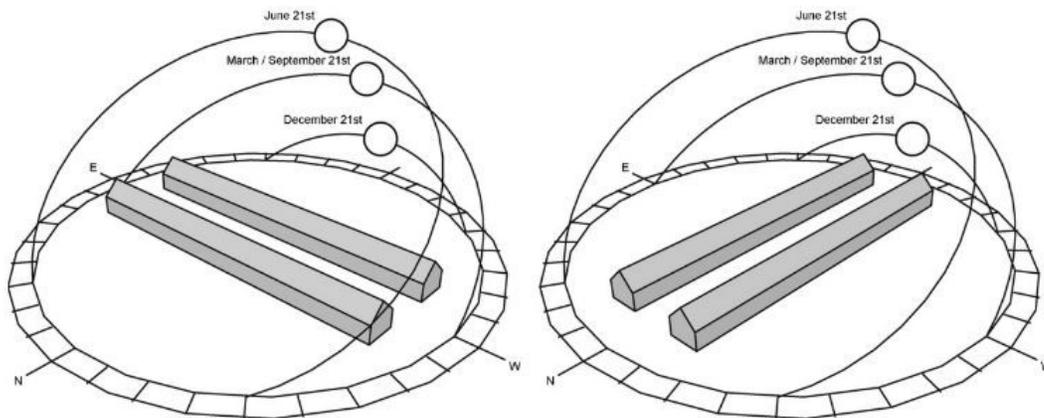


Figura 21 Representación esquemática de la orientación de los cañones urbanos, ancho de calle de 15 m.

Fuente: Van Esch et al., 2012

En términos urbanísticos, uno de los pilares primordiales es la proporción del ancho de vía y la altura de la manzana, vista como una unidad (Figura 22). En proporciones 2:4 (alto: ancho) la demanda de energía por enfriamiento se reduce en un 25% debido a que las ganancias solares en fachadas son menores por las sombras proyectadas de los mismos edificios, tratándose de calles estrechas con respecto a proporciones 1:2; mientras que la demanda energética por calefacción es igual en ambas proporciones. Sin embargo, en proporciones 2:4 las horas de discomfort tanto por calefacción o refrigeración aumentaron en un 30%, lo que significa que las relaciones alto-ancho mayores implican peores condiciones de confort térmico para los ocupantes de los edificios (Braulio-Gonzalo et al., 2016).

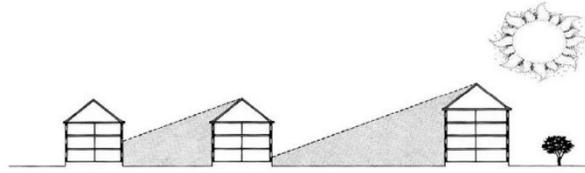


Figura 22 Separación de las filas de vivienda.

Fuente: Butti (1980, p. 163)

Por otra parte, las tipologías de Martin y March permiten la simplificación de las características urbanas usando modelos genéricos, lo que permite desarrollar análisis comparativos entre las distintas tipologías de edificios tal como lo ha hecho Tereci y otros (2013) en Stuttgart, Alemania. En su estudio se manejan distintas densidades de edificación y tres tipologías: unifamiliares de poca altura, casas en hilera y casas multifamiliares. Las densidades del sitio se definieron como las relaciones entre el área construida y el área total del cañón variando entre el 30% y 60%. Se eligió este rango porque por debajo del 30% las obstrucciones son casi insignificantes y por encima del 60% los edificios se acercan de manera poco realista, situación importante a considerar al momento de desarrollar el modelo teórico.

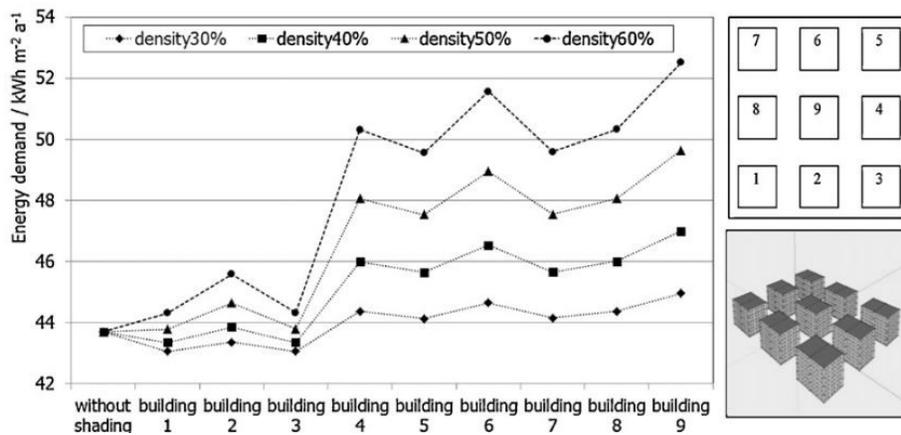


Figura 23 Demanda de calefacción en bloques multifamiliares de acuerdo a distintas densidades.

Fuente: Tereci et al., 2013

Como se observa en la Figura 23, al considerar la posición de un edificio dentro de su entorno urbano compacto la influencia del sombreado es evidente ya que por ejemplo el edificio en el centro de la trama tiene un incremento en su demanda de calefacción del 3% en un escenario de densificación del 30%, sin embargo en el escenario de densificación al 60% existe un incremento de hasta el 20%.

2.7 Conclusiones

Desde las primeras ciudades y a lo largo de la evolución de las mismas en todo el mundo se ha reflejado el constante interés de sus habitantes por el acceso solar con fines económicos, de confort, bienestar, salud y sobre todo de habitabilidad, adaptándose a una morfología y tipología urbana que en ciertos casos no responde a esta necesidad, demostrando así que la energía solar renovable ya sea esta activa o pasiva, tiene una relación directa con la forma, los materiales, volumetría de las edificaciones, alturas, entre otros. Por lo tanto, la energía solar como fuente primaria de la vida humana en las ciudades está estrechamente relacionada con el acceso a esta, pues sin ella no se puede hablar de sostenibilidad urbana.

Las investigaciones de forma urbana, luz natural, confort han sido largamente estudiadas y, en algunos casos ha decantado en normativas y leyes que buscan una igualdad y justicia al acceso solar. En principio estas normativas buscan el confort y bienestar de los habitantes, pero actualmente se ha sumado la variable de gasto energético y la corresponsabilidad del sector edilicio en la crisis climática, por lo que actualmente estos estudios deberán integrar las políticas de eficiencia energética y energías renovables.

El consumo de energía por iluminación y calefacción está directamente ligado a las condiciones geográficas, climáticas, constructivas, etc.; sin embargo, el efecto entre edificios es una condición más a considerar en el diseño, planificación y habitabilidad de las ciudades y edificaciones ya que también están estrechamente ligados al desempeño energético de las construcciones, que en la mayoría de casos producen un incremento en las demandas de iluminación y calefacción pero a su vez un decremento en las demandas de refrigeración. Situación que debe ser analizada para cada emplazamiento y las necesidades del ocupante.

Clima y Condiciones Ambientales

En este capítulo se presenta la situación climática y geográfica de la ciudad de Quito, la cual tiene características peculiares, propias de la ubicación en la línea ecuatorial, la altitud a la que se encuentra y la geografía que la delimita o rodea, específicamente sobre la meseta central.

3.1 Clima

La ciudad de Quito está situada entre las coordenadas geográficas $0^{\circ}58'53''$ latitud norte y $0^{\circ}41'37''$ latitud sur, y entre $77^{\circ}58'53''$ y $79^{\circ}3'27''$ longitud oeste a una altitud de 2.850 msnm sobre la hoya de Guayllabamba entre las laderas del volcán Pichincha hacia el oeste y hacia el este parte occidental por los Andes (DMQ, 2015, p. 30).



Figura 24 Quito. Vista aérea hacia el nor oeste.

Fuente: El Comercio, 2015.

Por su situación geográfica en la línea ecuatorial, Quito no posee estaciones definidas como tal, sino que se define entre época lluviosa y seca. En este clima subtropical de altura el invierno o época lluviosa se da durante los meses de mayo a septiembre y la época de sequía o de verano se da durante los meses de junio a octubre (DMQ, 2015). La precipitación media anual es de 835,6 mm, siendo el mes de abril el que registra mayor precipitación con media multianual de 175 mm (INAMHI, 2017, p. 31).

Capítulo 3: Clima y Condiciones Ambientales

Los vientos predominantes provienen del norte y noreste dependiendo de la época del año, la velocidad promedio es de 6,8 km/h en los meses de junio a septiembre y la velocidad máxima alcanzada es de 10 km/h durante los meses de agosto y septiembre (Ver Figura 25). La humedad relativa máxima es de 78%, una mínima de 63 % y se alcanza de una media anual del 71 % (INAMHI, 2017, p. 31).

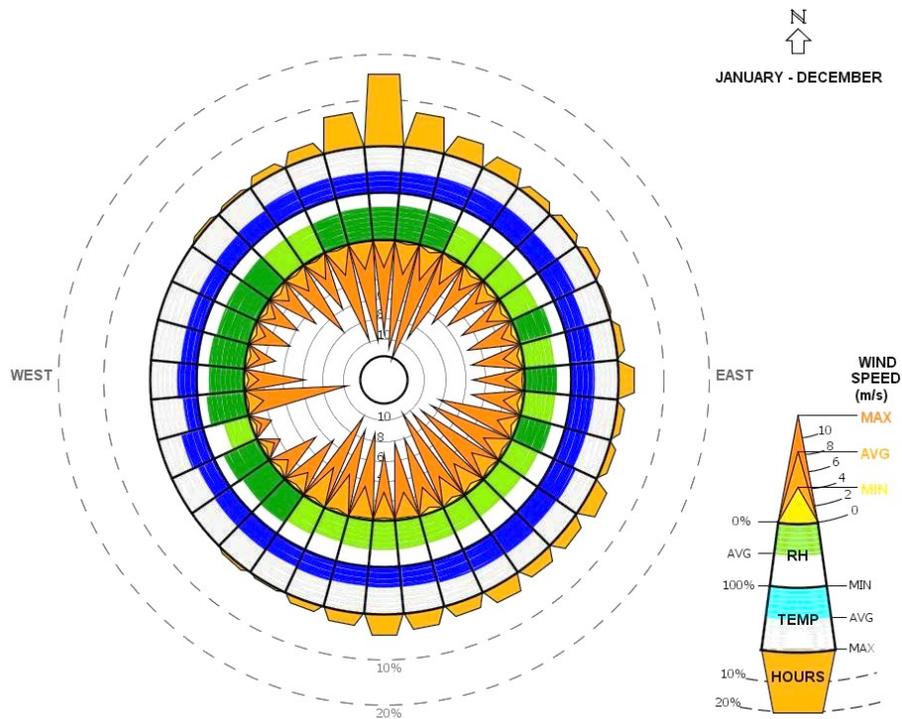


Figura 25 Rosa de los Vientos.

Fuente: Elaboración propia base de datos INAMHI.

3.2 Nubosidad

Quito, durante todo el año tiene una nubosidad media de 6 octas. La ciudad puede pasar de un cielo despejado con altas temperaturas en la mañana a una situación de lluvia y cielo nublado el mismo día por la tarde (INAMHI, 2017). Como se observa en la Figura 26, la época más despejada dura cerca de 4 meses, durante mayo y septiembre el 49% del tiempo se encuentra nublado mientras que el resto del año alcanza el 90% .

Capítulo 3: Clima y Condiciones Ambientales

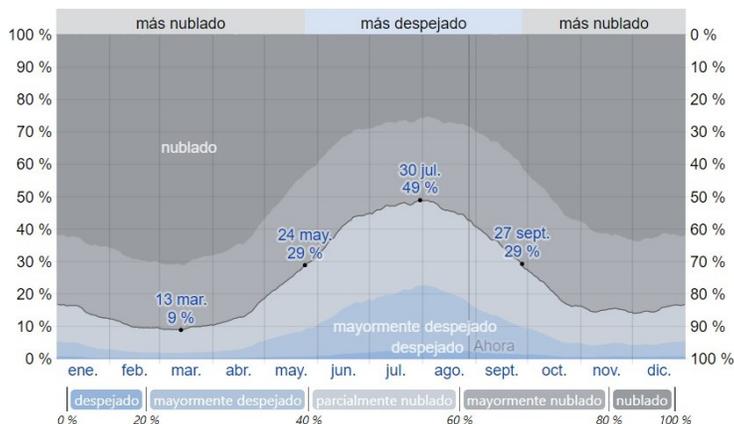


Figura 26 Distribución de nubosidad porcentual-mensual en Quito.

Fuente: Weather Spark.2020

3.3 Temperatura

Debido a su localización geográfica, su topografía y la conformación biofísica de su territorio irregular, Quito, tiene una gran variedad de climas y microclimas. En el valle central se registra una temperatura anual media cercana a los 15°C, con temperaturas máximas y mínimas de 24°C y 8 °C respectivamente, una oscilación térmica diaria de 11,6 °C y una oscilación térmica anual de 0,5°C como se puede ver en la Figura 27 y en la Figura 28 (INAMHI, 2017).

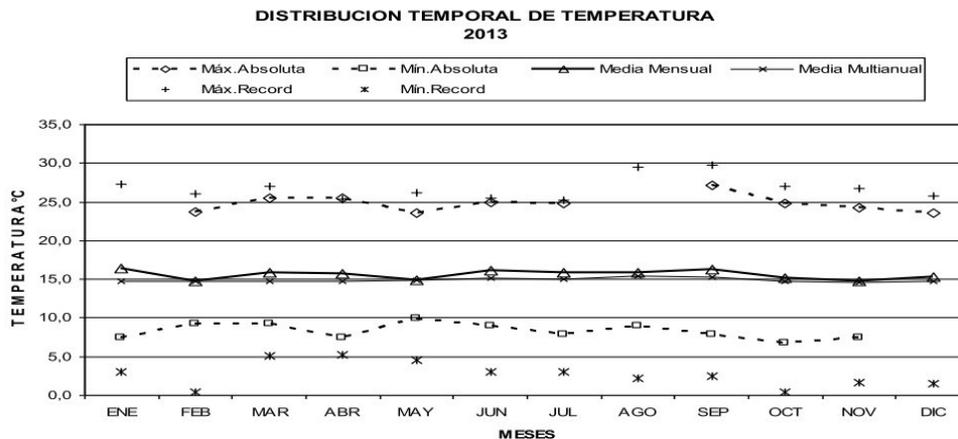


Figura 27 Rangos de Temperatura. Estación Iñaquito 2017.

Fuente: INAMHI, 2017.

Capítulo 3: Clima y Condiciones Ambientales

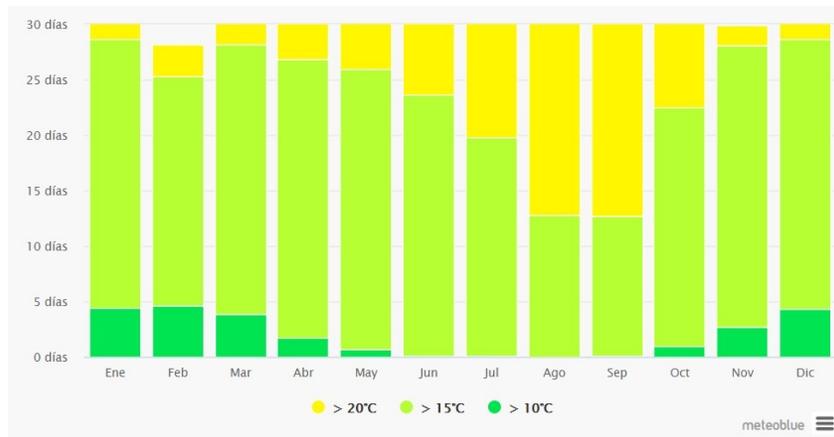


Figura 28 Temperaturas Máximas.

Fuente: Meteoblue, 2020.

3.4 Recorrido Solar

Ecuador y Quito al ubicarse en la línea ecuatorial cuentan con un recurso solar casi constante a lo largo del año, lo cual se considera una ventaja en distintos aspectos energéticos (Ver Figura 29).

La presencia de la cordillera de los Andes crea microclimas que pueden reducir el potencial solar en ciertas regiones, variando desde 2,9 kWh/m² día a 6,3 kWh/m² (Vaca Revelo & Ordoñez, 2019, p. 9).

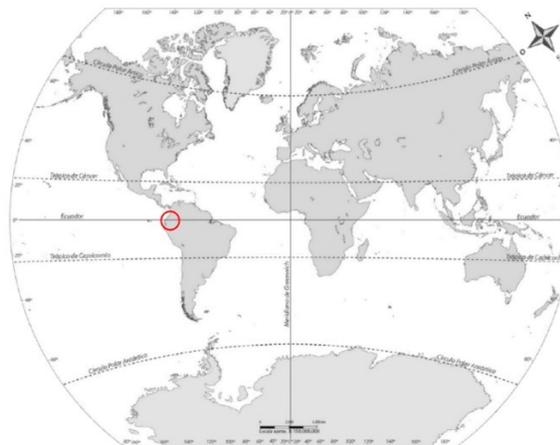


Figura 29 Ubicación geográfica de Quito.

Fuente: (Mariuxi & Santiago, 2019)

Capítulo 3: Clima y Condiciones Ambientales

Por encontrarse sobre la línea ecuatorial el sol alcanza una elevación perpendicular de 90° durante los equinoccios (21 de marzo y 21 de septiembre) y una inclinación de 67 ° para los solsticios, es decir se desplaza 23 ° hacia el sur (solsticio de invierno -21 de diciembre) y hacia el norte (solsticio de verano -21 de junio).

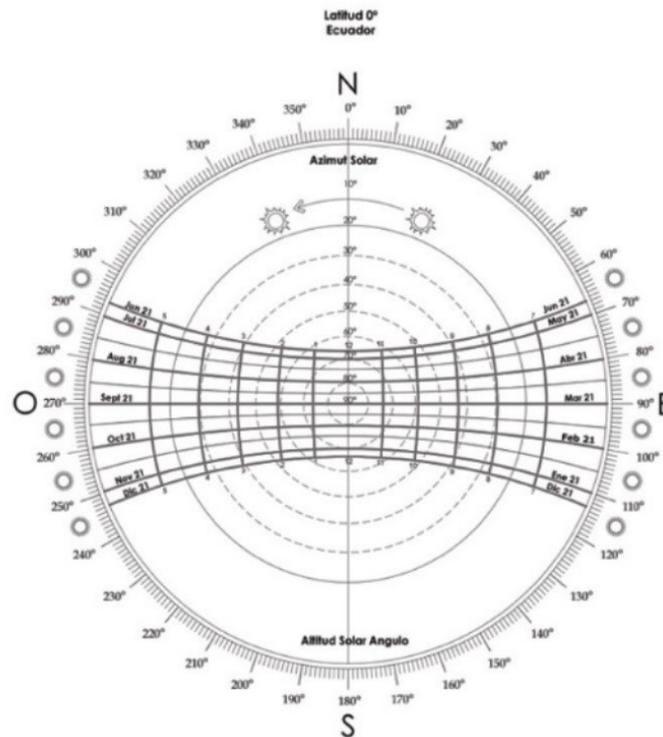


Figura 30 Carta Estereográfica del Ecuador.

Fuente: (Mariuxi & Santiago, 2019).

Como se muestra en la Figura 30 esta trayectoria solar para la latitud de Quito, produce que la duración de horas sol no varíe considerablemente en todo el año, es decir la duración de luz solar son 12 horas diarias.

3.5 Radiación Solar

Según el anuario meteorológico del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (2017) la radiación normal directa es de 1.731 kWh/m² al año, mientras que la radiación global horizontal es de 2.022 kWh/m² al año y la radiación solar difusa es de 814 kWh/m² (Ver Figura 31 y Figura 32).

Capítulo 3: Clima y Condiciones Ambientales

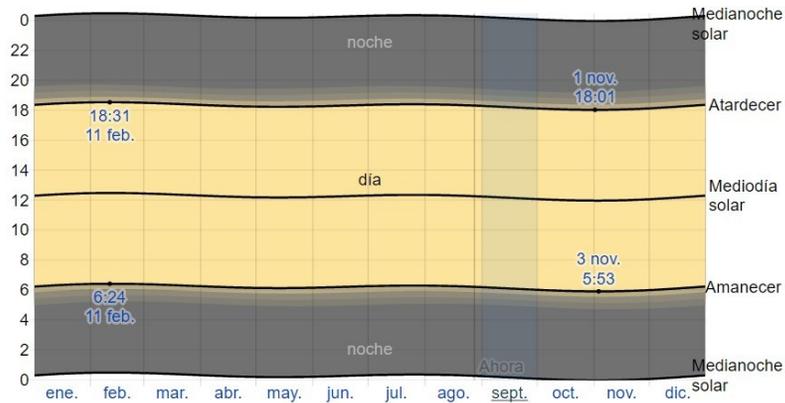


Figura 31 Horas de luz natural.

Fuente: Weather Spark, 2020.

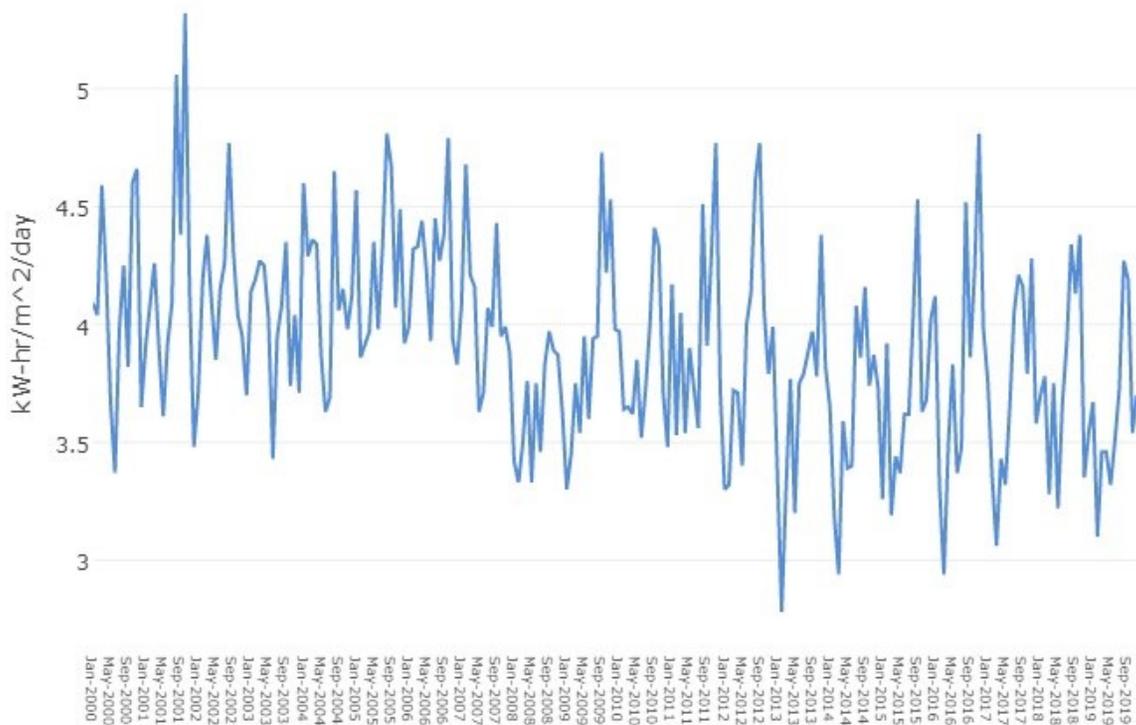


Figura 32 Radiación Solar Global en Quito.

Fuente: NASA Surface Meteorological.2020

A partir de estos datos de radiación, climatología, ubicación se ha demostrado que la cubierta y las fachadas este y oeste de las edificaciones son las superficies que mayor incidencia solar tienen como se observa en la Figura 33 (Cruz Casa, 2017).

Capítulo 3: Clima y Condiciones Ambientales



Figura 33 Incidencia Solar en la latitud 0°.

Fuente: Cruz Casa, 2017

3.6 Iluminancia

El promedio mensual de la iluminancia directa normal es de 22.530 luxes y la global horizontal es de 44.300 luxes, la cual existen registros que en el mes de agosto la misma a alcanzado sobre los 120.000 luxes (Ver Figura 34) (INAMHI, 2017).

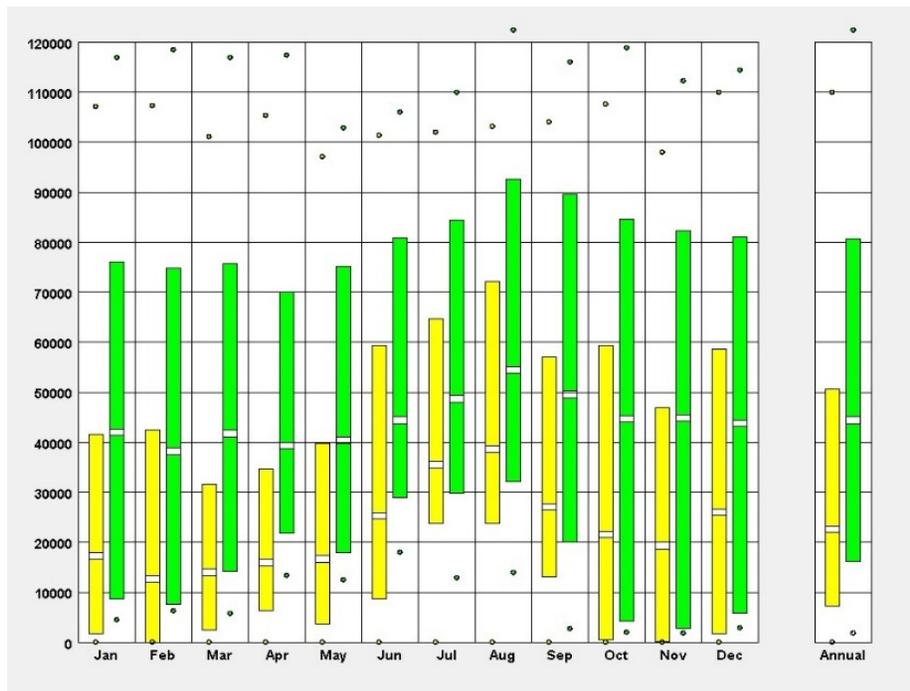


Figura 34 Iluminancia horaria Quito.

Fuente: Elaboración propia base de datos INAMHI.

3.7 Conclusiones

Quito, por su ubicación geográfica sobre la línea ecuatorial con 12 horas de luz diurna constantes en todas las épocas del año, tiene un potencial de aprovechamiento solar valioso como fuente de energía renovable no convencional aplicable en el sector de la construcción tanto para estrategias activas o pasivas.

La ciudad de Quito al encontrarse en el callejón interandino presenta condiciones variables de nubosidad, las cuales afectan directamente las condiciones de iluminancia y la incidencia de la radiación solar directa, lo que sumado a las condiciones morfológicas urbanas son variables importantes a considerar en el diseño y desarrollo urbano arquitectónico de la ciudad.

Las bondades climáticas de la ciudad permiten una amplia aplicación de sistemas constructivos, ya que la oscilación térmica anual es baja (5°C) lo que representa condiciones mínimas constructivas para mantener el confort térmico en sus habitantes.

Es importante mencionar que las condiciones climáticas de Quito, no justifican el uso de refrigeración, debido a que las temperaturas en bajas anuales son más recurrentes que las altas temperaturas, y aún así se encuentran muy cercana a la línea de confort de 25°C.

Contexto Urbano y Edificatorio

La construcción de la primera línea de metro de Quito, se ha tomado como principio de algunos planes urbanísticos de redensificación en altura que buscan incrementar la densidad poblacional en la meseta central de la ciudad, con el fin de reducir la falta de acceso a servicios, tráfico, especulación y depredación del suelo, deterioro del paisaje natural y suelo agrícola. Esto representa una situación de cambio urbano importante en la ciudad, ya que la altura actual de la ciudad oscila entre los 8 y 12 pisos de edificación.

4.1 Distrito Metropolitano de Quito

La ciudad de Quito es la capital de la república del Ecuador y de la provincia de Pichincha, se encuentra a una altitud de 2.850 m.s.n.m. y tiene una superficie de 4.183 km² y alrededor de 2,8 millones de habitantes según el censo de población y vivienda del 2010 realizado por el INEC (Gobierno Provincial de Pichincha, 2017). Se ha desarrollado de forma longitudinal debido a su fuerte topografía y presencia de varias quebradas por lo que tiene más de 80 km de largo y 5 km de ancho en el eje norte-sur. Está situada al lado occidental de la Cordillera de los Andes por lo que está rodeada de doce volcanes.

Quito se asienta sobre una topografía muy compleja, lo que en tiempos de las primeras poblaciones indígenas y posteriormente de los incas y españoles significó un territorio estratégico para importantes rutas de comercio, también por la presencia de varias fuentes de agua y una tierra muy fértil que al estar localizada en las montañas permitía una visión total de su entorno (Blasco, 2013).

El modelo urbano abstracto de la ciudad parte desde su fundación española en 1534, donde el modelo de “damero” no se puede implantar al igual que en el resto de ciudades españolas o colonizadas ya que las grandes quebradas y fuertes pendientes de laderas obligaron a la adaptación de este damero deformándolo hasta encajar con el relieve como se observa en la Figura 35.

Capítulo 4: Contexto Urbano y Edificatorio



Figura 35 Plano de Quito en 1735.

Fuente: Blasco, 2013.

Con el crecimiento de la ciudad esta retícula ortogonal se fue modificando y adaptando a los intersticios entre quebradas y pendientes, obligándola a desarrollarse de forma longitudinal separando el norte del sur por la presencia del centro histórico así como se muestra en la Figura 36 (Patrimonio Cultural de la Humanidad, 1978). Actualmente es el resultado de un complejo proceso socio-espacial y varios planes de desarrollo urbano que en algunos casos resultaron tardíos en cuanto al control del crecimiento de ciertas zonas de la ciudad (Carión & Erazo Espinosa, 2012).



Figura 36 Quito en la década de 1940².

Fuente: Blasco, 2013.

² En rojo se encuadra el centro histórico.

Capítulo 4: Contexto Urbano y Edificatorio

La acelerada expansión del área urbana junto con la falta de planificación y control por parte de las autoridades municipales ha provocado que Quito se convierta en una ciudad dispersa y poco homogénea con importantes problemas de movilidad, accesibilidad a servicios y equipamiento.

A través de su crecimiento urbano presenta tres modelos de ciudad. Como se aprecia en la Figura 37, hasta el año 1904 se evidencia un desarrollo concéntrico, siendo los barrios las células de la ciudad; el claro ejemplo es el Centro Histórico lleno de servicios, funciones administrativas, económicas y religiosas, lo que se replica en la mayoría de parroquias de la ciudad (Carrión & Erazo Espinosa, 2012).

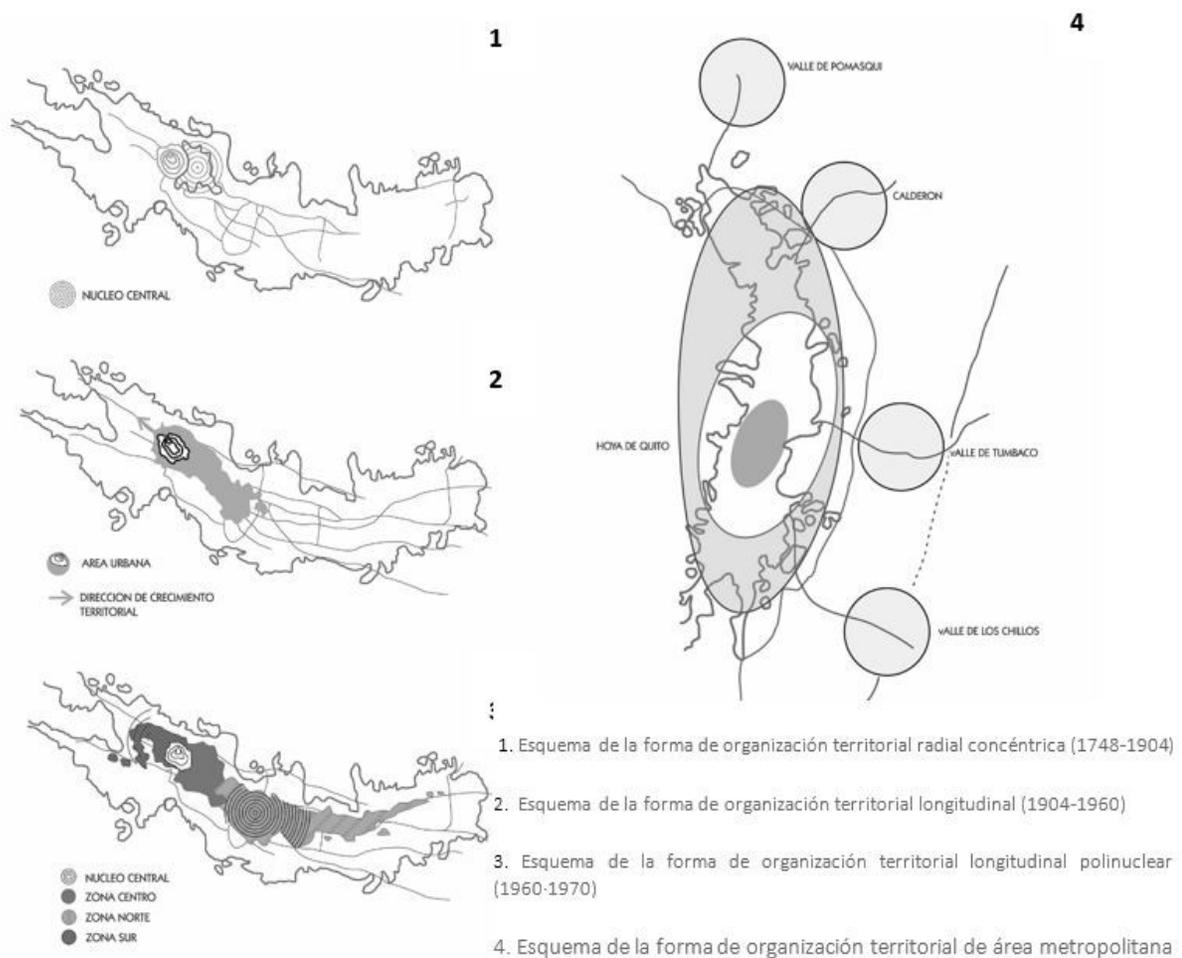


Figura 37 Esquema del crecimiento urbano de Quito.

Fuente: Carrión & Erazo Espinosa, 2012.

Capítulo 4: Contexto Urbano y Edificatorio

Posteriormente y hasta la década de 1960 se desarrolla un modelo longitudinal, donde aparece las zonas industriales a la periferia de la ciudad y aumenta los emplazamientos habitacionales de clase alta hacia el norte y de clase obrera y baja hacia el sur debido a una fuerte migración de la población del campo a la ciudad. Finalmente, desde 1990 hasta la actualidad, se desarrolla un modelo disperso producto de la fuga de las externalidades negativas del desarrollo lineal como: tráfico vehicular y contaminación ambiental por lo que se inicia la conurbación urbana y ocupación del suelo agrícola convirtiéndolo en residencial incluso afectando a corredores ecológicos (Ibid., 2012).

4.2 Antecedentes Normativos

El Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de la ciudad de Quito 2015-2025 busca la construcción de un modelo territorial compacto y denso en el área urbana, a través del aumento de la densificación edificatoria y poblacional. El PDOT busca evitar la continua expansión en la meseta superior y de los valles bajos, modo de crecimiento actual que ha dejado varios vacíos urbanos, sub utilizados y una trama muy porosa lo que contradice la lógica de la compactación que una ciudad asentada en una geografía tan compleja como la de los Andes debería tener.

Los servicios financieros, legales, administrativos, equipamientos educacionales, de salud, así como la vivienda de alta densidad se han posicionado en lo que se llama el Hiper Centro de la ciudad (Ver Figura 38 y Figura 39), lo que ha dejado al resto del territorio desabastecido y con fuertes problemas de movilidad (PMDOT, 2015).

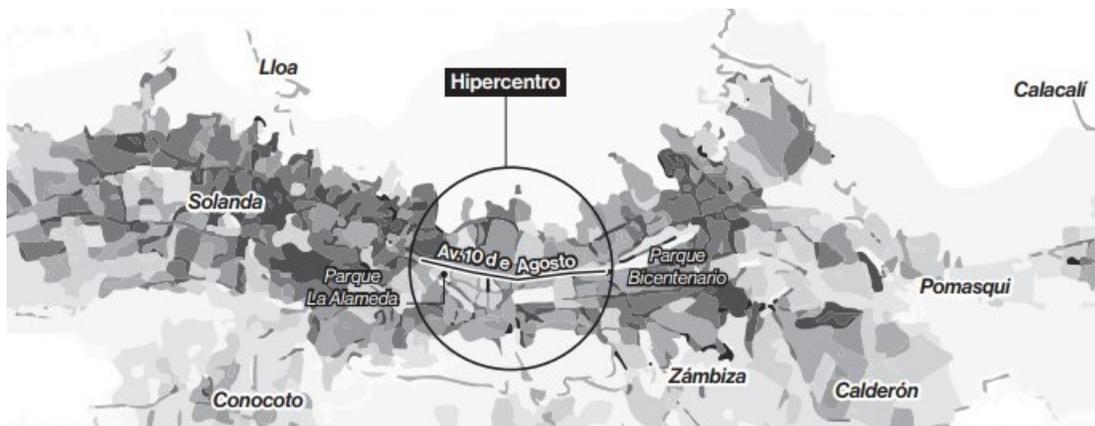


Figura 38 Zona del hipercentro de Quito.

Fuente: Universidad Central/El Comercio, 2019.

Capítulo 4: Contexto Urbano y Edificatorio



Figura 39 Sector de La Carolina. Hipercentro de Quito.

Fuente: Uribe & Schwarzkopf, 2020.

Este plan de consolidación urbana se promueve y respalda mediante la implementación de la primera línea del Metro de Quito (PMDOT, 2015), que crea oportunidades de nuevas centralidades multifuncionales, dinamismo y reinversión inmobiliaria, nuevas plazas de empleo y desarrollo de proyectos con conciencia ambiental, reduciendo a su vez la falta de acceso a servicios, tráfico, especulación y depredación del suelo, deterioro del paisaje natural y suelo agrícola.

A través de una perspectiva de la movilidad como elemento articulador entre el desarrollo y el territorio, el Metro de Quito aprovecha la disposición de los nodos de transporte (estaciones del metro y de los corredores exclusivos) para consolidar zonas multimodales y nuevas centralidades con un incremento de la densidad poblacional, espacio urbano y servicios. Para esto la Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda (STHV) de forma muy incipiente en el año 2011 establece parámetros de sustentabilidad bajo la figura de incremento de edificabilidad en la Ordenanza Metropolitana No. 172 reformada por la Ordenanza Metropolitana No. 0432 (STHV, 2011) .

En el año 2016 y 2017, la STHV expide resoluciones administrativas, dentro del plan de resiliencia y cambio climático del Distrito Metropolitano de Quito, para los proyectos inmobiliarios ubicados en las áreas de influencia de las estaciones de metro (ver Figura 40), con parámetros de evaluación de eficiencia ambiental en materia de agua, energía, aportes tecnológicos, espacio público, entre otros. Mediante un sistema de calificación y puntuación se habilita el incremento de pisos por sobre el Plan de Uso y Ocupación del Suelo (PUOS), como estrategia de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (DOT).

Capítulo 4: Contexto Urbano y Edificatorio

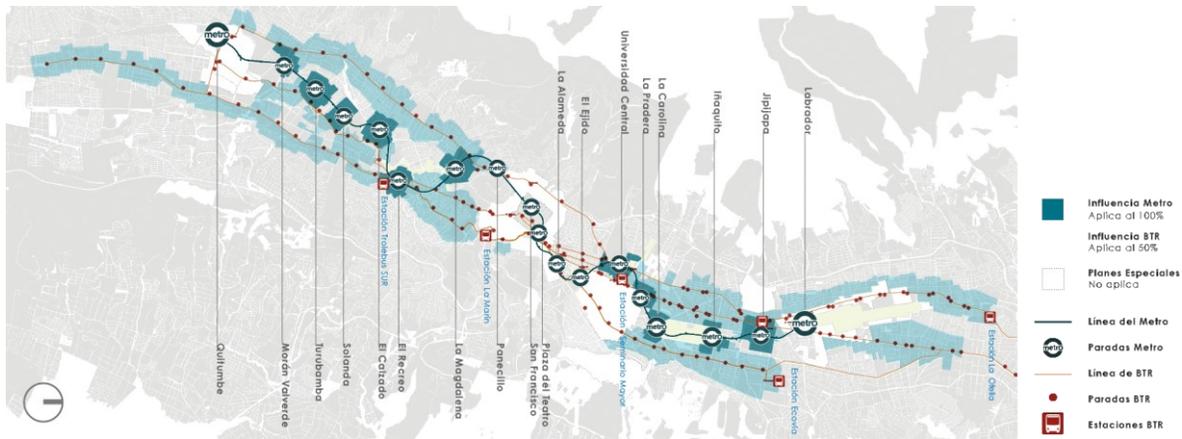


Figura 40 Mapa de zonas de influencia de METRO.

Fuente: Uribe & Schwarzkopf, 2020.

4.3 Ordenanza Metropolitana No. 003

En la ciudad de Quito, en cuanto a la huella de carbono se estima que las emisiones de gases de efecto invernadero alcanzan 5.164.946 ton CO₂eq, de lo que el 56% corresponde al sector del transporte, 20% al sector residencial, comercial e institucional, 13% al sector de residuos sólidos y 11% al sector industrial (Ordenanza Metropolitana No. 003, 2019), para esto el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito ha establecido una herramienta denominada de “Eco-Eficiencia”.

Esta herramienta busca promover el desarrollo de edificios alineados a los objetivos de reducción de las huellas ambientales que consuman menos recursos de la ciudad a través de una serie de parámetros de eficiencia ambiental en materia de agua, energía, aportes tecnológicos, espacio público, entre otros, objetivamente calificados mediante un sistema de puntuación vinculado a una Matriz de Eco-eficiencia. Estos edificios llamados “Eco-Eficientes” podrán incrementar el número de pisos por sobre lo establecido en el PUOS bajo la figura de suelo creado prevista en el literal d) del artículo (96) de la Ordenanza Metropolitana No. 172, reformada por la Ordenanza Metropolitana No. 0432.

La ordenanza No. 003 define la eco-eficiencia como el conjunto de conceptos y estrategias que promueven el desarrollo urbano sostenible mediante edificaciones que reducen el consumo de agua, traten y reutilicen aguas residuales, aprovechen el agua lluvia, optimicen el consumo de energía eléctrica, clasifiquen y gestionen residuos sólidos, construyan con materiales con bajo impacto e incluyan criterios de diseño bioclimático tal como se muestra en la Tabla 5 Parámetros de

Capítulo 4: Contexto Urbano y Edificatorio

la Matriz de Ecoeficiencia. Por tanto, las construcciones Eco-Eficientes son aquellas que incorporan en su diseño, construcción y funcionamiento las estrategias debidamente calificadas una matriz.

Tabla 5 Parámetros de la Matriz de Ecoeficiencia.

Parámetro	Obligatorio Cumplimiento*	puntos extra	Escala del Proyecto				
			Pequeña 2-6	Media 7-12	Grande 13-18	Extra Grande +19	
			Peso	Peso	Peso	Peso	
1	Porcentaje de área permeable	NO	3 (Pequeña y Media)	n/a	n/a	3,3	3
2	Porcentaje de agua lluvia retenida	SI	2 (Todos)	9,5	9,0	8,7	8
3	Eficiencia en el consumo de agua	SI	-	7,3	6,8	6,5	6
4	Reutilización de aguas grises	NO	3 (Pequeña, Media y Grande)	n/a	n/a	n/a	7
5	Reutilización de agua lluvia	NO	-	8,6	7,9	7,6	8
6	Eficiencia en el consumo de energía	NO	-	6,1	5,7	5,4	5
7	Balance consumo/generación	NO	-	3,7	3,3	3,3	3
8	Espacios para comercios y servicios en planta a nivel de acera	SI	1 (Todos)	4,9	4,4	4,3	4
9	Diversidad de usos	SI	-	n/a	7,9	7,6	7
10	Estacionamientos de bicicletas	SI	0,5 a 2,5 (Todos)	3,7	3,3	3,3	3
11	Reducción del número de estacionamientos	SI	-	7,6	6,9	6,6	6
12	Materiales sostenibles	NO	-	6,1	5,7	5,4	5
13	Estructura	NO	2 (Todos)	6,1	5,7	5,4	5
14	Planes de manejo: escombros, residuos sólidos, mantenimiento	NO	2 (Todos)	7,1	6,7	6,4	6
15	Integración de la planta a nivel de acera al espacio público	SI	1 a 5 (Todos)	3,7	3,3	3,3	3
16	Unificación de lotes	NO	-	8,6	7,9	7,6	7
17	Cobertura vegetal	SI	0,25 a 12 (Todos)	7,3	6,7	6,6	6
18	Reflectancia y Absortancia	NO	-	2,4	2,2	2,2	2
19	Confort térmico	SI	-	4,9	4,4	4,3	4
20	Confort lumínico	SI	-	2,4	2,2	2,2	2
TOTAL				100	100	100	100

Nota: *Ver condiciones de parámetros de obligatorio cumplimiento. Recuperado de: Anexo 2. Resolución N STHV-034-2020. (STHV, 2020)

La ordenanza de Eco-Eficiencia está compuesta por dos anexos: el Anexo 1- Instructivo De Verificación De Los Parámetros Urbanísticos Para (...) Eco-Eficiencia y el Anexo 2- Instructivo De Aplicación De Los Parámetros De Eco-Eficiencia. Para acceder al incremento de pisos según esta ordenanza y sus anexos se establece la siguiente dinámica: En primer lugar, se debe analizar si las condiciones urbanas permiten el incremento de edificabilidad tal como, la ubicación del lote, el área mínima, ancho de vía, y altura a incrementar (Anexo 1). Una vez que se verifica que es factible el incremento de pisos se calificará de acuerdo con el Anexo 2 las estrategias de consumo eficiencia de agua, energía, aspectos de movilidad, entre otros que según la escala del proyecto se le asignará un puntaje de cumplimiento con lo que se determinará la altura final de incremento de pisos.

4.3.1 Ordenanza Metropolitana N 003. Resolución No, STHV-034-2020 (Anexo 1)

El anexo 1 de la resolución No. STHV-034-2020 define las escalas de incremento de edificabilidad en función del número de pisos totales de un proyecto, clasificándolas de la siguiente forma:

Capítulo 4: Contexto Urbano y Edificatorio

- Escala Pequeña (P): son edificaciones comprendidas en un rango de 1 a 6 pisos.
- Escala Media (M): son edificaciones comprendidas en un rango de 7 a 12 pisos.
- Escala Grande (G): son edificaciones comprendidas en un rango de 13 a 18 pisos.
- Escala Extra (XG): son edificaciones comprendidas en un rango de 19 a 40 pisos.

De acuerdo con la metodología planteada de los escenarios de densificación y la definición de las escalas del Anexo 1 se entenderá por escenario actual a las escalas pequeña y media, mientras que el escenario de densificación intermedia será la escala grande y el escenario de densificación crítica corresponde a la escala extra grande, tal como se muestra en la siguiente figura.

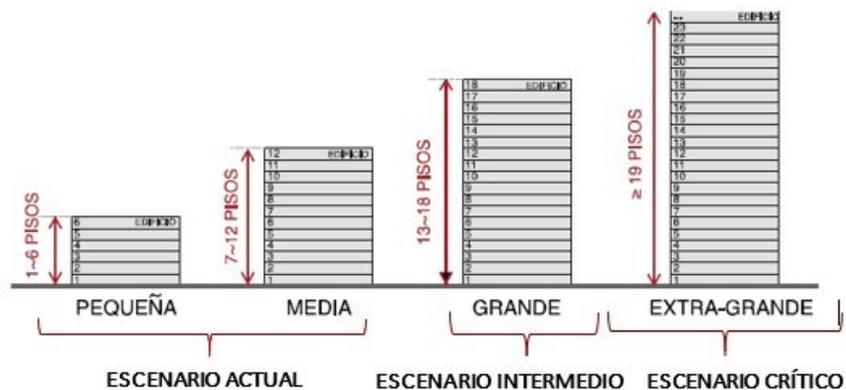


Figura 41 Definición de Escalas.

Fuente: Adaptación propia. Anexo No 2. STHV, 2020.

La cantidad de pisos adicionales otorgados para una edificación dependerán de la superficie del lote en donde se implante, esta superficie mínima se la establece en función de la escala de edificación (Ver Tabla 6). Además el incremento de altura está condicionado por el ancho de las vías frentistas, considerando que el ancho de vía comprende el ancho de la acera y la calzada. Para esto se debe tomar en cuenta la forma de ocupación del lote donde se implanta la edificación que aplica el incremento de pisos y la forma de ocupación del lote frentista.

Capítulo 4: Contexto Urbano y Edificatorio

Tabla 6 Resumen de Parámetros Urbanísticos

		ESCALAS DE EDIFICACIONES						
		Pequeña	Media	Grande	Extra Grande			
Número de pisos		1-6	7-12	13-18	>18			
PARÁMETROS								
Tamaño mínimo de lote*	Escala	Pequeña	Media	Grande	Extra Grande			
	Número de pisos	1-6	7-12	13-18	19-24	25-28	29+	
	Tamaño mínimo del Lote	400.00	400.00	400.00	600.00	800.00	1000.00	
Ancho mínimo de vía	Escala	Pequeña	Media	Grande	Extra Grande			
	Vía Principal	Retiro frontal a ambos lados de la vía (a)	8.00 m	10.00 m	12.00 m	22.00 m		
		Con retiro frontal a un lado de la vía (b)	10.00 m	12.00 m	18.00 m	26.00 m		
		A línea de fábrica a los dos lados de la vía (c)	12.00 m	16.00 m	22.00 m	30.00 m		
	Vía Secundaria	6.00 m	8.00 m	10.00 m con retiros 12.00 m a línea de fábrica	12.00 m con retiros 14.00 m a línea de fábrica			
	Retranqueo mínimo en retiro frontal en las dos primeras plantas	2.00 m Solo caso (c)	2.00 m Solo caso (c)	2.00 m Solo caso (c)	2.00 m Solo caso (c)			
	Condición de no Cumplimiento	1-AMV	1-AMV	1-AMV	1-AMV			

Nota: * Recuperado de: Anexo 2. Resolución N STHV-034-2020. (STHV, 2020)

La Resolución No 34 en su Anexo 1 establece una condición especial obligatoria de un retranqueo en las dos primeras plantas de mínimo 2,00 metros cuando la forma de ocupación es a línea de fábrica (línea de calle) para todas las escalas de edificación, con el objetivo de crear un espacio de integración con la acera y que la percepción del peatón no se vea afectada por los edificios de gran altura, como se puede apreciar en la Figura 42.

Capítulo 4: Contexto Urbano y Edificatorio

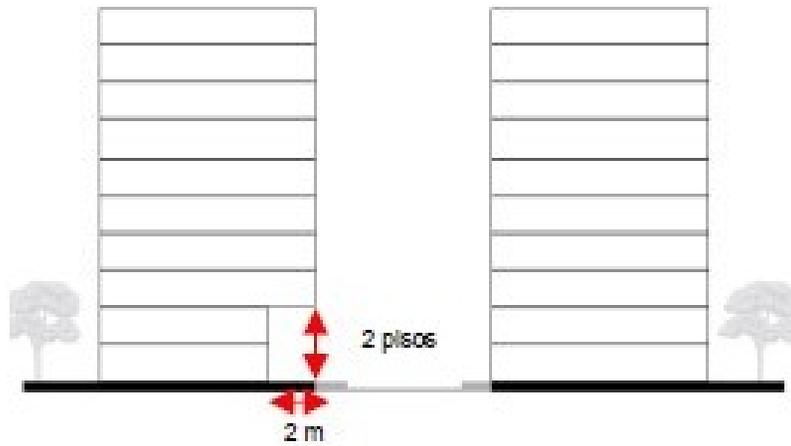


Figura 42 Retranqueo en Planta Baja.

Fuente: Anexo No 1. STHV, 2020.

Adicionalmente, en el caso de que la vía frentista o secundaria no cumpla con el ancho mínimo requerido según la escala de edificación, los edificios deberán retranquearse desde los pisos extra PUOS de manera gradual la distancia faltante del ancho mínimo de vía (ver Figura 43). Para la presente investigación se analizará los aspectos del Anexo 1, que de acuerdo con el objetivo general y según las determinantes urbanas definan el impacto del acceso solar producto de esta ordenanza.

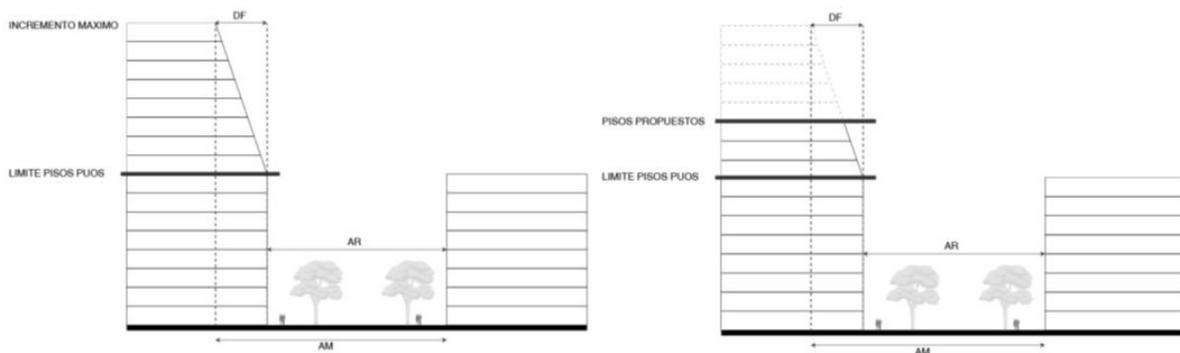


Figura 43 Retranqueo gradual para edificaciones.

Fuente: Anexo No 1. STHV, 2020.

4.4 Contexto urbano actual

El Distrito Metropolitano de Quito (DMDQ) tiene actualmente cerca de 2,8 millones de habitantes, repartidos en sus 65 parroquias urbanas y rurales. Dentro de las parroquias urbanas se concentra el 70% de la población y en el área rural el 30% restante. Según análisis del Instituto de la Ciudad de Quito entre el año 2001 y 2010 las áreas suburbanas del distrito aumentaron tres veces más que el área urbana, lo que demuestra la tendencia de migración a espacios sub urbanos fuera de la meseta central, siendo el principal causante de una trama porosa y desordenada (MDMQ, 2015).

Como se puede ver en la Figura 44 y en la Figura 45 cerca del 18% del Distrito Metropolitano de Quito se encuentra consolidado, mientras que cerca del 35% de la ciudad está al 50%-75% de su capacidad de consolidación y el 47% se encuentra bajo el 50% (STHV, 2020), sin embargo la expansión de la meseta central hacia los valles y zonas rurales de la ciudad siguen creciendo.

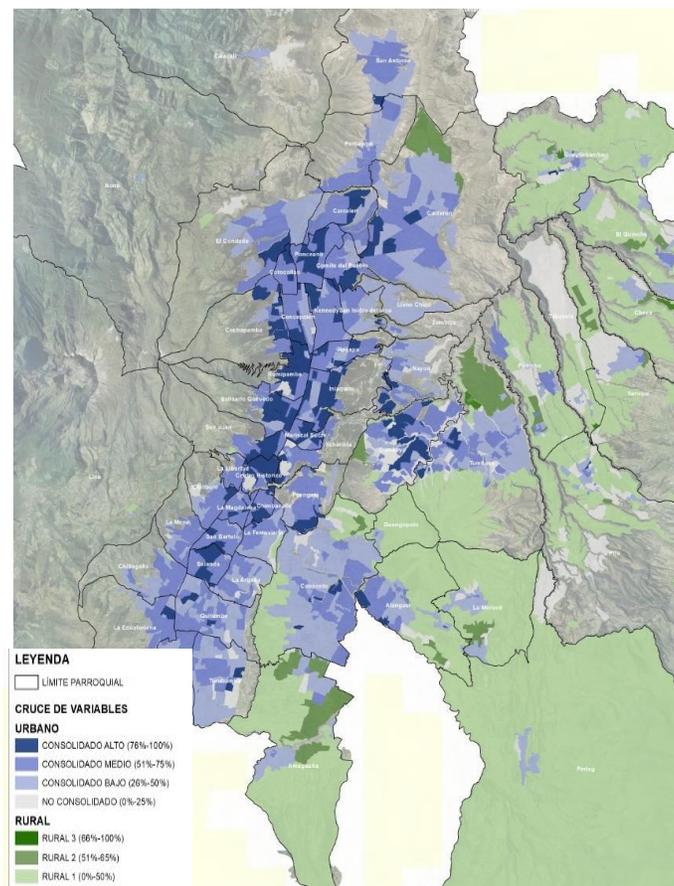


Figura 44 Consolidación del suelo urbano y rural de Quito.

Fuente: STHV, 2020.

Capítulo 4: Contexto Urbano y Edificatorio

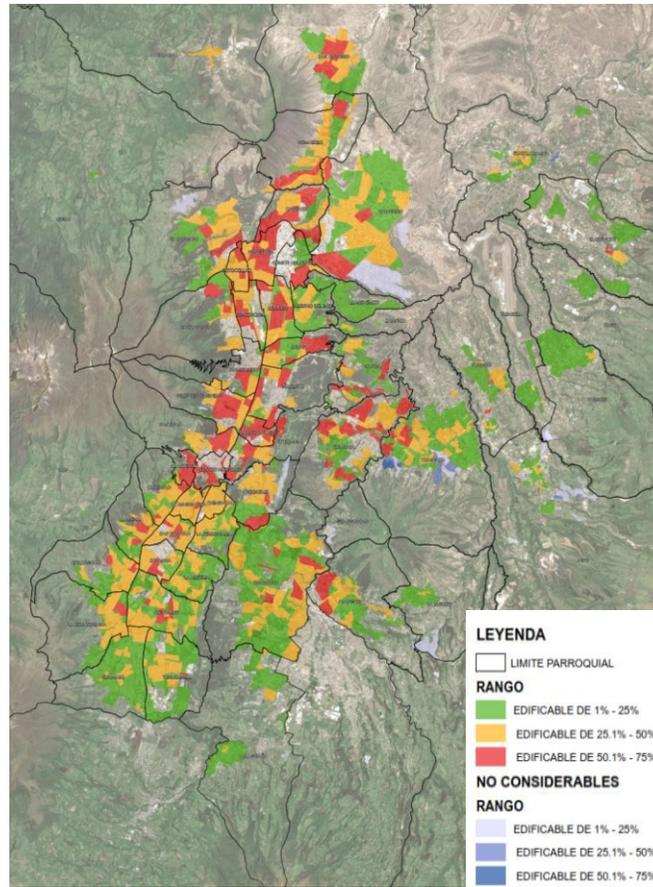


Figura 45 Nivel de edificabilidad en Quito.

Fuente: STHV, 2020.

Consecuentemente del traslado del antiguo aeropuerto internacional Mariscal Sucre fuera del hipercentro de la ciudad en el año 2013 y con el inicio de la primera línea del Metro de Quito en el mismo año, se proyecta el incremento de altura en el hipercentro de la ciudad con planes como “Plan Especial Bicentenario o el incremento de en las Zonas de Asignación Urbanística Especial (ZUAE) o a través de proyectos Eco-Eficientes que por ser planes relativamente “actuales”, el crecimiento en altura en la ciudad sigue siendo de escala media tal como se muestra en la Tabla 7, donde se puede observar que cerca del 99% de las edificaciones se encuentran bajo los 10 pisos de altura (STHV, 2020) y ubicadas en el sector norte de la meseta central de Quito, como se puede apreciar en la siguiente figura.

Capítulo 4: Contexto Urbano y Edificatorio

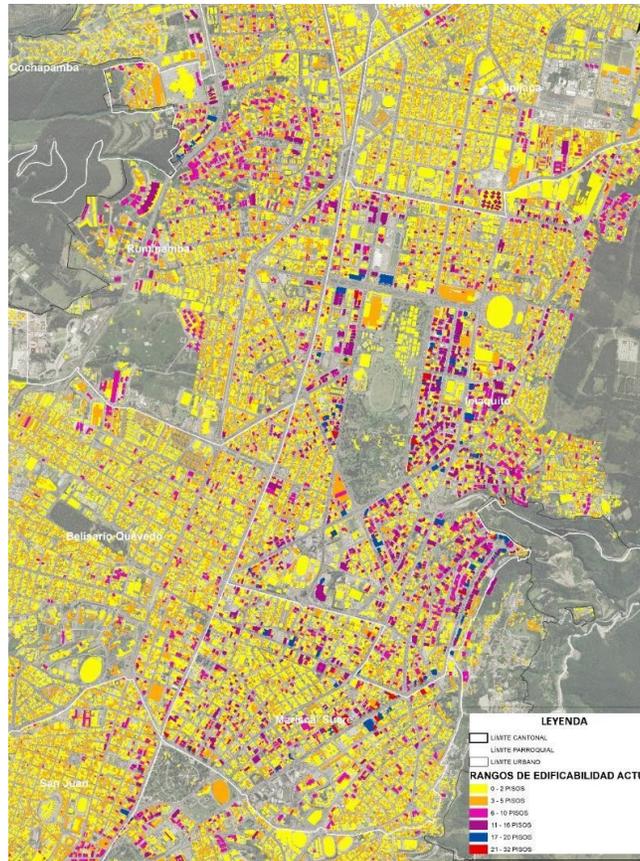


Figura 46 Número de edificaciones de acuerdo al número de pisos en el Hipercentro.

Fuente: STHV, 2020.

Tabla 7 Rangos de edificabilidad actual.

RANGOS DE EDIFICABILIDAD ACTUAL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO		
RANGO	NÚMERO DE EDIFICACIONES	PORCENTAJE EDIFICACIONES
0 A 2 PISOS	737717	83,2753
3 A 5 PISOS	143384	16,1855
6 A 10 PISOS	3804	0,4294
11 A 16 PISOS	896	0,1011
17 A 20 PISOS	68	0,0077
21 A 32	8	0,0009
TOTAL	885877	100,00

Fuente: STHV, 2020.

Para esto el Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial establece 4 objetivos con una visión de corto, mediano y largo plazo, que se describen a continuación:

1. Compactación y redensificación del área urbana consolidada, a través del aumento de la densificación edificatoria y poblacional.
2. Consolidación de una estructura metropolitana de archipiélago y de un sistema de ordenamiento territorial policéntrico.

Capítulo 4: Contexto Urbano y Edificatorio

3. Construcción de una infraestructura verde transversal y multiescalar que reconecte los sistemas ecológicos urbanos aislados.
4. Entendimiento de las condiciones fisiográficas del territorio metropolitano como condición fundamental del ordenamiento territorial.

Con estos lineamientos se busca densificar el espacio urbano ya consolidado, y desarrollar centralidades dinámicas servidas por los sistemas masivos de transporte publico tomando en cuenta que en la ciudad se está construyendo la primera línea del Metro de Quito, lo que seguramente modificará la matriz de la movilidad y transformará las dinámicas urbanas (Ordenanza Metropolitana N 003, 2019).

4.4.1 Área de Influencia BRT y Metro

El Plan de Uso y Ocupación de Suelo es un instrumento regulatorio que forma parte del sistema de planificación territorial del Distrito Metropolitano de Quito, cuyo objetivo es establecer parámetros y normas específicas para el uso y habilitación del suelo, coeficientes de ocupación, altura de las edificaciones, entre otros (DMQ, 2015). Sobre este plan el Municipio de Quito estableció los polígonos de intervención con normativas específicas como la Ordenanza No. 003 o más conocida como Ordenanza de Eco-eficiencia que se aplica en áreas puntuales de la ciudad.

La localización cercana a las estaciones de transporte público y el desempeño eficiente de los proyectos constituyen, como se ha mencionado anteriormente, parte de las estrategias del Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la ciudad. El incremento de edificabilidad tiene dos categorías: la primera consiste en las radios de influencia de las líneas de bus rápido (BRT por sus siglas en inglés Bus Rapid Tránsit) como Trolebús, Ecovía o Metrobus Q donde las edificaciones pueden incrementar hasta el 50% de lo que permite el PUOS; la segunda consiste en las zonas de influencia de la línea de metro, en donde se permite incrementar hasta el 100% de lo que permite el PUOS.

Este aumento de edificabilidad desde la normativa está orientado a promover la diversidad de usos, entre vivienda, comercios, oficinas, equipamientos y servicios; con la característica que el uso predominante de los edificios sea vivienda con un máximo de densidad habitacional de 40m²/habitante.

Capítulo 4: Contexto Urbano y Edificatorio

Como se muestra en la Figura 47 la ubicación de los polígonos de BRT y Metro tienen una mayor área de influencia en el sur de la ciudad, esto debido a que el crecimiento en altura en esta zona no supera los 6 pisos, por lo que busca generar un interés inmobiliario en este sector de la ciudad. Además, se puede observar que el área de influencia no se mezcla con los planes especiales de la ciudad, así como lo es el Centro Histórico y el Plan Bicentenario ya que estos sectores tienen otra normativa de aplicabilidad.

4.5 Contexto Edificatorio Actual

El cañón urbano, está compuesto por una infinidad de tipos y combinaciones de materiales, lo que cada uno de ellos muestran un comportamiento energético distinto en función de sus propiedades térmicas y ópticas, lo que impacta de forma directa sobre el microclima local y el comportamiento energético de los edificios (N. Alchapar & Correa, 2015).

Los factores que intervienen en la disponibilidad de luz natural interna o externa de los espacios dependen de las condiciones propias del territorio y también del ambiente construido, es decir a parte de las condiciones geográficas, morfológicas, de orientación, el cañón urbano y sus cualidades reflectivas también impacta sobre la accesibilidad y disponibilidad solar (Tsangrassoulis & Santamouris, 2003; Venegas & Piderit, 2018).

El cañón urbano se describe como el patrón del espacio definido por dos edificios adyacentes y el suelo, es decir la relación entre la altura de los edificios (H) y el distanciamiento entre ellos (W) (Strømman-Andersen & Sattrup, 2011). Debido a que los materiales que componen las envolventes urbanas impactan en la relación del desempeño del edificio y su entorno (Venegas Quintulén & Piderit Moreno, 2018), es necesario analizar la tipología predominante de fachadas así como las materiales representativas de las mismas.

4.5.1 Condiciones de la envolvente

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción de Eficiencia Energética en edificaciones residenciales (MIDUVI, 2018) la ciudad de Quito se encuentra en la zona climática-habitacional continental lluviosa (3) y según ASHRAE 90.1 en la zona 3C, para la cual se determina las siguientes características de la envolvente para un espacio habitable no climatizado:

Capítulo 4: Contexto Urbano y Edificatorio

Tabla 8 Requisitos de envolvente para zona climática 3

Elementos opacos	Habitable				No habitable	
	Climatizado		No climatizado		Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento
	Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento	Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento		
Techos	U-0.273	R-3.5	U-2.9	R-0.89	U-4.7	R-0.21
Paredes, sobre nivel del terreno	U-0.592	R-1.7	U-2.35	R-0.36	U-5.46	NA
Paredes, bajo nivel de terreno	C-6.473	NA	C-6.473	NA	C-6.473	NA
Pisos	U-0.496	R-1.5	U-3.2	R-0.31	U-3.4	NA
Puertas opacas	U-2.839	NA	U-2.6			
Ventanas	<i>Transmitancia máxima</i>	<i>Montaje máximo SHGC</i>	<i>Transmitancia máxima</i>	<i>Montaje máximo SHGC</i>	<i>Transmitancia máxima</i>	<i>Montaje máximo SHGC</i>
Área translúcida vertical $\geq 45^\circ$	U-3.69	SHGC-0.25	U-5.78	SHGC-0.82	U-6.81	NA
Área translúcida horizontal $< 45^\circ$	U-6.64	SHGC-0.36	U-6.64	SHGC-0.36	U-11.24	NA

Nota: * Recuperado de la Norma Ecuatoriana de Construcción de Eficiencia Energética. MIDUVI, 2018.

En cuanto a las tasas de infiltración permitidas, la NEC-HS-EE establece valores máximos aplicables a ventanas y tipo de puertas como se muestra en la Tabla 9 y adicionalmente el Anexo 2 de la resolución No. STHV-034-2020 establece los valores máximos para la condición de tipo de paredes y acabado como se puede observar a continuación en la Tabla 10 Tasas de infiltración máxima según el tipo de pared. La tasa de infiltración es constante durante todo el día, todos los días del año.

Tabla 9 Tasa de infiltración máxima según el tipo de uniones.

Descripción	Límite de infiltración de aire
Ventanas con marco de aluminio y puertas deslizantes	25 m ³ /h m
Ventanas con marco de PVC y puertas deslizantes	25 m ³ /h m
Ventanas con marco de madera y puertas deslizantes	23 m ³ /h m
Puertas de madera	23 m ³ /h m
Ventanas fijas	6.22 m ³ /h m ² (área de ventana)
Puertas giratorias	9.2 m ³ /h m ² (área de la puerta)

Nota: * Recuperado Resolución No.34. STHV, 2018.

Tabla 10 Tasas de infiltración máxima según el tipo de pared.

DESCRIPCION	LIMITE DE INFILTRACION DE AIRE
Mampostería de Steel frame	12 m3/(h.m2)@50Pa
Mampostería de Bloque, ladrillo con recubierto	9 m3/(h.m2)@50Pa
Mampostería de bloque con enlucido y empaste	6 m3/(h.m2)@50Pa

Nota: Recuperado de la Norma Ecuatoriana de Construcción de Eficiencia Energética. MIDUVI, 2018.

Capítulo 4: Contexto Urbano y Edificatorio

Sobre los estándares mínimos de iluminación natural en función de los tipos de espacios la NEC-HS-EE señala los siguientes valores:

Tabla 11 Niveles mínimos de iluminación.

Áreas	Mínimo (LUX)	Recomendado (LUX)	Óptimo (LUX)
Viviendas			
Dormitorios	100	150	200
Cuartos de aseo/baños	100	150	200
Cuartos de estar	200	300	500
Cocinas	100	150	200
Cuartos de estudio o trabajo	300	500	750
Zonas generales de edificios			
Zonas de circulación y pasillos	50	100	150
Escaleras, roperos, lavabos, almacenes y archivos	100	150	200

Recuperado de: la Norma Ecuatoriana de Construcción de Eficiencia Energética. MIDUVI, 2018.

4.6 Conclusiones

La topografía de la ciudad de Quito llena de quebradas, lomas, ríos y lagunas junto con un ordenamiento territorial tardío, a lo largo de la historia provocó un desarrollo longitudinal en la meseta central, generando varios problemas de movilidad, accesibilidad a servicios y equipamiento. En vista de esto, la gestión municipal propone una alternativa de movilidad integrada de líneas de transporte masivo y desarrollo de edificabilidad, es decir que alrededor de las estaciones de metro se promueve el incremento de construcción en altura, considerando ciertos elementos urbanos como zonificación, el ancho de vía y área de los lotes.

En estas condiciones mínimas de emplazamiento que establece el cuerpo normativo no se considera los distanciamientos mínimos entre edificios ni orientaciones óptimas de los mismos, los cuales representan un riesgo en términos de acceso solar.

Adicionalmente, los planes anteriormente mencionados no contemplan regulaciones en cuanto a las obstrucciones solares del entorno construido, ni elementos normativos en cuanto a la forma urbana que permitan resguardar la accesibilidad solar a todos los edificios, lo que pone en conflicto la posibilidad emplear energías renovables no convencionales (ERNC), mediante sistemas pasivos o activos.

Capítulo 5: Resultados caracterización del contexto urbano y edificatorio

Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en cuanto a los análisis urbanos, simulaciones energéticas, demandas y reducciones en los distintos escenarios de análisis de forma sintetizada, considerando que la simplificación de las características urbanas debe realizarse de forma que el objetivo, la metodología y los resultados obtenidos sean replicables a otras realidades urbanas como orientaciones, distanciamientos, etc.

5.1 Caracterización del contexto urbano y edificatorio

El análisis morfológico-solar está circunscrito a características representativas y comparables que permitan replicar el estudio a nivel macro separándolo de variables individuales propias de las manzanas específicas de ciertos sectores de la ciudad. Por ello, se ha caracterizado el tejido urbano de estos polígonos de estudio (BRT-Metro) desde sus variables determinantes para el incremento de edificabilidad, tal como el ancho de vía, las orientaciones significativas morfológicas y las alturas alcanzadas.

5.1.1 Altura de edificación

La definición de la altura de edificación se ha realizado a partir de un levantamiento de información de las alturas permitidas actualmente por el PUOS, con sus máximas cabidas tanto en los polígonos de BRT como de Metro, para finalmente basarse en las alturas y escalas de edificación que establece la Ordenanza No. 003, ya que se ha considerado que estos rangos son los máximos admisibles por escala de edificación.

Como se ha mencionado anteriormente la altura de edificación en Quito es baja, encontrándose el 82% de las edificaciones en un rango de 1-2 pisos (STHV, 2020) y tan solo el 0,0009% de edificaciones superan los 21 pisos (STHV, 2020).

Como se puede ver en la Figura 48, el crecimiento en altura en la ciudad no es homogéneo, como se muestra en la imagen de la izquierda en pleno hiper centro de la ciudad todavía hay edificaciones bajas de dos pisos, al contrario de la imagen de la derecha en el sector de la República del Salvador, una zona totalmente consolidada con un promedio de altura de edificación de 16 pisos.

Capítulo 5: Resultados caracterización del contexto urbano y edificatorio



Figura 48 Sector de El Telégrafo (izquierda), Sector de la República del Salvador (derecha).

Fuente: El Comercio 2015-El Telégrafo 2018.

Adicionalmente, de acuerdo con la Figura 49 y en la Tabla 12, en las zonas de BRT predomina la altura máxima de zonificación de 4 pisos en el 72% del área de influencia, esto quiere decir que la altura máxima de este 72% de manzanas será de 6 pisos ya que en este polígono se admite el incremento de edificación de hasta el 50% del PUOS. En casos puntuales se podrá alcanzar hasta 24 pisos, ya que en ciertas manzanas que no representan ni el 1% la zonificación máxima es de 16 pisos.

Tabla 12 Porcentaje de pisos según el PUOS en el área de influencia de BRT y Metro

Zona BRT		Zona Metro	
Número de Pisos (UD)	(%)	Número de Pisos (UD)	(%)
2	0,65	4	49,00
4	72,20	6	12,00
6	11,60	8	20,00
8	9,50	10	6,00
10	2,80	12	9,00
12	2,15	14	1,05
14	0,25	16	2,00
16	0,85	20	0,95
Total	100,00		100,00

Recuperado de: Elaboración propia. Base de datos CIUQ, 2020

Capítulo 5: Resultados caracterización del contexto urbano y edificatorio

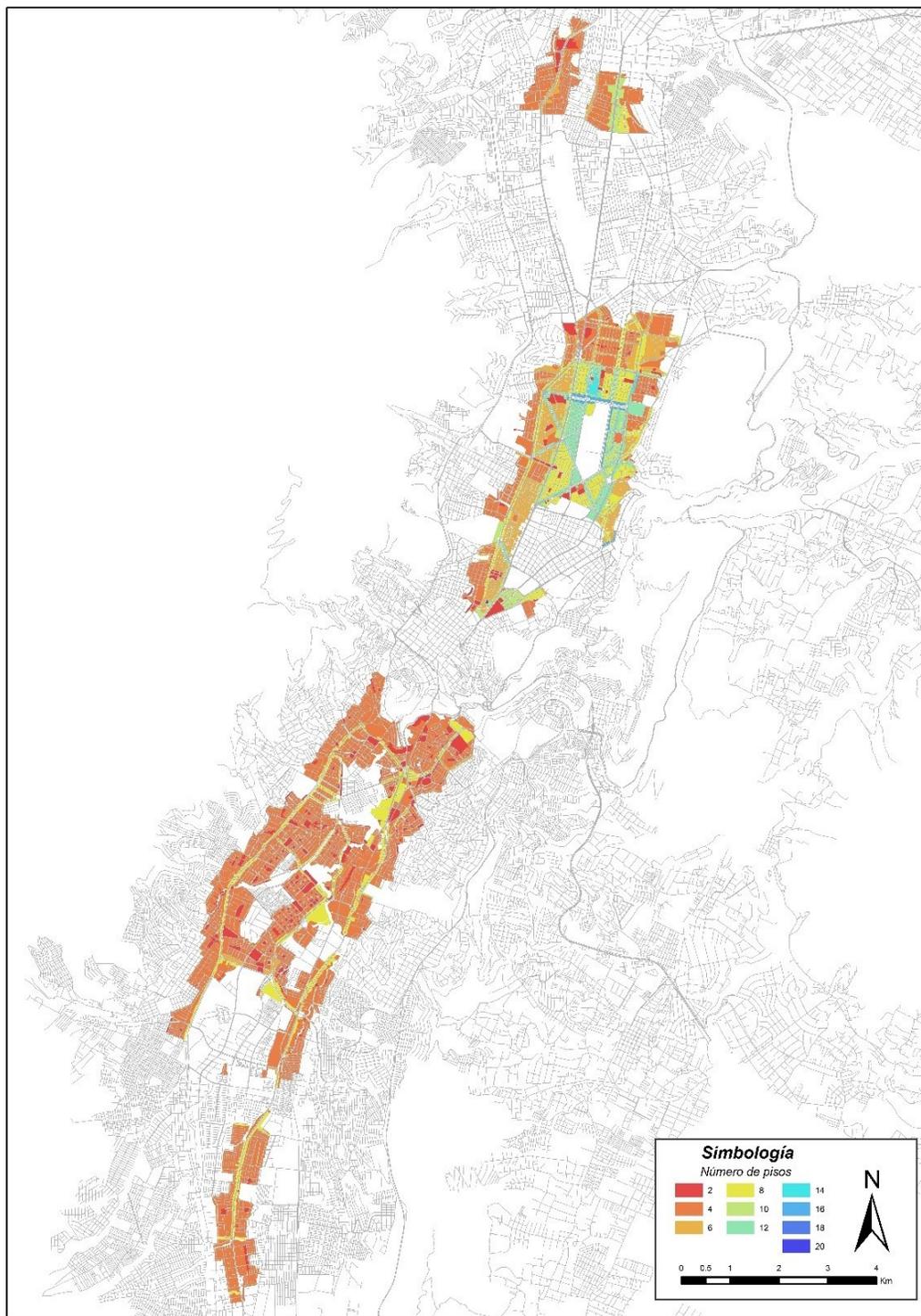


Figura 49 Alturas de Edificación en el Área de Influencia BRT-Metro.

Fuente: Elaboración propia. Base de datos CIUQ, 2020.

Capítulo 5: Resultados caracterización del contexto urbano y edificatorio

Por otro lado, en la zona de Metro el 50% del área de influencia puede tener una altura máxima de 8 pisos y el 2% puede llegar a una altura máxima de 40 pisos (Ver Tabla 12). Esta diferencia de edificabilidades tan extremas produjo que se tomen los rangos de altura establecidos por la normativa.

Por lo tanto, tomando en relación la situación actual de la ciudad donde el escenario de baja densificación es de 1-6 pisos, el escenario medio es de 7-12 pisos, el escenario grande o intermedio es de 13-18 pisos y el escenario extragrande o crítico es de 19-40, por simplificación para el análisis de acceso solar se tomará el máximo de cada rango de pisos.

Tabla 13 Altura de edificación y obstrucción solar.

<i>Altura de Edificación</i>		<i>Altura de la obstrucción solar</i>	
Escenario de densificación bajo	6 pisos (24 m)	Escenario de densificación bajo	6 pisos (24 m)
Escenario de densificación medio	12 pisos (48 m)	Escenario de densificación medio	12 pisos (48 m)
Escenario de densificación intermedio	18 pisos (72 m)	Escenario de densificación intermedio	18 pisos (72 m)
Escenario crítico	36 pisos (144m)	Escenario crítico	36 pisos (144m)

5.1.2 Ancho de vías en el área de influencia

La definición de distanciamiento entre edificios se ha realizado a partir de un levantamiento de información de los anchos de vías representativos en la ciudad de Quito, tanto en los polígonos de BRT como de Metro, realizando mapas y análisis sobre los datos entregados por el Centro de Información Urbana de Quito (CIUQ), para finalmente acogerse a los rangos establecidos por la Ordenanza N 003 y el distanciamiento mínimo entre bloques establecido por el PUOS (Ver Figura 50).

En primer lugar, se debe tomar en cuenta que el PUOS al regular la zonificación de los distintos sectores de la ciudad a su vez define el distanciamiento mínimo entre edificaciones, es decir que en

Capítulo 5: Resultados caracterización del contexto urbano y edificatorio

las zonificaciones aisladas³, pareadas⁴ continuas⁵ y a línea de fábrica⁶ en cada una de ellas se establece el retiro mínimo que deberá tener la edificación desde su lindero.

En todos los casos de zonificación la constante es el retiro posterior por cada lote, con una distancia mínima de 3m a lo que si se considera los 3m del retiro posterior del lote colindante por cualquiera que sea la altura y forma de ocupación esta será la distancia mínima de separación entre edificios en la ciudad (6m).

Frente a la variedad morfológica que distingue la ciudad entera y los propios polígonos de estudio se ha de tener en cuenta criterios de simplificación para el análisis de los escenarios de densificación, por lo que no se reproduce un polígono determinado, ni una manzana específica ya que para el análisis de acceso solar las variables de análisis se simplifican en la proporcionalidad horizontal y vertical del elemento de estudio y la obstrucción solar con respecto a la orientación morfológica.

Como se puede observar en la Figura 50, las vías arteriales de la ciudad se encuentran en sentido norte-sur, las cuales se ven interconectadas en sentido este-oeste por una serie de vías mucho más angostas y discontinuas, lo que refleja en la ciudad serios problemas de movilidad, producto de encontrarse entre montañas tanto al este como al oeste.

Las vías del Sistema Integrado de Transporte Metropolitano en las que se desarrollan las líneas de Bus rápido (BRT) cruzan longitudinalmente la ciudad cerca de 25km cada una (Trolebús 24km, Ecovía 30 km y Metrobús Q 25,8 km) y tienen un ancho promedio de 33m incluido acera y calzada (Trolebús 40.50m, Ecovía 25m y Metrobús Q 38m). Alrededor de estas vías se establece los polígonos de crecimiento de hasta un 50% de edificabilidad. En cuanto al resto de calles de los polígonos BRT y Metro (PUOS, 2018) , como se muestra en la Tabla 14 existe una variedad infinita del ancho y longitud debido a la propia topografía y a que el crecimiento de la ciudad en varios sectores se ha dado en la informalidad.

³ Zonificación aislada (A): tiene retiro frontal, laterales y posterior.

⁴ Zonificación pareada (B): tiene retiro frontal, un lateral y posterior.

⁵ Zonificación continua (C): tiene retiro frontal y posterior.

⁶ Zonificación a línea de fábrica (D): tiene solamente retiro posterior.

Capítulo 5: Resultados caracterización del contexto urbano y edificatorio

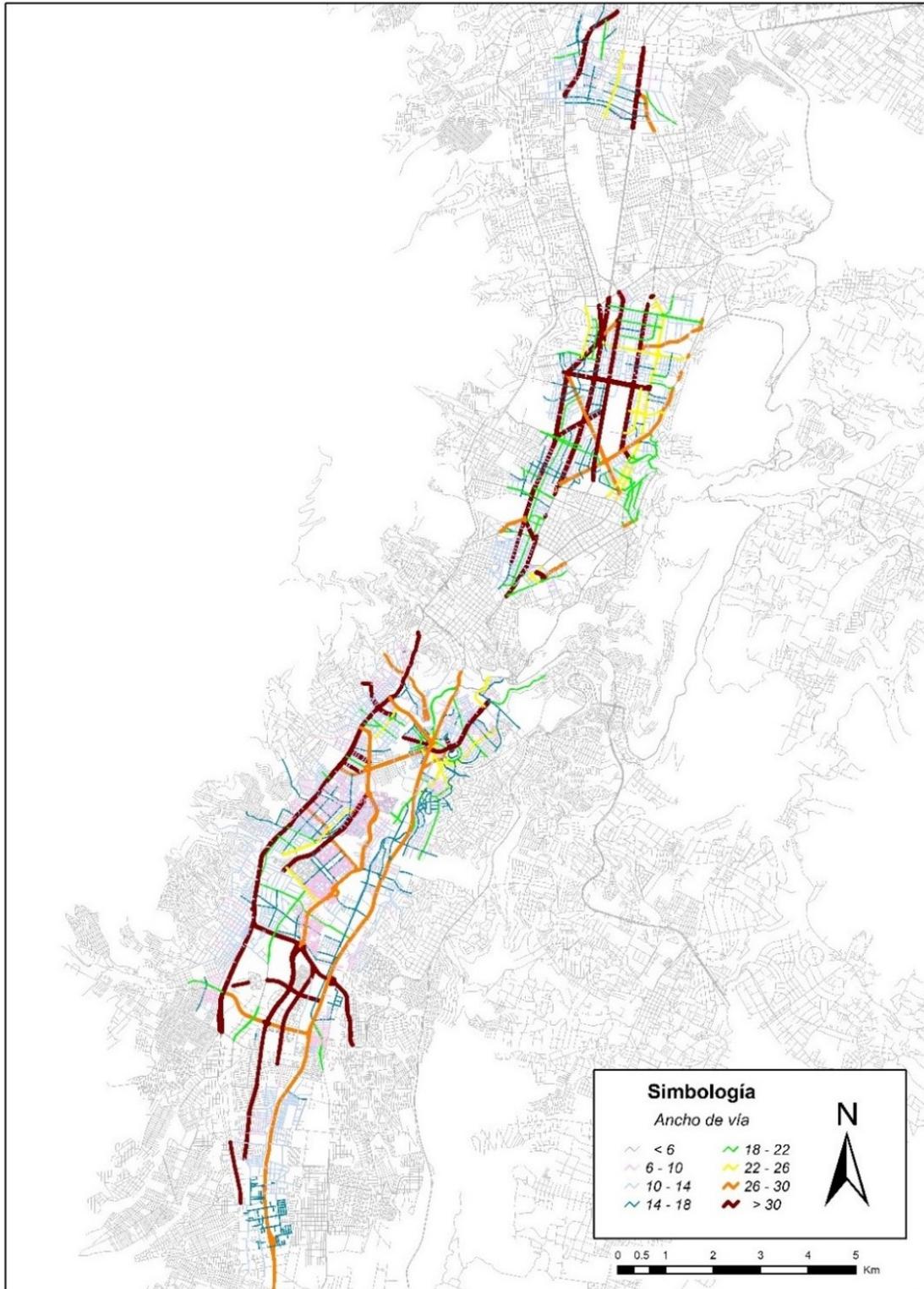


Figura 50 Anchos de Vías en el Área de Influencia BRT-Metro

Fuente: Elaboración propia. Base de datos CIUQ, 2020.

Capítulo 5: Resultados caracterización del contexto urbano y edificatorio

En la tabla 14 se puede observar que las calles entre 6m-10m de ancho representan el 50%, mientras que las calles entre 10-14m representan el 35% y de 26 m en adelante representan el 1,5%. Estos rangos de estudio se han establecido cada 4m de ancho para posteriormente relacionar a la altura del edificio en una proporción de 1:1 ya que la altura máxima de entrepiso será de 4,00 m.

Tabla 14 Anchos de vías en polígonos BRT-Metro

Ancho de Vía	%
≤ 6m	2,70
6m-10m	49,62
10m-14m	34,72
14m-18m	8,45
18m-22m	2,30
22m-26m	0,69
26m-30m	0,66
≥30m	0,87
Total	100,00

Recuperado de: Elaboración propia. Base de datos CIUQ, 2020

En el área de BRT el 42% de calles tienen un ancho entre 6m-10m, mientras que el 36% disponen de un ancho de 10m-14m. En cuanto al polígono de Metro el 38% del ancho de vías se encuentra entre 6m-10m, mientras que existe un mayor porcentaje del ancho de vías superiores a los 26m siendo el 9% en estos polígonos (Ver Tabla 15).

Tabla 15 Anchos de Vías

Zona BRT		Zona Metro	
Ancho de Vía	(%)	Ancho de Vía	(%)
≤ 6m	5,72	≤ 6m	5,86
6m-10m	42,35	6m-10m	37,89
10m-14m	36,17	10m-14m	30,77
14m-18m	9,23	14m-18m	9,30
18m-22m	2,71	18m-22m	5,29
22m-26m	1,19	22m-26m	2,53
26m-30m	1,23	26m-30m	2,76
≥30m	1,40	≥30m	5,63
Total	100,00	Total	100,00

Recuperado de: Elaboración propia. Base de datos CIUQ, 2020

Por lo tanto, los anchos de vías para el sistema de referencia de evaluación que se tomará para el presente estudio son en función a los porcentajes de representatividad analizados anteriormente y según lo solicitado en la Resolución NO. STHV-034-2020 en una ocupación del suelo a línea de fábrica (sin retiro frontal) a los dos lados de la vía según la escala de edificación, ya que esta forma

Capítulo 5: Resultados caracterización del contexto urbano y edificatorio de ocupación sería la más desfavorable en cuanto al distanciamiento entre edificios. Además, es importante recalcar que la distancia de 6m que corresponde al ancho menor de una vía (considerándolo pasaje) a su vez simplifica la distancia que se produce entre retiros de edificación ya que corresponde 3m a cada lote, lo que se integra de forma simplificada al distanciamiento entre edificios puesto que, lo que interesa es el distanciamiento horizontal indistintamente si es calle o retiro, por lo que a continuación se observa en la Tabla 16 los anchos de estudio.

Tabla 16 Distanciamiento horizontal

Ancho de vía 1	6,00 m
Ancho de vía 2	12,00 m
Ancho de vía 3	16,00 m
Ancho de vía 4	22,00 m
Ancho de vía 5	30,00 m

Fuente: Elaboración propia,2020.

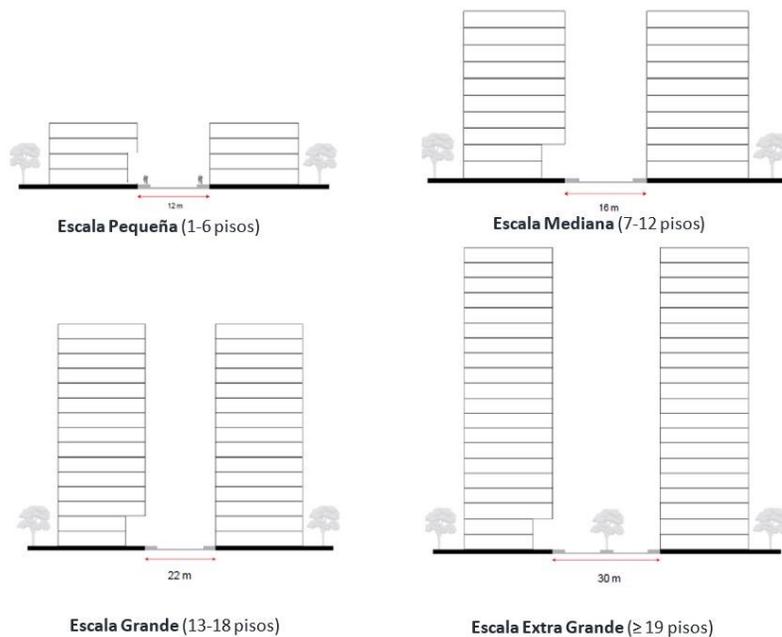


Figura 51 Distanciamiento en función de la escala de edificación.

Fuente: Adaptación de la Resolución NO. STHV-034-2020.

Capítulo 5: Resultados caracterización del contexto urbano y edificatorio

5.1.3 Orientación morfológica en el área de influencia

La definición de las orientaciones morfológicas urbanas se ha realizado a partir de un análisis gráfico de información de todas las manzanas o cuadras que están dentro de los polígonos BRT y Metro. Se analizó la rotación de las manzanas con respecto al norte tanto en sentido horario como en sentido antihorario, para luego cuantificarlos y analizar su porcentaje de representatividad.

El sistema de análisis o de referencia establece características determinantes tipo-morfológicos que describen la orientación del tejido urbano de forma sintética como grados de rotación con respecto al norte, siendo este uno de los principales parámetros que repercuten sobre el acceso de la radiación solar en el tejido urbano.

La irregularidad morfológica de la ciudad deberá ser simplificada para el análisis del acceso solar por lo tanto en los polígonos de influencia se analizan las rotaciones predominantes de los barrios y manzanas con respecto del norte, considerando las calles transversales como principal determinante de las orientaciones, como se muestra en el ejemplo a continuación:

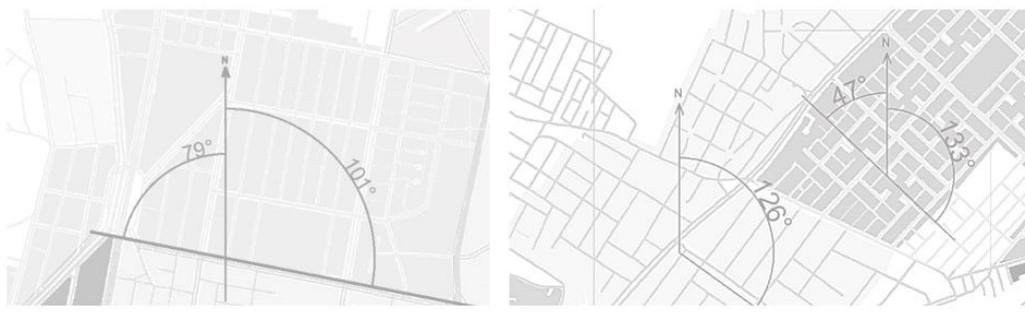


Figura 52 Orientación de manzanas

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Para la determinación de orientación predominante se agrupan manzanas y barrios que tengan la misma orientación. Se han analizado 171 barrios que conforman parte de los polígonos⁷ de estudio, de los cuales tal como se puede observar en la Figura 53 la orientación predominante en la morfología urbana es de este a oeste, debido a longitudinalidad de la ciudad y la orientación del sol.

⁷ El polígono BRT está conformado por 112 barrios y 16 482,17 km². El polígono Metro está conformado por 59 barrios y 5 604,56 km².

Capítulo 5: Resultados caracterización del contexto urbano y edificatorio

Según el análisis de rotación del centroide de las manzanas con respecto al norte, como se muestra en la Tabla 17 se concluye que el 16% de las manzanas analizadas tiene una orientación entre 0°-15° NE, mientras que el 13% tiene una orientación entre 15°-30° NE, el 16% tiene una orientación 30°-45° NE y finalmente el 11% tiene una orientación entre 135°-150° NE.

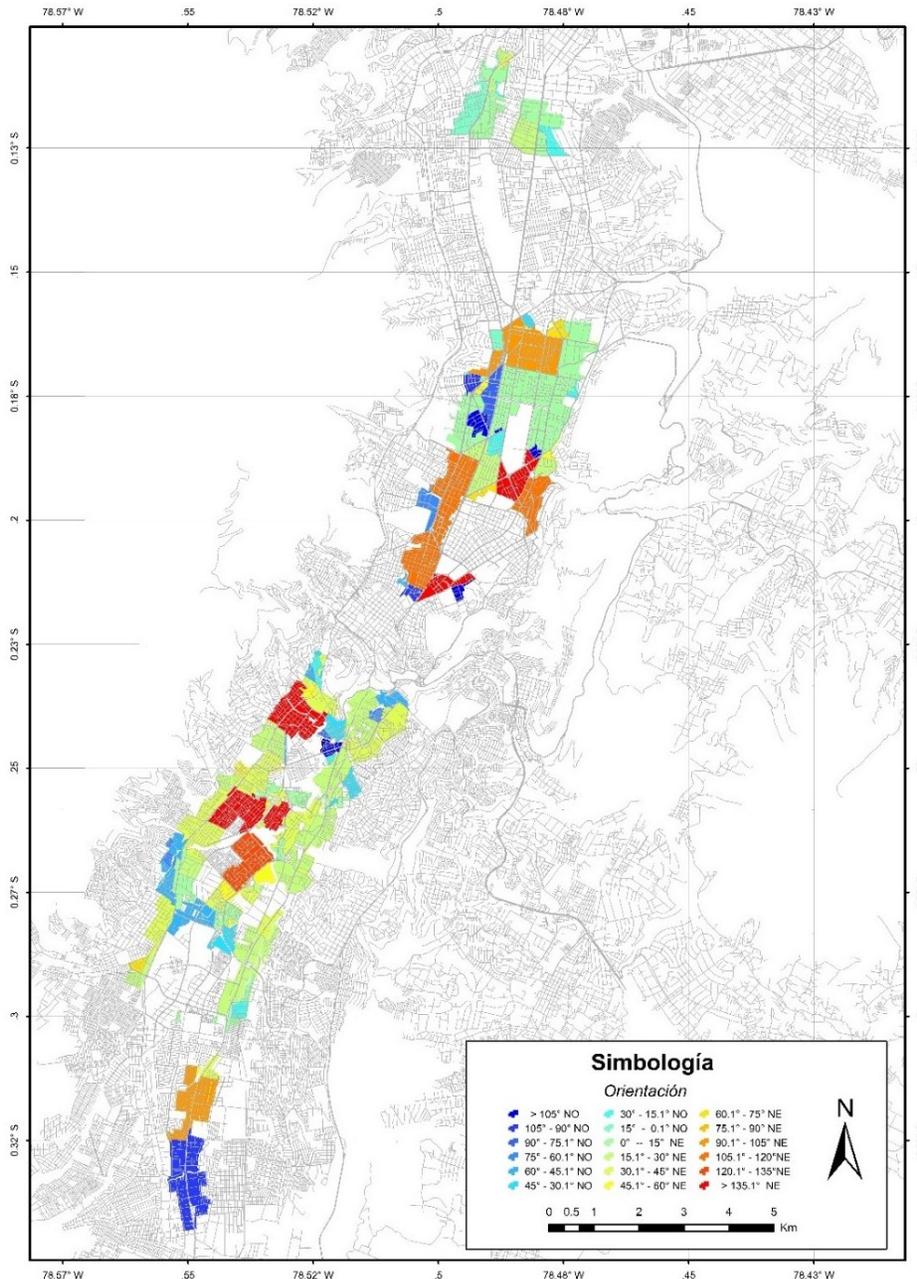


Figura 53 Orientación de manzanas del área de influencia.

Fuente: Elaboración propia. Base de datos CIUQ, 2020

Capítulo 5: Resultados caracterización del contexto urbano y edificatorio

Tabla 17 Porcentaje de Orientación de Manzanas del área de influencia.

<i>Orientación NE^a</i>			<i>Manzanas</i>	<i>Área</i>	
			<i>(UD)</i>	<i>(km²)</i>	<i>%</i>
		0,00	5	151,84	0,14
0,01	-	15,00	570	22017,76	16,18
15,01	-	30,00	446	21764,00	12,66
30,01	-	45,00	561	18223,61	15,92
45,01	-	60,00	75	20830,59	2,13
60,01	-	75,00	40	21512,11	1,14
75,01	-	90,00	0	0,00	0,00
90,01	-	105,00	271	18699,26	7,69
105,01	-	120,00	255	5023,25	7,24
120,01	-	135,00	210	11352,10	5,96
135,01	-	150,00	395	17325,31	11,21
150,01	-	165,00	35	2893,61	0,99
165,01	-	180,00	0	0,00	0,00
<i>Orientación NO^b</i>			<i>Manzanas</i>	<i>Área</i>	
			<i>(UD)</i>	<i>(km²)</i>	<i>%</i>
(-) 0,01	-	(-) 15,00	59	4699,08	1,67
(-) 15,01	-	(-) 30,00	64	21390,63	1,82
(-) 30,01	-	(-) 45,00	127	19117,48	3,60
(-) 45,01	-	(-) 60,00	116	17962,80	3,29
(-) 60,01	-	(-) 75,00	49	19967,96	1,39
(-) 75,01	-	(-) 90,00	32	20572,22	0,91
(-) 90,01	-	(-) 105,00	150	18802,21	4,26
(-) 105,01	-	(-) 120,00	63	21138,11	1,79
(-) 120,01	-	(-) 135,00	0	0,00	0,00
(-) 135,01	-	(-) 150,00	0	0,00	0,00
(-) 150,01	-	(-) 165,00	0	0,00	0,00
(-) 165,01	-	(-) 180,00	0	0,00	0,00
TOTAL			3523	303443,93	100,00

^aOrientación medida desde el Norte (0°) en sentido horario, hasta los 180°

^bOrientación medida desde el Norte (0°) en sentido antihorario horario, hasta los 180°.

Fuente: Elaboración propia. Base de datos CIUQ, 2020

Capítulo 5: Resultados caracterización del contexto urbano y edificatorio

Es importante mencionar que las manzanas tienen una longitudinalidad predominante en sentido norte-sur por lo que de las orientaciones representativas (15° - 30° - 45° - 135° en sentido Nor-Este) deben analizarse a la par de su ángulo complementario ($180-\theta$) ya que las manzanas por esta característica rectangular permiten la posible ubicación en paralelo este-este del edificio teórico tal como se muestra a continuación en la Figura 54.

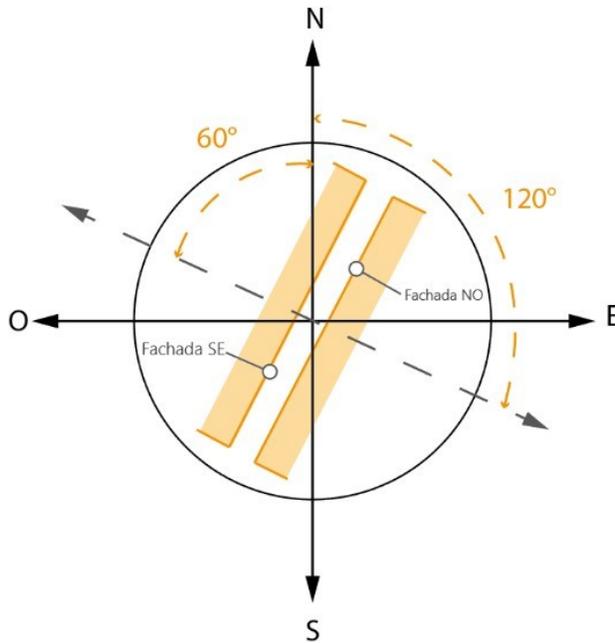


Figura 54 Orientación en manzana longitudinal

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Por lo tanto, si se suman la cantidad de manzanas y su área respectiva de las orientaciones predominantes con sus respectivos ángulos complementarios se concluye que adicionalmente a las orientaciones de 15° - 30° - 45° - 135° en sentido Nor-Este se debe incorporar las orientaciones de 90° - 105° y 135° con su respectivo ángulo complementario ya que como se observa en la Tabla 18 estas orientaciones representan el 77% de la morfología urbana en los polígonos de estudio.

Capítulo 5: Resultados caracterización del contexto urbano y edificatorio

Tabla 18 Consolidado orientación de manzanas NE+NO

Orientación NE^a			Manzanas (UD)	Área (km²)	%
		0,00	5	151,84	0,14
0,01	-	15,00	570	22017,76	16,18
15,01	-	30,00	446	21764,00	12,66
30,01	-	45,00	561	18223,61	15,92
45,01	-	60,00	138	41011,48	3,92
60,01	-	75,00	190	39644,46	5,39
75,01	-	90,00	32	19304,86	0,91
90,01	-	105,00	320	36078,17	9,08
105,01	-	120,00	371	20267,59	10,53
120,01	-	135,00	337	28010,06	9,57
135,01	-	150,00	459	38060,22	13,03
150,01	-	165,00	94	8840,37	2,67
165,01	-	180,00	0	0,00	0,00
Total			3523	293374,42	100

^a Orientación medida desde el Norte (0°) en sentido horario.

Fuente: Elaboración propia. Base de datos CIUQ, 2020

5.1.4 Resumen del Sistema de Referencia de Evaluación Urbana

La complejidad del análisis urbano sobre todo en una morfología irregular, adaptada a la topografía con gran variedad de anchos de vías y orientaciones de las manzanas obligan a la simplificación y generalización de la trama urbana, para analizar las variables y covariables de forma sistemática formulando un sistema de referencia basado en la altura de la edificación en la que se analizará el impacto de las obstrucciones solares, la altura de la obstrucción solar, la distancia entre ellos y la orientación de emplazamiento, por lo tanto se toman los valores representativos analizados anteriormente (Ver Tabla 19).

Capítulo 5: Resultados caracterización del contexto urbano y edificatorio

Tabla 19 Sistema de Referencia Urbana

Altura de Edificación		Altura de la obstrucción Solar		Distancia Horizontal					Orientación (°)									
N° Pisos	m	N° Pisos	m	m														
6	24	6	24	6	12	16	22	30	165	150	135	60	30	15	30	45	120	150
		12	48															
		18	72															
		36	144															
12	48	6	24	6	12	16	22	30	165	150	135	60	30	15	30	45	120	150
		12	48															
		18	72															
		36	144															
18	72	6	24	6	12	16	22	30	165	150	135	60	30	15	30	45	120	150
		12	48															
		18	72															
		36	144															
36	144	6	24	6	12	16	22	30	165	150	135	60	30	15	30	45	120	150
		12	48															
		18	72															
		36	144															

Capítulo 5: Resultados caracterización del contexto urbano y edificatorio

5.1.5 Tipología de Fachada

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (Encuesta de Edificaciones, 2019), los materiales más utilizados en el país en paredes es el bloque (65.3%), ladrillo (30,6%), prefabricados (2,9%) y madera, adobe tapial y otros (12%) como se muestra en la Figura 55.



Figura 55 Materiales predominantes en la construcción

Fuente: INEC.2019

Para investigar el impacto del cono de sombra sobre las demandas de iluminación se analiza las tipologías de fachadas de edificios de vivienda para las distintas escalas a través de un levantamiento del perfil con la herramienta de Google Maps. En la figura a continuación se indica la ubicación de las muestras tomadas.

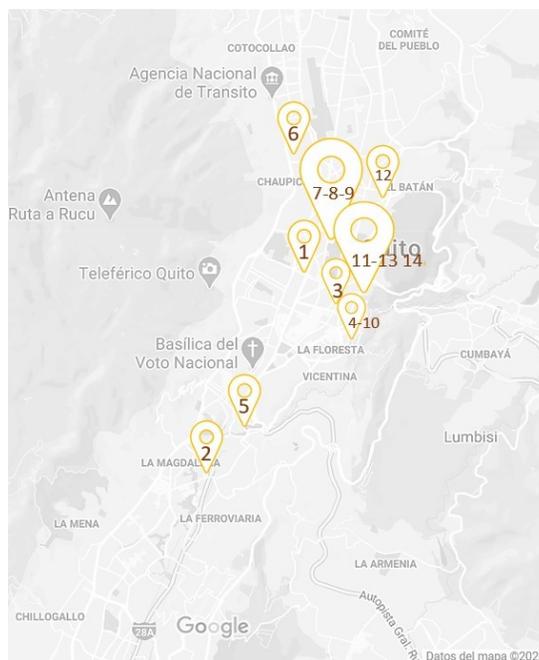


Figura 56 Ubicación de edificios muestra.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

Escala Pequeña: altura de edificación de 1 a 6 pisos.

En la escala pequeña se demuestra que en fachada existe una predominancia del área de mampostería es del 71%, mientras que el área vidriada representa el 29%, a pesar que se ha tomado casos muy diferentes para realizar el análisis.

Tabla 20 Análisis de Fachada Escala Pequeña

<i>Descripción</i>	<i>Análisis Fotográfico</i>	<i>% de Lleno (Opaco)</i>	<i>% de Vacío (Traslúcido)</i>
Vivienda de dos pisos en el sector Rumipamba al norte de la ciudad. Calle Ulloa.		73,27	26,72
Edificio de vivienda de 5 pisos en el sector de la Villaflora al sur de la ciudad. Av. Pedro Vicente Maldonado.		69,53	30,46

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Escala Mediana: altura de edificación de 7-12 pisos.

Según el análisis de la muestra aleatoria realizado de edificios del norte, centro y sur de la ciudad, se muestra que el promedio de área opaca o de mampostería en esta escala mediana, corresponde al 59,19% de la fachada mientras que el restante es área vidriada (40,80%).

Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

Tabla 21 Análisis de Fachada Escala Mediana.

<i>Descripción</i>	<i>Análisis Fotográfico</i>	<i>% de Lleno (Opaco)</i>	<i>% de Vacío (Traslúcido)</i>
Edificio de 8 pisos en la Av. Whymper en el sector centro norte de la ciudad.		63,48	36,51
Edificio de 10 pisos en la Av. González Suárez. Sector centro norte de la ciudad.		34,31	65,69
Edificio de vivienda de 8 pisos en el sector de la AV. Napo. Sector centro sur.		79,80	20,20

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Escala Grande o Intermedia: altura de edificación de 13 - 18 pisos.

Para esta escala intermedia se ha tomado como muestra distintos tipos de edificios de la ciudad, determinando como predominante que la mampostería o composición solida del edificio corresponde al 41, 27% del mismo y el 58,73% corresponde a la parte vidriada.

Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

Tabla 22 Análisis de Fachada Escala Grande.

<i>Descripción</i>	<i>Análisis Fotográfico</i>	<i>% de Lleno (Opaco)</i>	<i>% de Vacío (Traslúcido)</i>
Edificio de 13 pisos en la Av. Occidental. Sector de San Carlos.		68,34	31,65
Edificio de vivienda de 15 pisos ubicado en la calle Irlanda en el Sector del Colegio Benalcázar, centro norte de la ciudad.		26,38	73,61
Edificio de 14 pisos en la calle Rusia. Sector la Carolina, centro norte de la ciudad.		33,19	66,80
Edificio de vivienda de 18 pisos en la República del Salvador, sector centro norte de la ciudad.		37,17	62,82

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

Escala Extra Grande o Crítica: De 19-36 pisos.

En escala extra grande o crítica se observa que la predominancia del área vidriada en los edificios de muestra es del 66,38%, mientras que el 33,62% corresponde el área opaca.

Tabla 23 Análisis de Fachada Escala Extra Grande

<i>Descripción</i>	<i>Análisis Fotográfico</i>	<i>% de Lleno (Opaco)</i>	<i>% de Vacío (Traslúcido)</i>
Edificio de vivienda de 21 pisos en la Av. González Suárez, sector centro norte de la ciudad.		27,61	72,39
Edificio de vivienda de 21 pisos en la Av. Seis de Diciembre, sector La Carolina. Centro norte de la ciudad.		43,53	56,46
Edificio de vivienda de 22 pisos en la Av. 6 de Diciembre y Gaspar de Villarroel. Sector norte de la ciudad.		48,13	51,86

Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

<i>Descripción</i>	<i>Análisis Fotográfico</i>	<i>% de Lleno (Opaco)</i>	<i>% de Vacío (Traslúcido)</i>
Edificio de vivienda (en construcción) de 32 pisos en la Av. Shyris. Ubicado en el sector de La Carolina		27,37	72,63
Edificio de vivienda de 25 pisos en la Av. República y Eloy Alfaro. Sector de la Carolina, en el centro norte de la ciudad.		21,43	78,56

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Por lo tanto, para obtener un escenario unificado de análisis en cuanto al edificio teórico y a su obstrucción solar, se promedia el porcentaje de área opaca y área translúcida de todas las escalas, ya que como se muestra en la Tabla 24 en las edificaciones de menor altura predomina el área opaca a diferencia de los edificios de gran altura, por lo que se obtiene de forma simplificada un área opaca del 51% del edificio y un área translúcida del 49%.

Tabla 24 Proporciones de área opaca y translúcida de los edificios de muestra.

<i>Escala de Edificación</i>	<i>Número de Pisos</i>	<i>% de Lleno (Opaco)</i>	<i>% de Vacío (Traslúcido)</i>
<i>Baja</i>	2-6	71,00	29,00
<i>Media</i>	7-12	59,19	40,81
<i>Intermedia</i>	13-18	41,27	58,73
<i>Crítica</i>	19-36	33,62	66,38
	Promedio	51,27	48,73

5.1.6 Materialidad predominante en fachada

Debido a que en la ciudad existe un mosaico de materiales, texturas, colores y tonalidades propias de su configuración de paisaje construido y natural, resulta extremadamente complejo el intento de simplificación e identificación de materialidades representativas, por lo que con la herramienta Adobe Color se busca encontrar los “colores representativos de la ciudad” como un acercamiento para la identificación de los mismos.



Figura 57 Vista al oeste norte.

Fuente propia 2020.



Figura 58 Vista al centro sur.

Fuente propia 2020.



Figura 59 Vista al este norte.

Fuente propia 2020.

Consecuentemente, una vez obtenidas las gamas de colores se verifica con la materialidad de los edificios seleccionados como muestra y se caracteriza los materiales de fachada predominantes como parte de las variables que impactan sobre el efecto del reflejo de la radiación solar en el cañón urbano.

Se entiende por reflectancia al coeficiente entre la cantidad de radiación que recibe un material, y la cantidad de radiación que éste emite de vuelta (N. L. Alchapar et al., 2012; Anexo 2. Instructivo de Aplicación de Los Parámetros de Eco-Eficiencia., 2020).

Los materiales encontrados en las muestras corresponden a enlucidos de mortero liso y texturado en la gama del café, beige y gris, enlucidos lisos de color blanco y fachaletas de tipo ladrillo cerámico. Estos materiales son constantes en las muestras de edificios tomados por lo que se analiza el índice de reflectancia solar y emisividad (N. L. Alchapar et al., 2012; Venegas Quintulén & Piderit Moreno, 2018). El valor medio de las áreas opacas y traslúcidas se aplican a todos los modelos de cañones urbanos como una constante para igualar o asemejar las condiciones de análisis de todos los casos, como se aprecia en la Tabla 25 y Tabla 26.

Como se han establecido en estudios previos Venegas Quintulén & Piderit Moreno (2018), el trabajar con un índice de reflectancia del 54% en las superficies verticales opacas, corresponde a un valor medio de análisis, lo que se asemeja a las condiciones urbanas regulares descartando los materiales con un índice de reflectancia muy altos o bajos con el objetivo de eliminar un posible sesgo en la simulación.

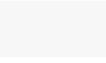
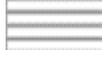
Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

Tabla 25 Muestra predominancia de materiales traslúcidos.

<i>Material</i>	<i>Tipo</i>	<i>Coficiente de Sombra</i>	<i>Factor Solar</i>	<i>Índice de Reflectancia (%)</i>	<i>Transmitancia térmica (w/m²C)</i>	<i>Coficiente de Transmisión Luminosa (%)</i>
Vidrio	Común	0,7600	0,6600	7,00	3,54500	31,00
	Cámara	0,5159	0,4488	17,00	2,8488	47,3
	Promedio	0,64	0,55	12,15	3,1969	39,2

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 26 Muestra de predominancia de materiales opacos.

<i>Imagen</i>	<i>Material</i>	<i>Terminado</i>	<i>Color</i>	<i>Emisividad</i>	<i>Índice de Reflectancia (%)</i>
	Fachaleta de Ladrillo	Liso	Terracota	0,85	54
	Mortero	Rústico	Blanco	0,85	60
	Yeso	Liso	Blanco	0,42	90
	Mortero	Rústico	Café	0,61	52
	Hormigón Visto	Liso	Blanco	0,85	80
	Mortero	Rústico	Gris	0,95	41
	Perfilería de Aluminio	Liso	Gris	0,95	54
Valor Medio				0,85	54

Fuente: Elaboración propia, 2020.

5.2 Irradiancia en Fachadas

A continuación, se presentan los resultados de la simulación de irradiancia para cada uno de los escenarios críticos analizados.

Los resultados corresponden a valores de radiación anual medida en kWh/m² recibida en el punto medio de la ventana de cada piso del edificio de 36 pisos (144 m) con una obstrucción solar de 36 pisos (144m) con los distintos distanciamientos y orientaciones anteriormente descritas, resultados obtenidos a través del programa Autodesk FormIt©.

5.2.1 Escenario 1. Análisis sin obstrucción solar.

Los valores de radiación anual en este escenario se midieron sin obstrucción solar para un edificio de 36 pisos (144m) en las distintas orientaciones establecidas, para más adelante poder comparar la reducción de radiación que recibe la fachada de estudio. Como se muestra en la Tabla 27 en este escenario no existe variación de la radiación recibida en la fachada frontal sobre la media, por lo tanto, la desviación estándar para todas las orientaciones es 0.

Tabla 27 Medidas de Tendencia Central Escenario 1 (kWh/m²)

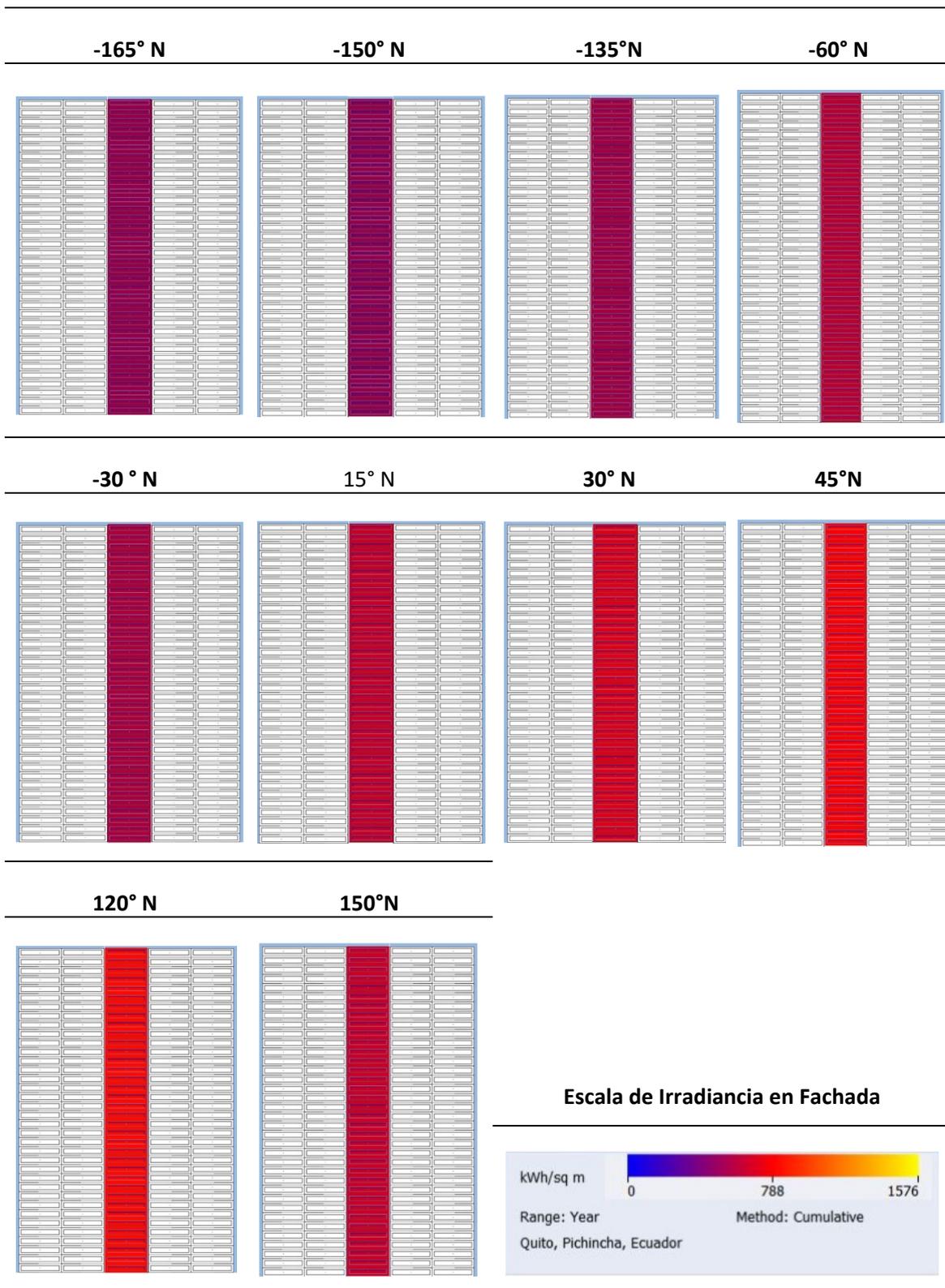
	<i>Orientación*</i>									
<i>Estadística</i>	-165°	-150°	-135°	-60°	-30°	15°	30°	45°	120°	150°
<i>Min.</i>	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
<i>Máx.</i>	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
<i>Media</i>	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
<i>Desv. Estándar</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*Rotación en sentido horario con respecto al norte.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

Tabla 28 Irradiancia Escenario 1 por orientación



Fuente: Elaboración propia, 2020.

5.2.2 Escenario 2. Cañón urbano ratio 24.

Los valores de radiación anual en este escenario se midieron con una obstrucción de 36 pisos (144m) para un edificio de 36 pisos (144m) en las distintas orientaciones establecidas, con un distanciamiento entre ellos de 6m, es decir una ratio de cañón de 24. Como se muestra en la Tabla 29 en este escenario no existe mayor dispersión en los datos con respecto a la media por cada orientación.

Tabla 29 Medidas de Tendencia Central Escenario 2 (kWh/m²)

	<i>Orientación*</i>									
<i>Estadística</i>	<i>-165°</i>	<i>-150°</i>	<i>-135°</i>	<i>-60°</i>	<i>-30°</i>	<i>15°</i>	<i>30°</i>	<i>45°</i>	<i>120°</i>	<i>150°</i>
<i>Min.</i>	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
<i>Máx.</i>	336	335	375	467	419	521	599	689	725	526
<i>Media</i>	164	165	164	164	170	177	186	183	179	181
<i>Desv. Estándar</i>	45	37	47	60	54	84	91	107	107	73

*Rotación en sentido horario con respecto al norte.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

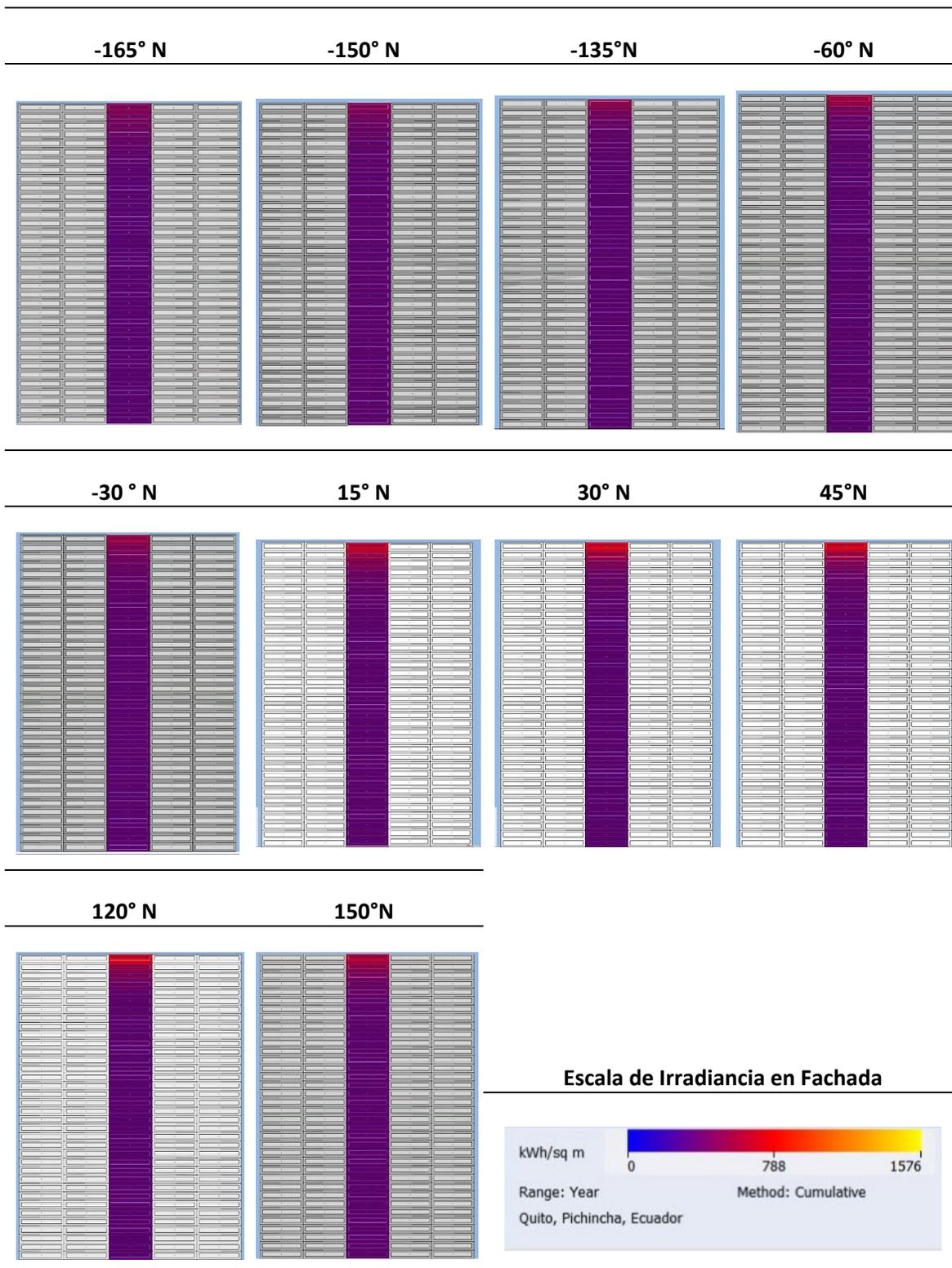
En la Tabla 30 se observa que los pisos superiores (del 25 al 36) existe una variación de radiación solar incidente en la fachada, mientras que desde el piso 24 a la planta baja se mantiene constante el valor de la radiación.

La reducción de radiación solar se estabiliza alrededor del piso 25, por lo tanto, se considera desde este piso hacia arriba como una condición de obstrucción $x, x+1, x+2, x+3...x+11$, demostrando que comparado con el escenario 1 (sin obstrucción solar) existe una disminución de acceso solar entre el 80% y 60% en este rango de pisos, entendiéndose que desde el piso 24 hacia la planta baja esta reducción solar es constante del 80% (Ver Figura 60).

Como se muestra en la Figura 61 la radiación en las fachadas en sentido Noreste no son iguales a la radiación recibida en las fachadas del sentido Noroeste, siendo la orientación 90° medido en sentido horario desde el norte la fachada que mayor reducción en todos los pisos presenta.

Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

Tabla 30 Irradiancia Escenario 2 por orientación



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

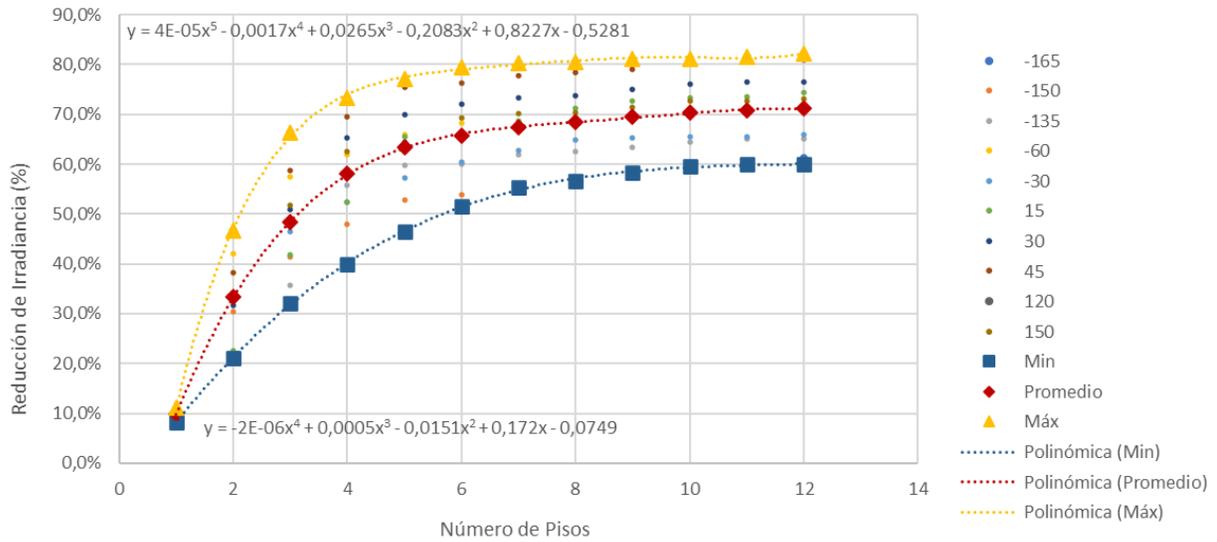


Figura 60 Escenario Crítico. Cañón urbano ratio 24

Fuente: Elaboración propia, 2020.

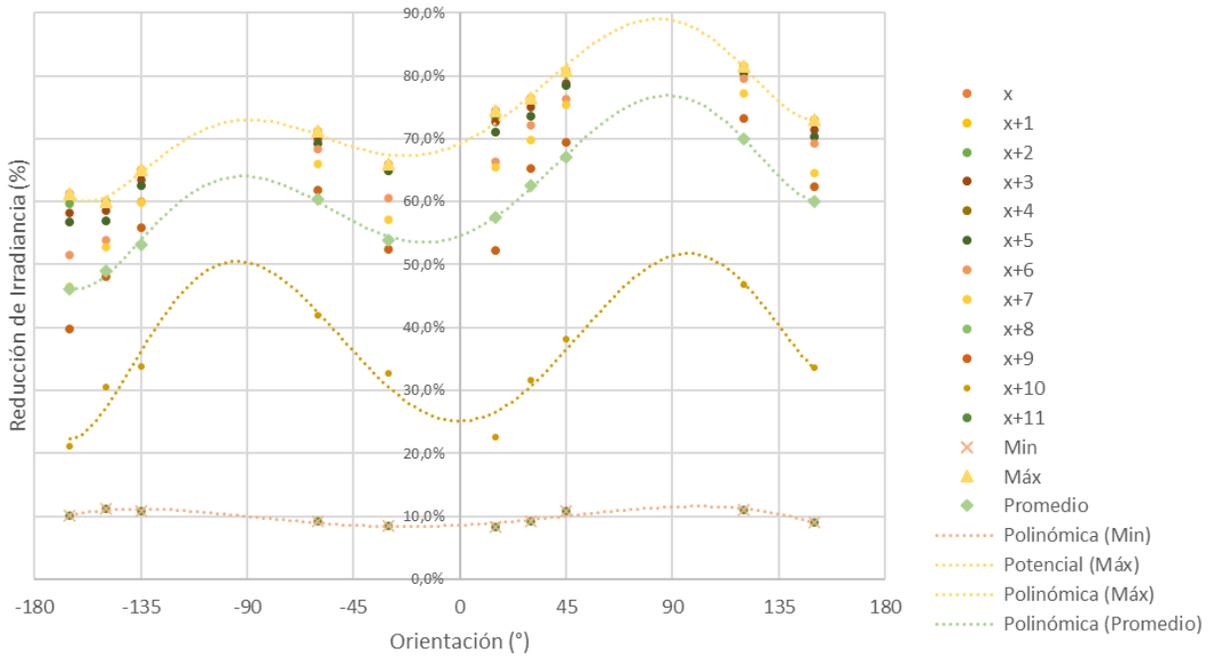


Figura 61 Análisis por orientación. Cañón urbano ratio 24.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

5.2.3 Escenario 3. Cañón urbano ratio 12.

Los valores de radiación anual en este escenario se midieron con una obstrucción de 36 pisos (144m) para un edificio de 36 pisos (144m) en las distintas orientaciones establecidas, con un distanciamiento entre ellos de 12m, es decir una ratio de cañón de 12. Como se muestra en la Tabla 31 en este escenario no existe mayor dispersión en los datos con respecto a la media por cada orientación.

Tabla 31 Medidas de Tendencia Central Escenario 3 (kWh/m²)

	<i>Orientación*</i>									
<i>Estadística</i>	<i>-165°</i>	<i>-150°</i>	<i>-135°</i>	<i>-60°</i>	<i>-30°</i>	<i>15°</i>	<i>30°</i>	<i>45°</i>	<i>120°</i>	<i>150°</i>
<i>Min.</i>	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
<i>Máx.</i>	336	335	375	467	419	521	599	689	725	526
<i>Media</i>	164	165	164	164	170	177	186	183	179	181
<i>Desv. Estándar</i>	49	49	57	77	71	103	121	140	148	99

*Rotación en sentido horario con respecto al norte.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

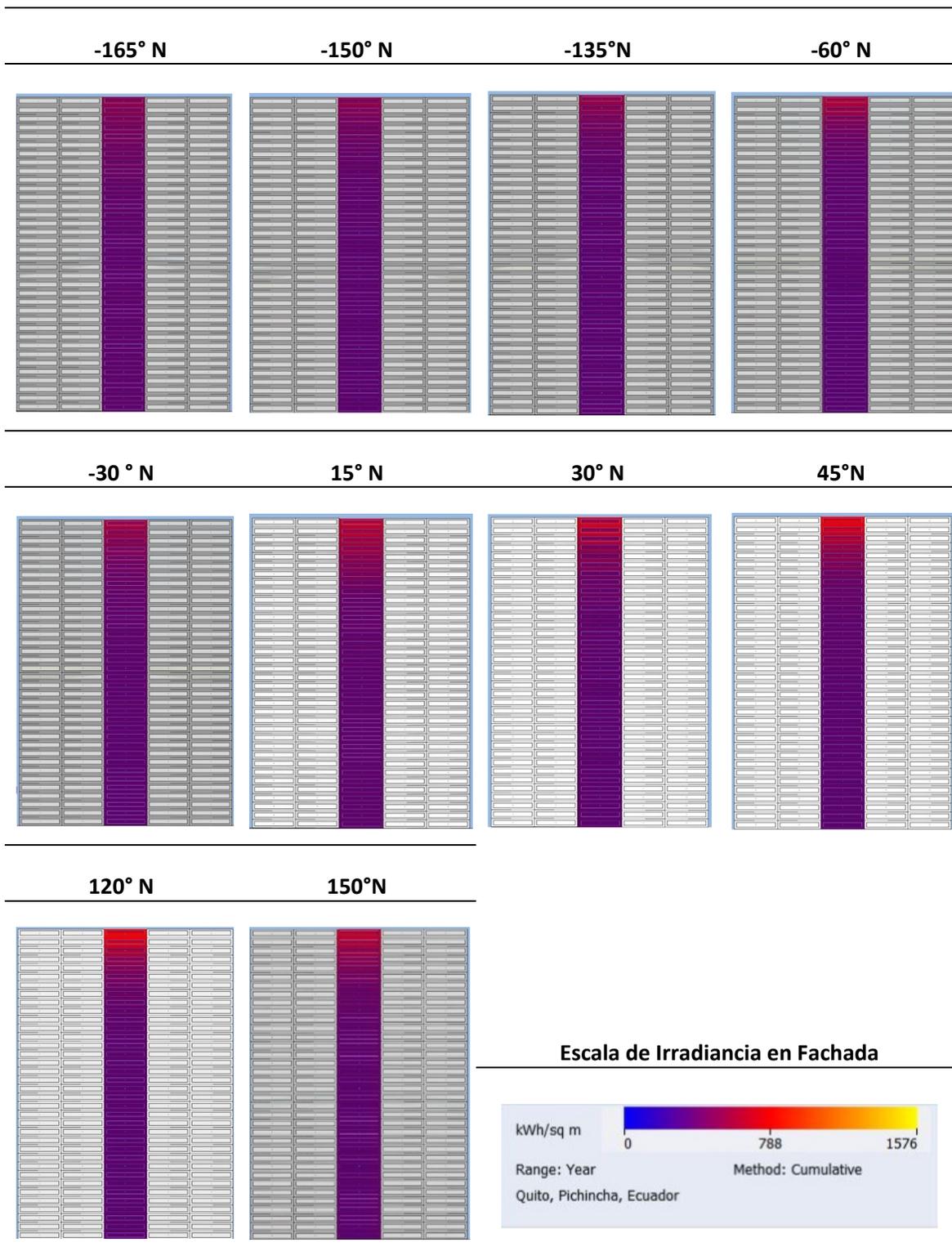
En la Tabla 32 se observa que desde los pisos medios hacia arriba (del 16 al 36) existe una variación de radiación solar incidente en la fachada, mientras que desde el piso 15 a la planta baja se mantiene constante el valor de la radiación.

La reducción de radiación solar se estabiliza alrededor del piso 16, por lo tanto, se considera desde este piso hacia arriba como una condición de obstrucción $x, x+1, x+2, x+3...x+20$, demostrando que existe una disminución de acceso solar entre el 80% y 50% en este rango de pisos, entendiéndose que desde el piso 16 hacia la planta baja esta reducción solar es constante del 80% (Ver Figura 62).

Como se muestra en la Figura 63 a las orientaciones de 90° a 135° rotadas con respecto al norte son las que más porcentaje de reducción de muestran teniendo en el piso 16 una reducción de cerca del 80% mientras que en el mismo piso en las orientaciones de 150° a 165° rotadas desde el norte tienen una reducción del 55%.

Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

Tabla 32 Irradiancia Escenario 3 por orientación



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

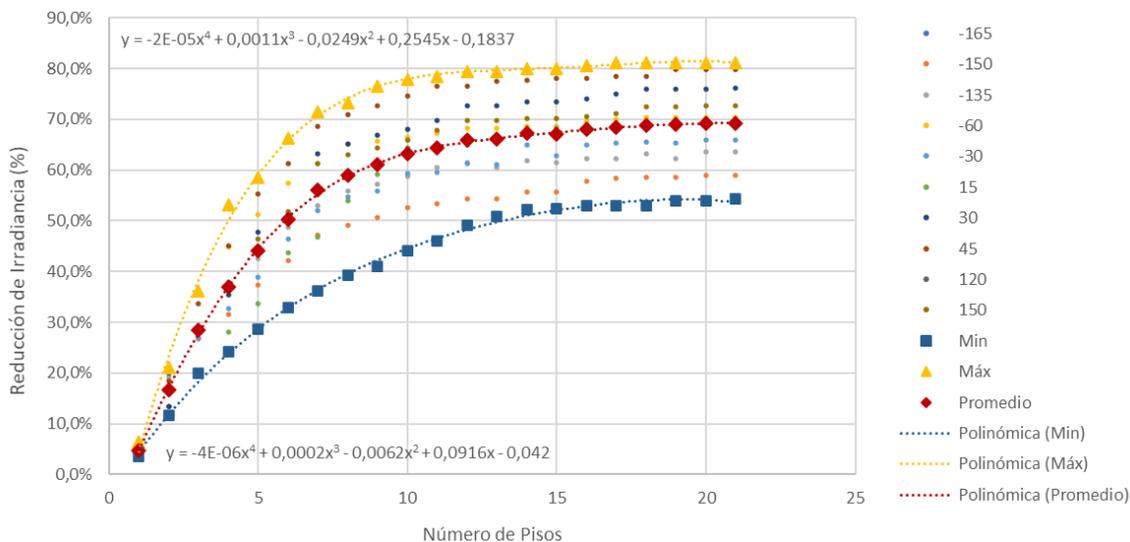


Figura 62 Escenario Crítico. Cañón urbano ratio 12.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

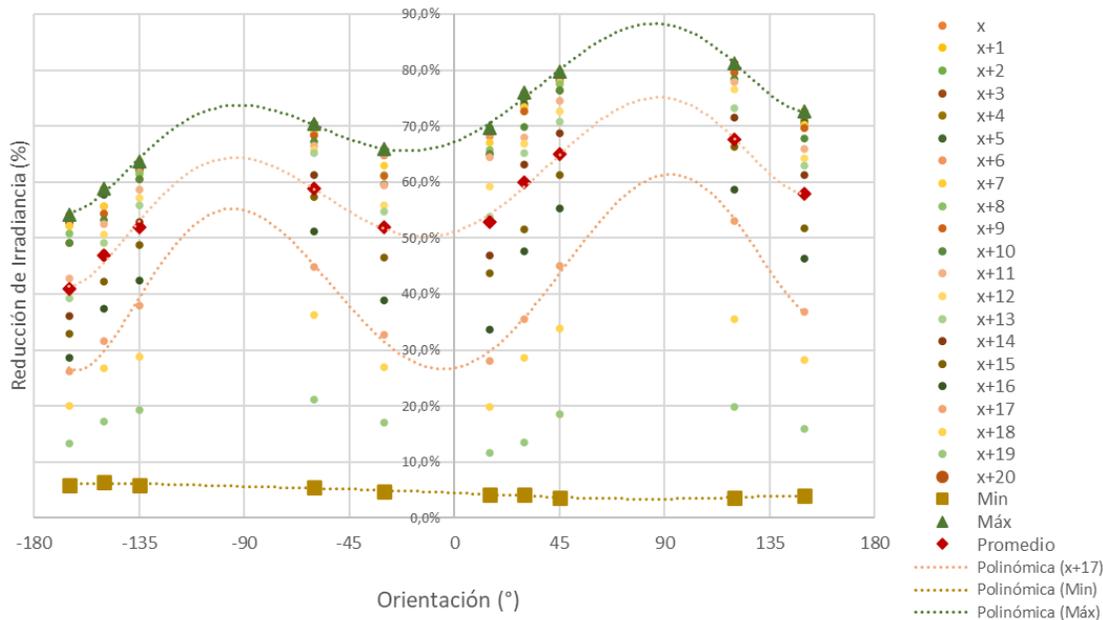


Figura 63 Análisis por orientación. Cañón urbano ratio 12.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

5.2.4 Escenario 4. Cañón urbano ratio 9.

Los valores de radiación anual en este escenario se midieron con una obstrucción de 36 pisos (144m) para un edificio de 36 pisos (144m) en las distintas orientaciones establecidas, con un distanciamiento entre ellos de 16 m, es decir una ratio de cañón de 9. Como se muestra en la Tabla 33 en este escenario no existe mayor dispersión en los datos con respecto a la media por cada orientación.

Tabla 33 Medidas de Tendencia Central Escenario 4 (kWh/m²)

	<i>Orientación*</i>									
<i>Estadística</i>	<i>-165°</i>	<i>-150°</i>	<i>-135°</i>	<i>-60°</i>	<i>-30°</i>	<i>15°</i>	<i>30°</i>	<i>45°</i>	<i>120°</i>	<i>150°</i>
<i>Min.</i>	171	168	153	153	166	172	183	156	154	185
<i>Máx.</i>	355	357	399	488	439	547	639	748	787	558
<i>Media</i>	210	200	191	200	214	245	256	245	240	242
<i>Desv. Estándar</i>	52	49	63	84	74	112	123	156	160	99

*Rotación en sentido horario con respecto al norte.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

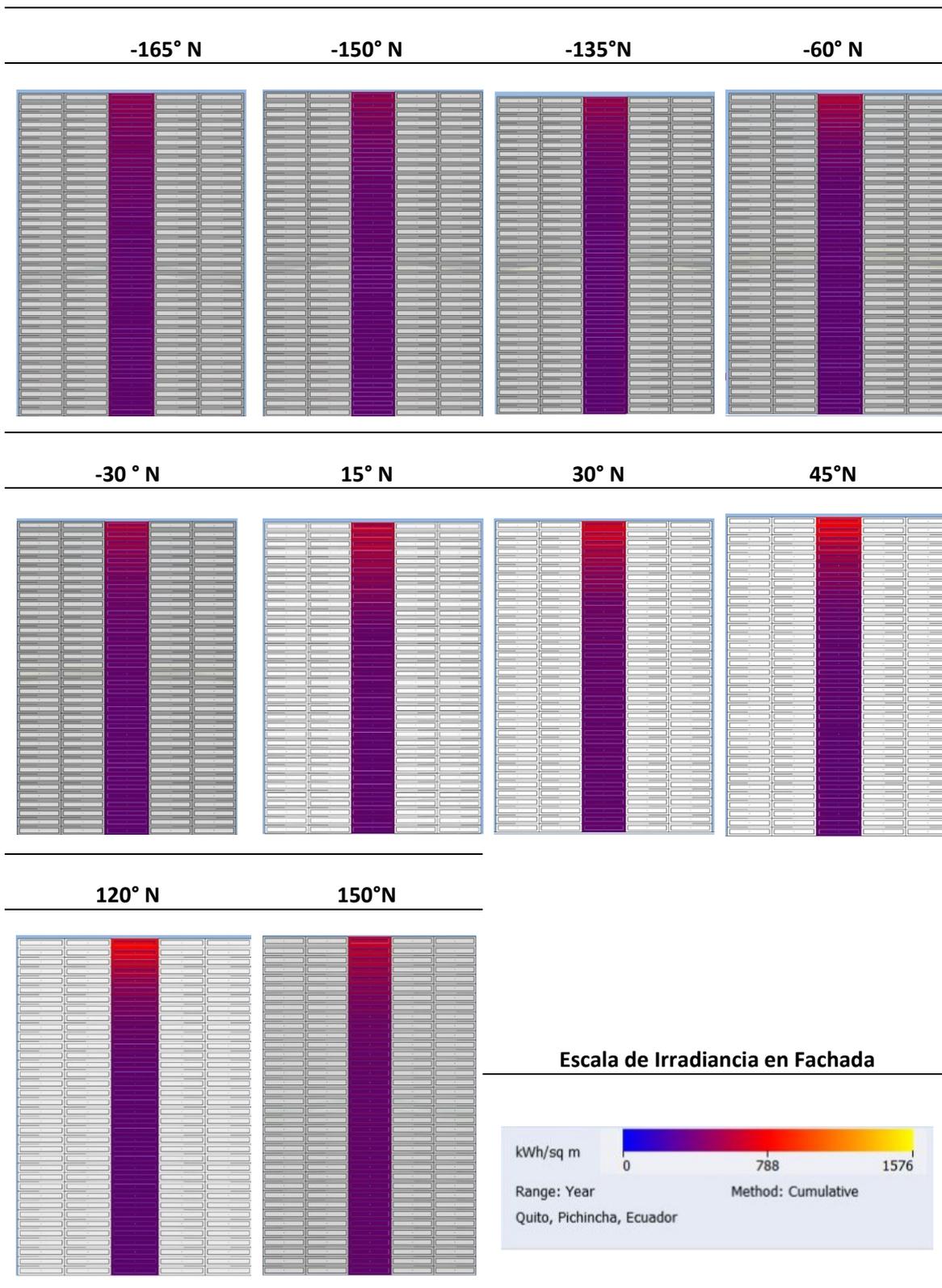
En la Tabla 34 se observa que desde los pisos medios hacia arriba (del 13 al 36) existe una variación de radiación solar incidente en la fachada, mientras que desde el piso 12 a la planta baja se mantiene constante el valor de la radiación.

La reducción de radiación solar se estabiliza alrededor del piso 13, por lo tanto, se considera desde este piso hacia arriba como una condición de obstrucción $x, x+1, x+2, x+3...x+23$, demostrando que existe una disminución de acceso solar entre el 50% y 3% en este rango de pisos, entendiéndose que desde el piso 12 hacia la planta baja esta reducción solar es constante del 50% (Ver Figura 64).

De acuerdo con la Figura 65 no existe gran rango de disminución desde el piso 20 al 13 ($x+7$ al x), sin embargo, el promedio de reducción se ubica en el piso 26 ($x+13$) ya que la reducción en los pisos altos es baja, oscilando entre el 3% y 10% de reducción.

Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

Tabla 34 Irradiancia Escenario 4 por orientación



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

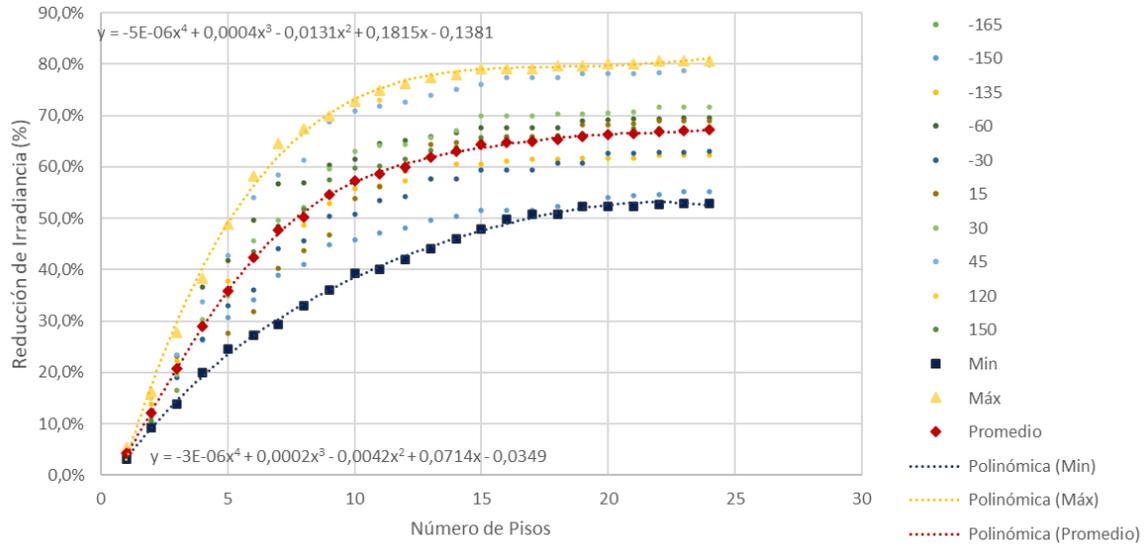


Figura 64 Escenario Crítico. Cañón urbano ratio 9.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

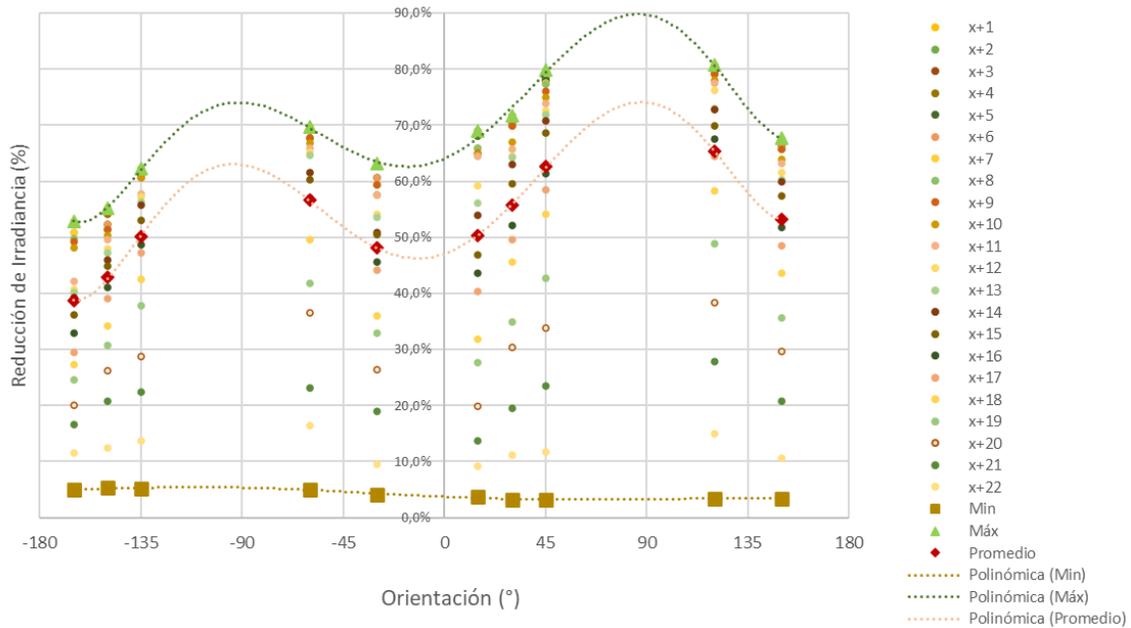


Figura 65 Análisis por orientación. Cañón urbano ratio 9.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

5.2.5 Escenario 5. Cañón urbano ratio 6,5.

Los valores de radiación anual en este escenario se midieron con una obstrucción de 36 pisos (144m) para un edificio de 36 pisos (144m) en las distintas orientaciones establecidas, con un distanciamiento entre ellos de 22 m, es decir una ratio de cañón de 6,5. Como se muestra en la Tabla 35 en este escenario no existe mayor dispersión en los datos con respecto a la media por cada orientación.

Tabla 35 Medidas de Tendencia Central Escenario 5 (kWh/m²)

	<i>Orientación*</i>									
<i>Estadística</i>	<i>-165°</i>	<i>-150°</i>	<i>-135°</i>	<i>-60°</i>	<i>-30°</i>	<i>15°</i>	<i>30°</i>	<i>45°</i>	<i>120°</i>	<i>150°</i>
<i>Min.</i>	203	169	183	156	169	213	187	203	157	187
<i>Máx.</i>	360	361	402	498	442	554	642	751	794	562
<i>Media</i>	242	211	224	218	233	301	286	307	271	264
<i>Desv. Estándar</i>	45	53	59	93	79	107	136	156	178	110

*Rotación en sentido horario con respecto al norte.

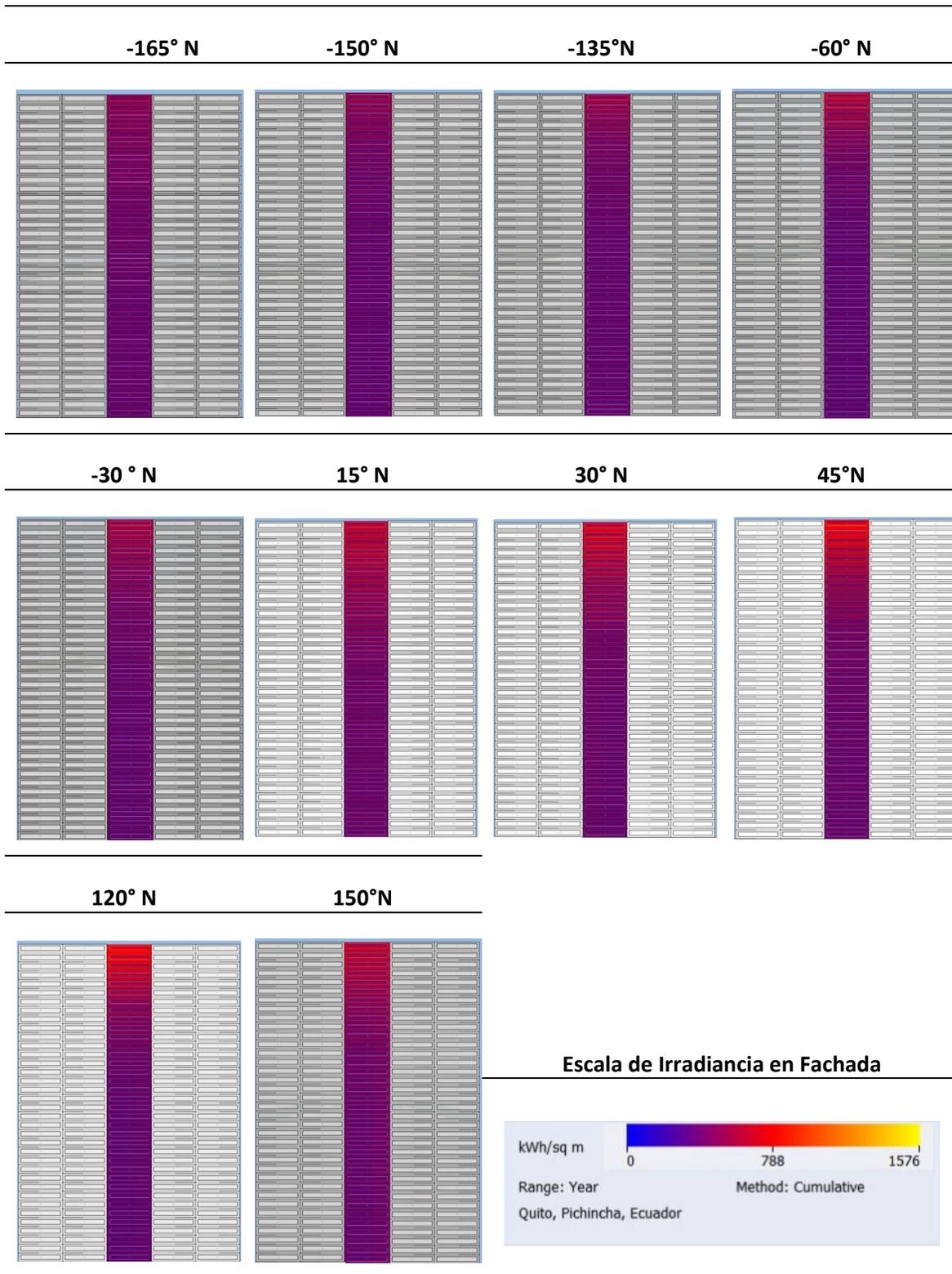
Fuente: Elaboración propia, 2020.

En la Tabla 34 se observa que desde los pisos medios hacia arriba (del 13 al 36) existe una variación de radiación solar incidente en la fachada, mientras que desde el piso 12 a la planta baja se mantiene constante el valor de la radiación.

La reducción de radiación solar se estabiliza alrededor del piso 13, por lo tanto, se considera desde este piso hacia arriba como una condición de obstrucción x , $x+1$, $x+2$, $x+3$... $x+23$, demostrando que existe una disminución de acceso solar entre el 50% y 3% en este rango de pisos, entendiéndose que desde el piso 12 hacia la planta baja esta reducción solar es constante del 50% (Ver Figura 66).

De acuerdo con la Figura 67 no existe gran rango de disminución desde el piso 20 al 13 ($x+7$ al x), sin embargo, el promedio de reducción se ubica en el piso 26 ($x+13$) ya que la reducción en los pisos altos es baja, oscilando entre el 3% y 10% de reducción.

Tabla 36 Irradiancia Escenario 5 por orientación



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

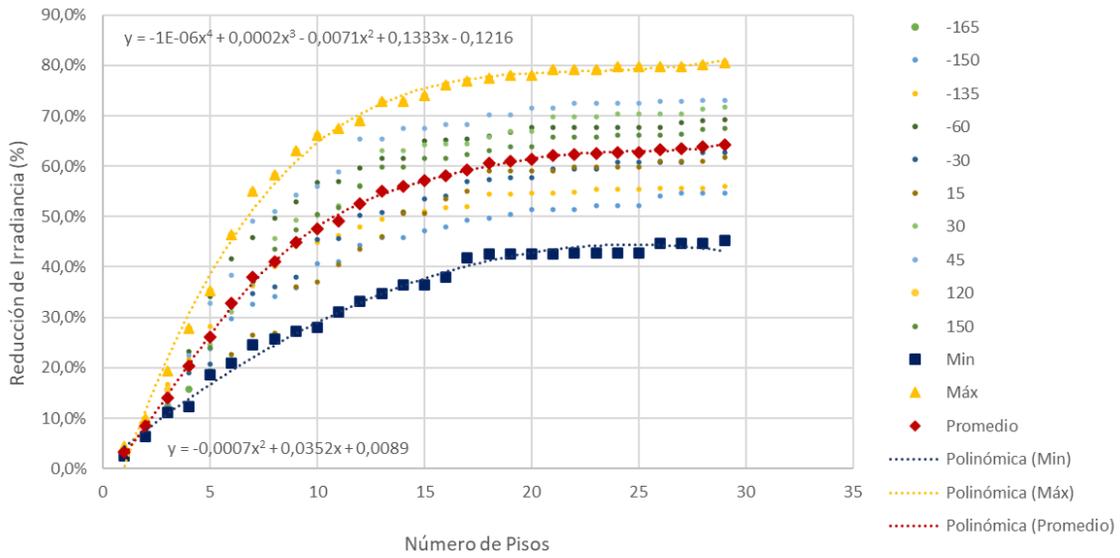


Figura 66 Escenario Crítico. Cañón urbano ratio 6,5.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

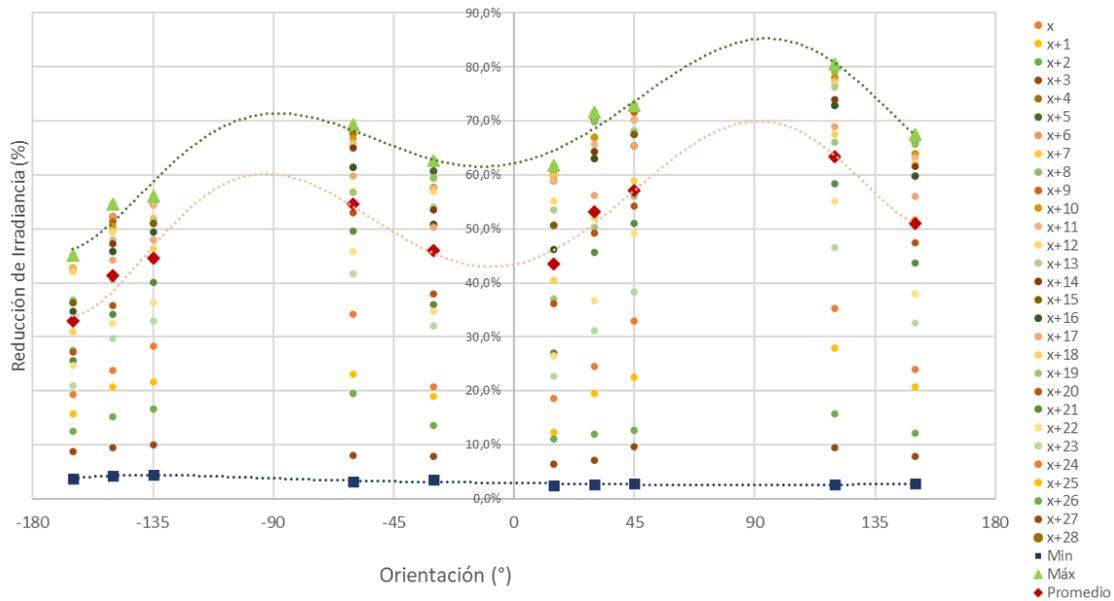


Figura 67 Análisis por orientación. Cañón urbano ratio 6,5.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

5.2.6 Escenario 6. Cañón urbano ratio 4,8.

Los valores de radiación anual en este escenario se midieron con una obstrucción de 36 pisos (144m) para un edificio de 36 pisos (144m) en las distintas orientaciones establecidas, con un distanciamiento entre ellos de 30 m, es decir una ratio de cañón de 4,8. Como se muestra en la Tabla 37 en este escenario no existe mayor dispersión en los datos con respecto a la media por cada orientación.

Tabla 37 Medidas de Tendencia Central Escenario 6 (kWh/m²)

	<i>Orientación*</i>									
<i>Estadística</i>	-165°	-150°	-135°	-60°	-30°	15°	30°	45°	120°	150°
Min.	231	196	214	177	199	284	232	256	193	234
Máx.	374	376	420	508	436	566	655	770	809	574
Media	272	239	259	248	263	373	345	377	328	318
Desv. Estándar	40	50	57	98	70	91	132	156	186	105

*Rotación en sentido horario con respecto al norte.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

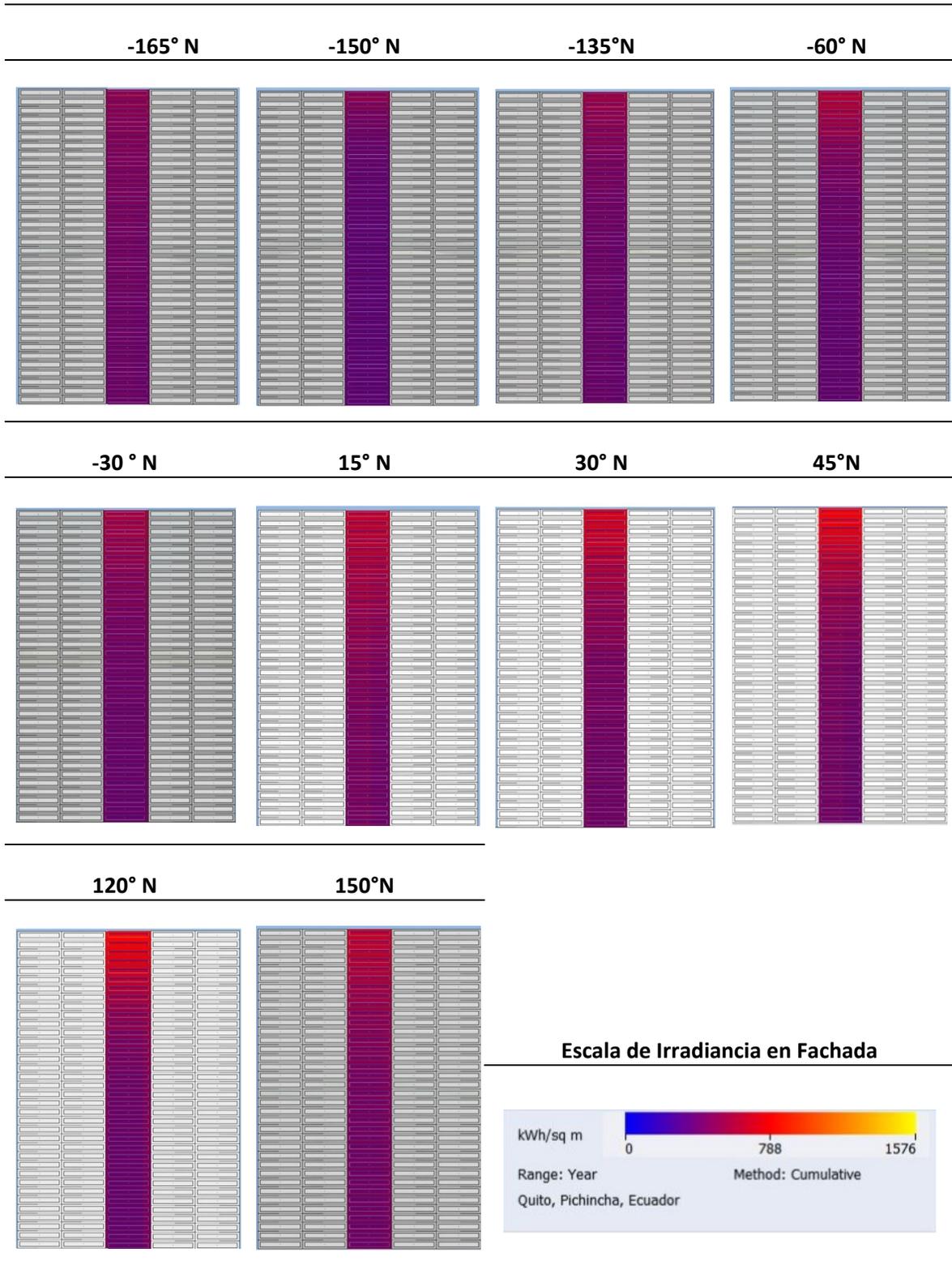
En la Tabla 38 se observa que todo el edificio tiene variación en la radiación solar incidente en la fachada, sin embargo, esta variación se estabiliza alrededor del piso 5, por lo tanto, desde este piso hasta la planta baja el valor de la radiación es constante.

La reducción de radiación solar se estabiliza alrededor del piso 5, por lo tanto, se considera desde este piso hacia arriba como una condición de obstrucción x , $x+1$, $x+2$, $x+3$... $x+31$, demostrando que existe una disminución de acceso solar entre el 38% y 0.2% en este rango de pisos, entendiéndose que desde el piso 5 hacia la planta baja esta reducción solar es constante del 38% (Ver Figura 68).

De acuerdo con la Figura 69 en promedio las reducciones solares en este escenario son del 21% al 57% dependiendo de las orientaciones, siendo el escenario con menor impacto de reducción comparado con los cañones anteriores. Al igual que los anteriores escenarios las orientaciones más afectadas son en sentido Nor Este.

Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

Tabla 38 Irradiancia Escenario 6 por orientación



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

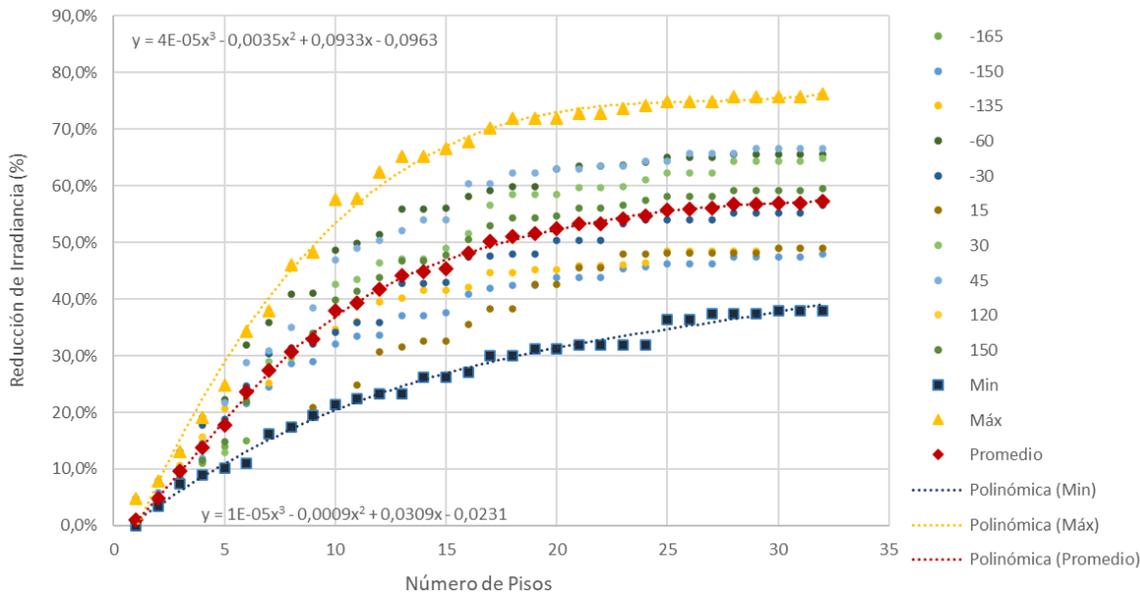


Figura 68 Escenario Crítico. Cañón urbano ratio 4,8.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

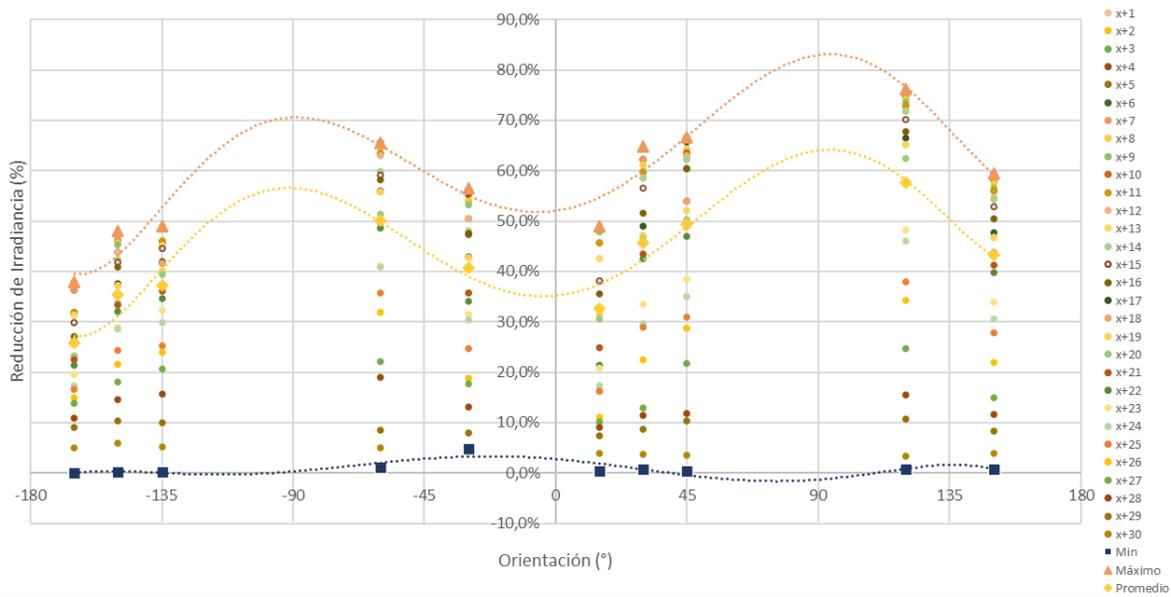


Figura 69 Análisis por orientación. Cañón urbano ratio 4,8.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

El análisis energético del edificio teórico se realizará en los pisos máximos (piso 36 para todos los casos), el piso donde se estabiliza la radiación según el escenario y los pisos que representan la reducción del 30%, 60% y 90% de radiación solar, sabiendo que este último porcentaje es la reducción máxima obtenida de los resultados.

En función de las simulaciones realizadas de los distintos escenarios con la altura del edificio, las obstrucciones solares, distanciamientos y orientaciones, se establece las ecuaciones de reducción de irradiancia solar recibida en la fachada, de modo que la simulación del resto de escenarios (bajo, medio e intermedio) pueden deducirse con estas fórmulas sin la necesidad de una nueva simulación.

Es importante tomar en cuenta la premisa de que x es el número de pisos y para analizar según el crecimiento en altura de la obstrucción solar será x+1, x+2, x+3, etc.

Tabla 39 Ley de Reducción distanciamiento 6m

<i>Orientación</i>	<i>Ecuación</i>	<i>R²</i>
-165° N	$y = -4E-06x^5 + 0,0002x^4 - 0,0022x^3 + 0,0031x^2 + 0,1174x - 0,0175$	0.9997
-150° N	$y = 7E-06x^5 - 0,0004x^4 + 0,0079x^3 - 0,0758x^2 + 0,3682x - 0,1878$	0.9995
-135° N	$y = 6E-06x^5 - 0,0002x^4 + 0,0029x^3 - 0,033x^2 + 0,2394x - 0,0843$	0.9737
-60°N	$y = 5E-05x^5 - 0,0019x^4 + 0,0288x^3 - 0,2135x^2 + 0,7876x - 0,5073$	0.9987
-30°N	$y = 4E-05x^5 - 0,0014x^4 + 0,0199x^3 - 0,1449x^2 + 0,5583x - 0,3468$	0.9997
15°N	$y = -5E-05x^5 + 0,0015x^4 - 0,018x^3 + 0,0752x^2 + 0,0398x - 0,02$	0.9961
30° N	$y = -4E-05x^5 + 0,0011x^4 - 0,0097x^3 + 0,0075x^2 + 0,2679x - 0,1782$	0.9985
45°N	$y = -1E-05x^5 + 0,0002x^4 + 0,0018x^3 - 0,0639x^2 + 0,4609x - 0,2934$	0.9994
120°N	$y = 4E-05x^5 - 0,0017x^4 + 0,0266x^3 - 0,2093x^2 + 0,8255x - 0,531$	0.9996
150°N	$y = -2E-06x^5 - 0,0001x^4 + 0,0055x^3 - 0,0763x^2 + 0,451x - 0,2933$	0.9983

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

Tabla 40 Ley de Reducción distanciamiento 12 m

Orientación	Ecuación	R²
-165° N	$y = 1E-06x^5 - 6E-05x^4 + 0,0012x^3 - 0,0138x^2 + 0,1101x - 0,0388$	0.9992
-150° N	$y = -3E-07x^5 + 1E-05x^4 + 0,0002x^3 - 0,0098x^2 + 0,1302x - 0,0534$	0.9995
-135° N	$y = 1E-07x^5 - 2E-05x^4 + 0,0007x^3 - 0,0159x^2 + 0,1689x - 0,092$	0.999
-60°N	$y = 2E-07x^5 - 3E-05x^4 + 0,0013x^3 - 0,0255x^2 + 0,2338x - 0,1561$	0.9992
-30°N	$y = -4E-07x^5 + 1E-05x^4 + 2E-05x^3 - 0,0081x^2 + 0,1342x - 0,0735$	0.9974
15°N	$y = -2E-06x^5 + 1E-04x^4 - 0,0021x^3 + 0,0153x^2 + 0,0346x - 0,0017$	0.9978
30° N	$y = -2E-06x^5 + 9E-05x^4 - 0,0015x^3 + 0,0037x^2 + 0,12x - 0,0898$	0.9996
45°N	$y = -6E-07x^5 + 2E-05x^4 + 0,0001x^3 - 0,0149x^2 + 0,2115x - 0,1677$	0.9991
120°N	$y = -2E-07x^5 - 9E-06x^4 + 0,001x^3 - 0,0253x^2 + 0,2642x - 0,2162$	0.9975
150°N	$y = -1E-06x^5 + 7E-05x^4 - 0,0009x^3 - 0,0019x^2 + 0,1373x - 0,0972$	0.9981

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Tabla 41 Ley de Reducción distanciamiento 16 m

Orientación	Ecuación	R²
-165° N	$y = 4E-07x^5 - 2E-05x^4 + 0,0006x^3 - 0,0082x^2 + 0,0805x - 0,0203$	0.999
-150° N	$y = -1E-07x^5 + 5E-06x^4 + 5E-05x^3 - 0,0053x^2 + 0,0937x - 0,0358$	0.9998
-135° N	$y = -2E-07x^5 + 9E-06x^4 + 5E-06x^3 - 0,0061x^2 + 0,1148x - 0,0628$	0.9981
-60°N	$y = -4E-07x^5 + 2E-05x^4 - 0,0002x^3 - 0,0064x^2 + 0,1367x - 0,0865$	0.9985
-30°N	$y = -4E-07x^5 + 3E-05x^4 - 0,0004x^3 - 0,0007x^2 + 0,0863x - 0,0534$	0.9976
15°N	$y = -5E-07x^5 + 4E-05x^4 - 0,0011x^3 + 0,0104x^2 + 0,0218x + 0,0086$	0.998
30° N	$y = -6E-07x^5 + 4E-05x^4 - 0,0008x^3 + 0,0025x^2 + 0,0891x - 0,065$	0.9972
45°N	$y = -8E-07x^5 + 5E-05x^4 - 0,0009x^3 + 0,0011x^2 + 0,1178x - 0,1003$	0.9974
120°N	$y = -4E-07x^5 + 2E-05x^4 - 1E-04x^3 - 0,0089x^2 + 0,1706x - 0,1415$	0.9979
150°N	$y = -6E-07x^5 + 4E-05x^4 - 0,0007x^3 + 0,0006x^2 + 0,0961x - 0,0701$	0.9987

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Capítulo 5: Resultados Irradiancia en Fachada

Tabla 42 Ley de Reducción distanciamiento 22 m

Orientación	Ecuación	R²
-165° N	$\gamma = -3E-08x^4 + 1E-05x^3 - 0,0012x^2 + 0,0399x + 0,0113$	0.999
-150° N	$\gamma = -1E-08x^5 + 2E-07x^4 + 6E-05x^3 - 0,0032x^2 + 0,0691x - 0,0259$	0.9998
-135° N	$\gamma = -7E-08x^5 + 4E-06x^4 - 4E-06x^3 - 0,0036x^2 + 0,0819x - 0,043$	0.9981
-60° N	$\gamma = -8E-08x^5 + 4E-06x^4 + 1E-05x^3 - 0,005x^2 + 0,1103x - 0,0963$	0.9959
-30° N	$\gamma = -1E-07x^5 + 9E-06x^4 - 0,0002x^3 + 0,0007x^2 + 0,0544x - 0,0265$	0.9947
15° N	$\gamma = 3E-06x^4 - 0,0002x^3 + 0,0025x^2 + 0,0274x - 0,0004$	0.9971
30° N	$\gamma = -4E-07x^5 + 3E-05x^4 - 0,0008x^3 + 0,0075x^2 + 0,0346x - 0,0207$	0.9963
45° N	$\gamma = -4E-07x^5 + 3E-05x^4 - 0,0007x^3 + 0,0035x^2 + 0,0719x - 0,0626$	0.9994
120° N	$\gamma = -3E-07x^5 + 2E-05x^4 - 0,0005x^3 + 1E-04x^2 + 0,1043x - 0,1044$	0.9952
150° N	$\gamma = -3E-07x^5 + 3E-05x^4 - 0,0007x^3 + 0,0058x^2 + 0,0429x - 0,0269$	0.9998

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Tabla 43 Ley de Reducción distanciamiento 30 m

Orientación	Ecuación	R²
-165° N	$\gamma = 4E-08x^5 - 4E-06x^4 + 0,0002x^3 - 0,0038x^2 + 0,048x - 0,0348$	0.9925
-150° N	$\gamma = 3E-08x^5 - 3E-06x^4 + 0,0001x^3 - 0,0039x^2 + 0,0646x - 0,058$	0.9981
-135° N	$\gamma = -5E-08x^5 + 3E-06x^4 - 4E-05x^3 - 0,002x^2 + 0,0614x - 0,0593$	0.9981
-60° N	$\gamma = -2E-07x^5 + 1E-05x^4 - 0,0003x^3 + 0,0009x^2 + 0,0649x - 0,0744$	0.9954
-30° N	$\gamma = 4E-08x^5 - 4E-06x^4 + 0,0001x^3 - 0,0033x^2 + 0,0589x - 0,0168$	0.9936
15° N	$\gamma = 7E-08x^5 - 5E-06x^4 + 0,0001x^3 - 0,001x^2 + 0,0279x - 0,0167$	0.9955
30° N	$\gamma = -2E-07x^5 + 2E-05x^4 - 0,0005x^3 + 0,0059x^2 + 0,0203x - 0,0232$	0.9932
45° N	$\gamma = -2E-07x^5 + 1E-05x^4 - 0,0004x^3 + 0,0035x^2 + 0,0434x - 0,0534$	0.9957
120° N	$\gamma = -3E-07x^5 + 3E-05x^4 - 0,0008x^3 + 0,0069x^2 + 0,045x - 0,0646$	0.9968
150° N	$\gamma = -2E-07x^5 + 2E-05x^4 - 0,0005x^3 + 0,005x^2 + 0,025x - 0,0277$	0.9977

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

5.3 Demanda de Iluminación y Calefacción

A continuación, se presentarán los resultados de la simulación de la demanda energética anual en kWh/m² en cuanto a calefacción e iluminación por cada piso del edificio teórico, en las distintas orientaciones y distanciamientos, en los pisos que respondan al 30%, 60% y 90% de reducción solar, así como el mínimo y el máximo. Para esto se ha modelado el edificio teórico y sus obstrucciones solares en el software Design Builder®, usando las configuraciones de envolvente, iluminación, ventilación que han sido detalladas en la metodología. Se analizó de forma separada cada escenario para evitar la proyección de sombras indeseadas e imprecisiones en los modelos.

5.3.1 Escenario 1. Demanda de iluminación y calefacción sin obstrucción solar.

Como se puede ver en la Tabla 44 y Tabla 45 en el escenario base o escenario sin obstrucción solar la demanda de iluminación y calefacción es constante para todos los pisos (330,94 m²) del edificio teórico de 36 plantas (11913,74 m²), lo que permite comprar con los escenarios de reducción de radiación y por ende demandas de iluminación y calefacción.

Es importante mencionar que tal como se ha definido en la metodología el horario de ocupación es de 6am a 6pm, por lo tanto, según las simulaciones realizadas, la demanda de calefacción es muy baja.

Tabla 44 Demanda de Iluminación Anual (kWh/m²). Escenario Base.

<i>Piso</i>	<i>Orientación (°)</i>									
	<i>-165</i>	<i>-150</i>	<i>-135</i>	<i>-60</i>	<i>-30</i>	<i>15</i>	<i>30</i>	<i>45</i>	<i>120</i>	<i>150</i>
1	7,68	7,60	7,55	7,46	7,47	7,62	7,68	7,73	7,75	7,72
5	7,68	7,60	7,55	7,46	7,47	7,62	7,68	7,73	7,75	7,72
10	7,68	7,60	7,55	7,46	7,47	7,62	7,68	7,73	7,75	7,72
15	7,68	7,60	7,55	7,46	7,47	7,62	7,68	7,73	7,75	7,72
20	7,68	7,60	7,55	7,46	7,47	7,62	7,68	7,73	7,75	7,72
25	7,68	7,60	7,55	7,46	7,47	7,62	7,68	7,73	7,75	7,72
30	7,68	7,60	7,55	7,46	7,47	7,62	7,68	7,73	7,75	7,72
35	7,68	7,60	7,55	7,46	7,47	7,62	7,68	7,73	7,75	7,72
36	7,68	7,60	7,55	7,46	7,47	7,62	7,68	7,73	7,75	7,72
Total	7,68	7,60	7,55	7,46	7,47	7,62	7,68	7,73	7,75	7,72

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Capítulo 5: Resultados Análisis Energético

Tabla 45 Demanda de Calefacción Anual (kWh/m²). Escenario Base

Piso	Orientación (°)									
	-165	-150	-135	-60	-30	15	30	45	120	150
1	0,22	0,22	0,21	0,25	0,26	0,28	0,26	0,23	0,20	0,19
5	0,22	0,22	0,21	0,25	0,26	0,28	0,26	0,23	0,20	0,19
10	0,22	0,22	0,21	0,25	0,26	0,28	0,26	0,23	0,20	0,19
15	0,22	0,22	0,21	0,25	0,26	0,28	0,26	0,23	0,20	0,19
20	0,22	0,22	0,21	0,25	0,26	0,28	0,26	0,23	0,20	0,19
25	0,22	0,22	0,21	0,25	0,26	0,28	0,26	0,23	0,20	0,19
30	0,22	0,22	0,21	0,25	0,26	0,28	0,26	0,23	0,20	0,19
35	0,22	0,22	0,21	0,25	0,26	0,28	0,26	0,23	0,20	0,19
36	0,22	0,22	0,21	0,25	0,26	0,28	0,26	0,23	0,20	0,19
Total	0,22	0,22	0,21	0,25	0,26	0,28	0,26	0,23	0,20	0,19

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

5.3.2 Escenario 2. Demanda de iluminación y calefacción cañón urbano ratio 24.

Los valores de demanda de iluminación y calefacción anual en este escenario se midieron con una obstrucción de 36 pisos (144m) para un edificio de 36 pisos (144m) en las distintas orientaciones establecidas, con un distanciamiento entre ellos de 6 m, es decir una ratio de cañón de 24. En la Tabla 47 y Tabla 47 se muestra las demandas en kWh/m² de los pisos x, x+6, x+9, x+10, x+11 correspondiendo a los pisos 25, 31, 34, 35, 36 respectivamente.

Tabla 46 Demanda de Iluminación Anual (kWh/m²). Escenario 2

Obstrucción	Orientación (°)									
	-165°	-150°	-135°	-60°	-30°	15°	30°	45°	120°	150°
X	44,54	44,47	44,66	44,58	44,24	42,92	42,75	44,26	44,65	44,36
X+6	42,65	42,66	43,00	42,94	42,28	41,35	41,22	41,86	42,77	42,37
x+9	33,63	34,10	34,13	34,14	33,58	32,58	33,98	33,98	33,91	33,68
x+10	24,02	23,98	23,51	23,58	23,53	24,70	25,81	24,87	23,25	23,49
X+11	14,03	13,81	13,49	13,45	13,25	16,06	16,82	12,80	13,03	13,33
Total	42,66	42,62	42,80	42,73	42,35	41,17	41,15	42,43	42,75	42,55

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Capítulo 5: Resultados Análisis Energético

Tabla 47 Demanda de Calefacción Anual (kWh/m²). Escenario 2

Obstrucción	Orientación (°)									
	-165°	-150°	-135°	-60°	-30°	15°	30°	45°	120°	150°
X	0,50	0,49	0,51	0,51	0,52	0,61	0,61	0,51	0,51	0,50
X+6	0,43	0,42	0,44	0,44	0,44	0,53	0,53	0,44	0,44	0,42
x+9	0,39	0,38	0,40	0,40	0,40	0,48	0,48	0,40	0,40	0,39
x+10	0,38	0,37	0,38	0,39	0,39	0,46	0,46	0,38	0,38	0,37
X+11	0,35	0,34	0,35	0,36	0,36	0,42	0,43	0,36	0,35	0,35
Total Edif.	0,59	0,64	0,61	0,61	0,62	0,67	0,66	0,61	0,60	0,65

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

En este escenario en promedio el edificio teórico requiere 42,30 kWh/m² para cubrir la demanda de iluminación generada por la obstrucción solar lo que significa 504188,48 kWh del edificio completo al año. Por otro lado, se requiere de 0,63 kWh/m² para cubrir la demanda de calefacción, siendo 7467,11 kWh del edificio completo al año.

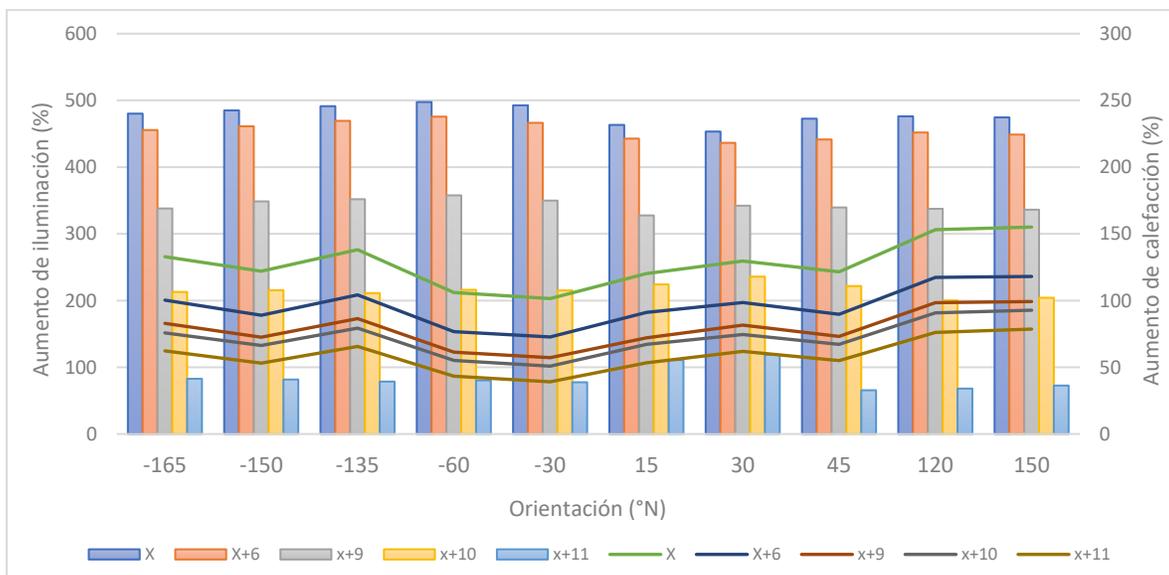


Figura 70 Demanda de Iluminación y Calefacción. Escenario 2 (Barras iluminación, líneas calefacción)

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Capítulo 5: Resultados Análisis Energético

Como se muestra en la Figura 70 el incremento de la demanda de iluminación en el piso x (25), piso en que se estabiliza la reducción de radiación para este cañón (6m), es cerca del 480% con respecto al escenario base y en demanda de calefacción incrementa en 130%, aun a pesar que no representa ni 1 kWh/m² anual: condición que será similar para todos los pisos inferiores a este. Por otro lado, el piso superior x+11 (36) tiene un incremento de demanda de iluminación de cerca del 80%, mientras que la demanda de calefacción un incremento de 60%.

5.3.3 Escenario 3. Demanda de iluminación y calefacción cañón urbano ratio 12.

Los valores de demanda de iluminación y calefacción anual en este escenario se midieron con una obstrucción de 36 pisos (144m) para un edificio de 36 pisos (144m) en las distintas orientaciones establecidas, con un distanciamiento entre ellos de 12 m, es decir una ratio de cañón de 12. En la Tabla 48 y Tabla 49 se muestra las demandas en kWh/m² de los pisos x, x+10, x+16, x+18, x+20 correspondiendo a los pisos 16, 26, 32, 34, 36 respectivamente.

Tabla 48 Demanda de Iluminación Anual (kWh/m²). Escenario 3

<i>Obstrucción</i>	<i>Orientación (°)</i>									
	<i>-165°</i>	<i>-150°</i>	<i>-135°</i>	<i>-60°</i>	<i>-30°</i>	<i>15°</i>	<i>30°</i>	<i>45°</i>	<i>120°</i>	<i>150°</i>
X	39,80	39,75	44,29	40,82	39,87	40,00	39,69	40,00	44,52	40,14
X+10	38,34	38,77	41,99	39,31	38,74	38,67	38,74	38,67	42,25	38,98
x+16	29,48	30,56	32,46	30,81	30,46	29,31	30,62	29,31	32,32	30,78
x+18	23,10	23,65	22,64	22,89	23,47	22,92	23,48	22,92	22,41	23,54
X+20	8,89	8,82	8,40	8,79	8,68	8,75	8,81	8,75	8,59	8,88
Total	36,54	36,89	40,08	37,37	36,86	36,66	36,89	36,74	40,10	37,17

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

En este escenario en promedio el edificio teórico requiere 37,53 kWh/m² para cubrir la demanda de iluminación generada por la obstrucción solar lo que significa 447125,84 kWh del edificio completo al año. Adicionalmente en cuanto a la demanda de calefacción, el edificio requiere en promedio 0,55 kWh/m² lo que para el edificio completo representa 6570,91 kWh.

Capítulo 5: Resultados Análisis Energético

Tabla 49 Demanda de Calefacción Anual (kWh/m²). Escenario 3

Obstrucción	Orientación (°)									
	-165°	-150°	-135°	-60°	-30°	15°	30°	45°	120°	150°
X	0,51	0,50	0,52	0,55	0,55	0,65	0,65	0,52	0,53	0,52
X+10	0,41	0,40	0,42	0,43	0,44	0,53	0,53	0,42	0,43	0,42
x+16	0,35	0,34	0,37	0,38	0,38	0,46	0,46	0,36	0,37	0,36
x+18	0,33	0,32	0,34	0,36	0,36	0,43	0,43	0,33	0,35	0,34
X+20	0,30	0,29	0,30	0,31	0,32	0,39	0,38	0,28	0,31	0,31
Total	0,51	0,52	0,52	0,57	0,56	0,63	0,61	0,53	0,51	0,56

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Como se muestra en la Figura 71 el incremento de la demanda de iluminación (barras) en el piso x (16), piso en que se estabiliza la reducción de radiación para este cañón (12m), es cerca del 440% con respecto al escenario base y en demanda de calefacción incrementa en 140%, condición que será similar para todos los pisos inferiores a este. Por otro lado, el piso superior x+20 (36) tiene un incremento de demanda de iluminación de cerca del 15%, mientras que la demanda de calefacción (líneas) un incremento de 40%.

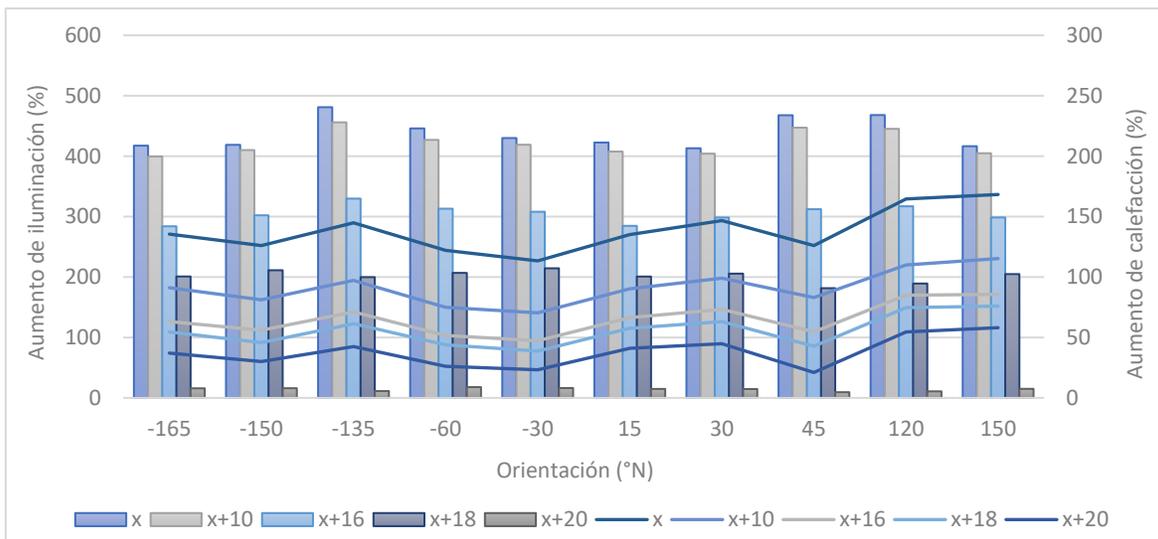


Figura 71 Demanda de Iluminación y Calefacción. Escenario 3. (Barras iluminación, líneas calefacción)

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

5.3.4 Escenario 4. Demanda de iluminación y calefacción cañón urbano ratio 9.

Los valores de demanda de iluminación y calefacción anual en este escenario se midieron con una obstrucción de 36 pisos (144m) para un edificio de 36 pisos (144m) en las distintas orientaciones establecidas, con un distanciamiento entre ellos de 16 m, es decir una ratio de cañón de 9. En la Tabla 50 y Tabla 62 se muestra las demandas en kWh/m² de los pisos x, x+10, x+16, x+18, x+20 correspondiendo a los pisos 16, 26, 32, 34, 36 respectivamente. Es importante mencionar que en este escenario se analizan las mismas plantas que en el escenario 3, debido a que los rangos de disminución son los mismos ya que la distancia solo varía en 4m.

Tabla 50 Demanda de Iluminación Anual (kWh/m²). Escenario 4

<i>Obstrucción</i>	<i>Orientación (°)</i>									
	<i>-165°</i>	<i>-150°</i>	<i>-135°</i>	<i>-60°</i>	<i>-30°</i>	<i>15°</i>	<i>30°</i>	<i>45°</i>	<i>120°</i>	<i>150°</i>
X	36,54	36,47	36,87	37,47	36,45	36,37	36,47	37,34	40,81	36,52
X+10	33,43	34,22	34,66	35,12	34,26	33,36	34,30	35,35	37,99	34,35
x+16	24,61	25,42	25,06	25,25	25,24	24,52	25,40	24,98	26,35	25,53
x+18	18,88	19,36	18,51	18,37	19,16	18,80	19,32	18,27	17,68	19,38
X+20	8,36	8,34	8,30	8,25	8,19	8,29	8,33	8,34	8,17	8,42
Total	32,77	32,99	33,23	33,75	32,98	32,67	32,99	34,44	36,55	33,03

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

En este escenario en promedio el edificio teórico requiere 33,54 kWh/m² para cubrir la demanda de iluminación generada por la obstrucción solar lo que significa 399611,30 kWh del edificio completo al año. Adicionalmente en cuanto a la demanda de calefacción, el edificio requiere en promedio 0,53 kWh/m² lo que para el edificio completo representa 6310,20 kWh.

Al igual que en el resto de escenarios se puede analizar que la demanda de iluminación y calefacción por piso analizado no varía significativamente en función de la orientación, sin embargo, es importante el impacto de acuerdo al número de pisos que tiene en frente de obstrucción solar.

Capítulo 5: Resultados Análisis Energético

Tabla 51 Demanda de Calefacción Anual (kWh/m²). Escenario 4

Obstrucción	Orientación (°)									
	-165°	-150°	-135°	-60°	-30°	15°	30°	45°	120°	150°
X	0,51	0,50	0,52	0,54	0,53	0,64	0,64	0,50	0,51	0,49
X+10	0,41	0,40	0,42	0,43	0,43	0,52	0,52	0,41	0,42	0,41
x+16	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,45	0,45	0,35	0,36	0,35
x+18	0,33	0,32	0,33	0,34	0,34	0,42	0,42	0,32	0,34	0,32
X+20	0,29	0,27	0,29	0,30	0,30	0,37	0,37	0,26	0,30	0,28
Total	0,50	0,50	0,51	0,54	0,53	0,61	0,60	0,51	0,50	0,48

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Como se muestra en la Figura 72 el incremento de la demanda de iluminación (barras) en el piso x (16), piso en que se estabiliza la reducción de radiación para este cañón (16 m), es cerca del 380% con respecto al escenario base y en demanda de calefacción incrementa en 133%, condición que será similar para todos los pisos inferiores a este. Por otro lado, el piso superior x+20 (36) tiene un incremento de demanda de iluminación de cerca del 10%, mientras que la demanda de calefacción (líneas) un incremento de 30%.

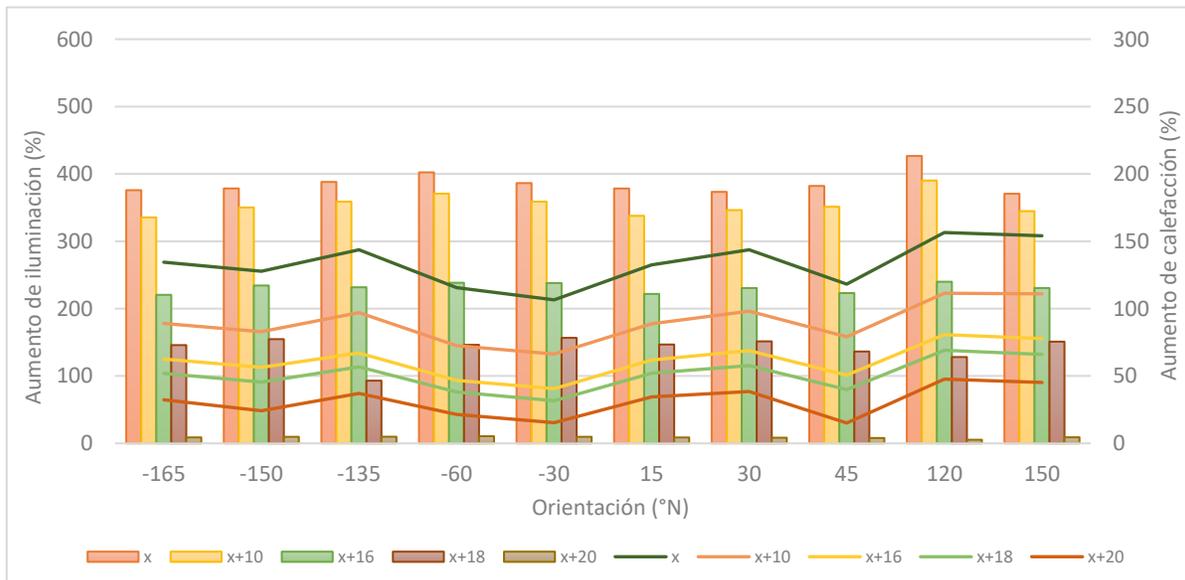


Figura 72 Demanda de Iluminación y Calefacción. Escenario 4. (Barras iluminación, líneas calefacción)

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Capítulo 5: Resultados Análisis Energético

5.3.5 Escenario 5. Demanda de iluminación y calefacción cañón urbano ratio 6,5.

Los valores de demanda de iluminación y calefacción anual en este escenario se midieron con una obstrucción de 36 pisos (144m) para un edificio de 36 pisos (144m) en las distintas orientaciones establecidas, con un distanciamiento entre ellos de 22 m, es decir una ratio de cañón de 6,5. En la Tabla 52 y Tabla 53 se muestra las demandas en kWh/m² de los pisos x, x+5, x+18, x+24, x+28 correspondiendo a los pisos 8, 13, 26, 32, 36 respectivamente.

Tabla 52 Demanda de Iluminación Anual (kWh/m²). Escenario 5

<i>Obstrucción</i>	<i>Orientación (°)</i>									
	<i>-165°</i>	<i>-150°</i>	<i>-135°</i>	<i>-60°</i>	<i>-30°</i>	<i>15°</i>	<i>30°</i>	<i>45°</i>	<i>120°</i>	<i>150°</i>
X	33,53	33,90	33,83	35,06	33,95	34,15	34,08	34,16	35,24	33,87
X+5	33,27	33,33	34,23	35,15	33,47	33,89	33,52	33,98	35,26	33,34
x+18	27,12	28,04	28,76	28,92	28,21	27,59	28,26	28,78	29,09	28,26
x+24	19,96	20,36	19,52	19,74	20,28	19,84	20,41	19,68	20,19	20,47
X+28	8,27	8,22	8,15	8,09	8,08	8,19	8,24	8,24	8,32	8,31
Total	28,88	29,33	29,39	30,20	29,39	29,32	29,50	29,74	30,38	29,36

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Tabla 53 Demanda de Calefacción Anual (kWh/m²). Escenario 5

<i>Obstrucción</i>	<i>Orientación (°)</i>									
	<i>-165°</i>	<i>-150°</i>	<i>-135°</i>	<i>-60°</i>	<i>-30°</i>	<i>15°</i>	<i>30°</i>	<i>45°</i>	<i>120°</i>	<i>150°</i>
X	0,56	0,55	0,59	0,64	0,66	0,75	0,74	0,58	0,55	0,53
X+5	0,46	0,45	0,48	0,53	0,54	0,65	0,64	0,49	0,46	0,45
x+18	0,37	0,36	0,38	0,38	0,39	0,51	0,51	0,36	0,38	0,37
x+24	0,32	0,30	0,32	0,33	0,33	0,44	0,45	0,31	0,32	0,31
X+28	0,25	0,23	0,24	0,27	0,27	0,36	0,36	0,24	0,26	0,26
Total	0,46	0,45	0,47	0,49	0,51	0,60	0,59	0,48	0,45	0,45

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Capítulo 5: Resultados Análisis Energético

En este escenario en promedio el edificio teórico requiere 29,5 kWh/m² para cubrir la demanda de iluminación generada por la obstrucción solar lo que significa 352046,569 kWh del edificio completo al año. En cuanto a la demanda de calefacción, el edificio requiere en promedio 0,50 kWh/m² lo que para el edificio completo representa 5904,18 kWh. Es importante recalcar que en este escenario la iluminación sigue teniendo variaciones importantes con respecto al escenario base y al escenario 4, más la calefacción no varía de forma representativa con respecto a dicho escenario.

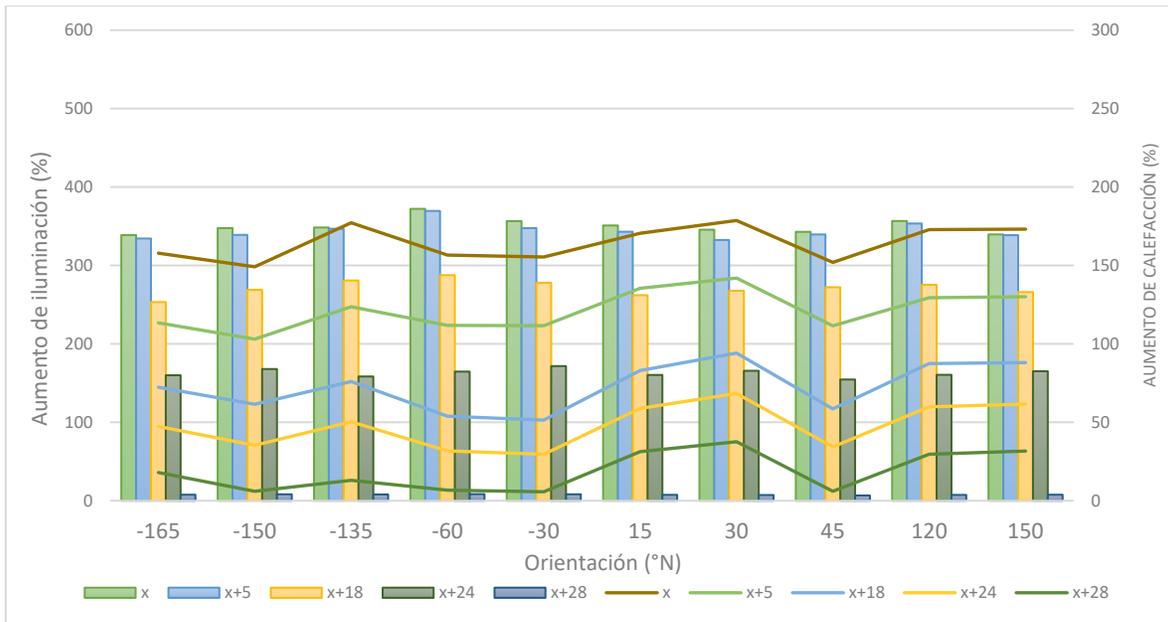


Figura 73 Demanda de Iluminación y Calefacción. Escenario 5. (Barras iluminación, líneas calefacción).

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Como se muestra en la Figura 73 el incremento de la demanda de iluminación (barras) en el piso x (8), piso en que se estabiliza la reducción de radiación para este cañón (22 m), es cerca del 350% con respecto al escenario base y en demanda de calefacción incrementa en 160%, condición que será similar para todos los pisos inferiores a este. Por otro lado, el piso superior x+28 (36) tiene un incremento de demanda de iluminación de cerca del 8%, mientras que la demanda de calefacción (líneas) un incremento de 20%.

5.3.6 Escenario 6. Demanda de iluminación y calefacción cañón urbano ratio 4.8.

Los valores de demanda de iluminación y calefacción anual en este escenario se midieron con una obstrucción de 36 pisos (144m) para un edificio teórico de 36 pisos (144m) en las distintas orientaciones establecidas, con un distanciamiento entre ellos de 30 m, es decir una ratio de cañón de 4.8. En la Tabla 54 y Tabla 55 se muestra las demandas en kWh/m² de los pisos x, x+15, x+25, x+31 correspondiendo a los pisos 5, 20, 30, 36 respectivamente.

Tabla 54 Demanda de Iluminación Anual (kWh/m²). Escenario 6

Obstrucción	Orientación (°)									
	-165°	-150°	-135°	-60°	-30°	15°	30°	45°	120°	150°
X	27,64	27,37	27,40	28,79	27,61	26,93	27,75	28,50	29,06	27,34
X+15	24,66	24,94	24,74	25,87	25,13	23,99	25,23	25,74	26,20	24,96
x+25	17,77	17,85	17,14	17,69	17,92	17,54	18,05	17,70	18,04	17,90
x+31	8,13	8,09	8,01	7,92	7,95	8,10	8,11	7,92	8,19	8,18
Total	23,05	23,03	22,78	23,83	23,13	22,50	23,33	24,03	24,08	23,04

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Tabla 55 Demanda de Calefacción Anual (kWh/m²). Escenario 6

Obstrucción	Orientación (°)									
	-165°	-150°	-135°	-60°	-30°	15°	30°	45°	120°	150°
X	0,54	0,55	0,57	0,60	0,61	0,72	0,70	0,55	0,55	0,54
X+15	0,39	0,39	0,42	0,43	0,44	0,55	0,55	0,42	0,42	0,40
x+25	0,32	0,32	0,32	0,34	0,35	0,45	0,44	0,32	0,34	0,32
x+31	0,24	0,22	0,24	0,25	0,26	0,35	0,35	0,23	0,25	0,24
Total	0,44	0,44	0,46	0,47	0,49	0,58	0,57	0,43	0,44	0,42

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Capítulo 5: Resultados Condiciones de Emplazamiento

En este escenario en promedio el edificio teórico requiere 23,28 kWh/m² para cubrir la demanda de iluminación generada por la obstrucción solar lo que significa 276971,32 kWh del edificio completo al año. En cuanto a la demanda de calefacción, el edificio requiere en promedio 0,47 kWh/m² lo que para el edificio completo representa 5643,968 kWh.

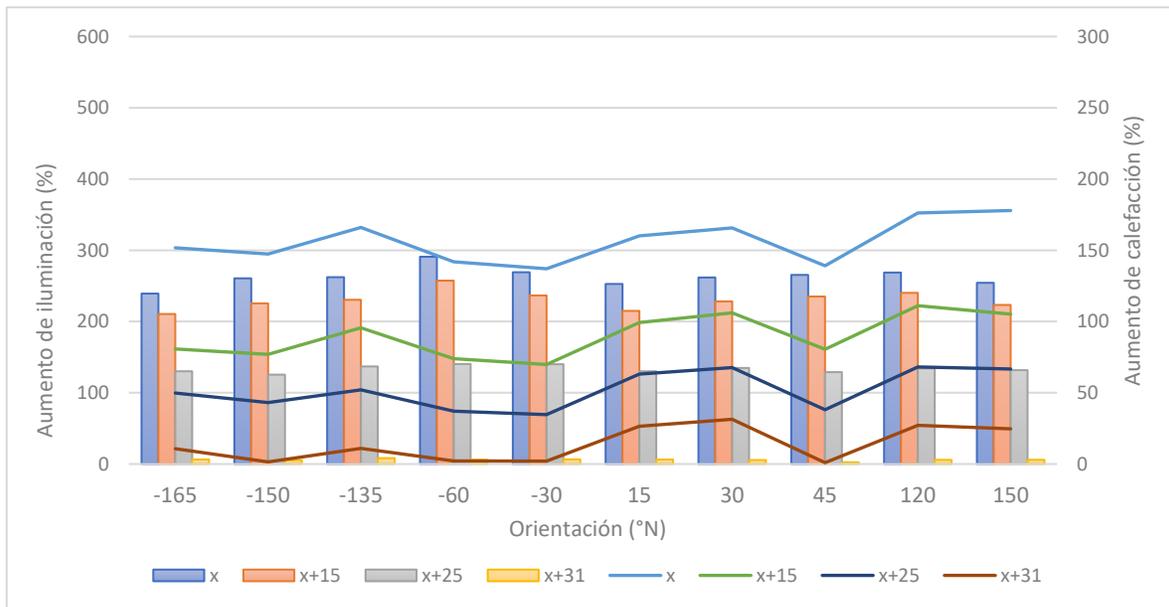


Figura 74 Demanda de Iluminación y Calefacción. Escenario 6. (Barras iluminación, líneas calefacción).

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Como se muestra en la Figura 74 el incremento de la demanda de iluminación en el piso x (5), piso en que se estabiliza la reducción de radiación para este cañón (30 m), es cerca del 260% con respecto al escenario base y en demanda de calefacción incrementa en 150%, condición que será similar para todos los pisos inferiores a este. Por otro lado, el piso superior x+28 (36) tiene un incremento de demanda de iluminación de cerca del 5%, mientras que la demanda de calefacción un incremento de 15%.

5.3.7 Gráficas de resumen

Tal como se ha explicado en los apartados anteriores los resultados se exponen de forma cuantitativa que concierne al comportamiento solar de los distintos cañones, considerando los diferentes componentes del sistema de referencia (alturas, distanciamientos, orientación, envolvente edificatoria).

Capítulo 5: Resultados Condiciones de Emplazamiento

Entre los modelos teóricos los cañones analizados muestran una tendencia de comportamiento semejante, como se puede ver en las figuras más adelante. En todos los casos la demanda de iluminación y la incipiente demanda de calefacción decrecen conforme incrementa la radiación, es decir que, estas demandas son superiores en los pisos que tienen menor radiación anual, luego entonces en los cañones más estrechos llega hasta pisos muy elevados del edificio.

El escenario más crítico de emplazamiento urbano también es el escenario más crítico en cuanto al impacto del sombreado mutuo ya que como se observa en la Figura 75, a partir del piso 25 al 36 es donde existe la mayor variación en la reducción de la radiación, donde el 70% del edificio mantiene radiación constante disminuida que si se compara con el escenario más favorable (Figura 79) existe en casi todo el edificio una variación de la radiación propio de la distancia entre edificios y el acceso solar que esto permite.

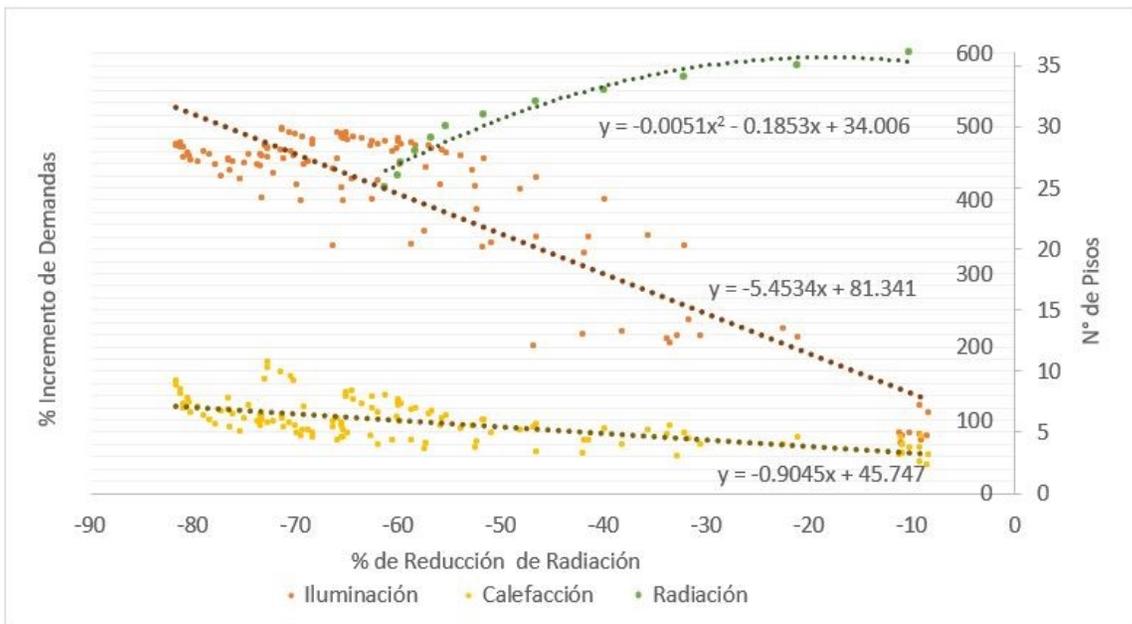


Figura 75 Resumen de Incremento de Calefacción e Iluminación vs Reducción de Radiación. Escenario 2.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Capítulo 5: Resultados Condiciones de Emplazamiento

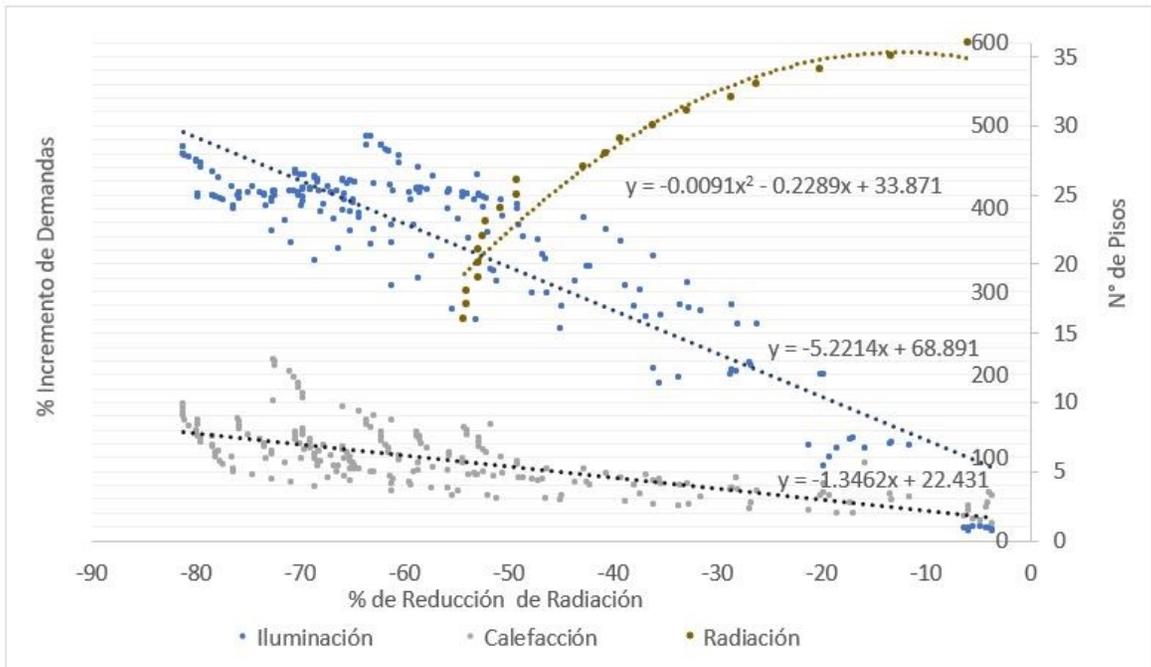


Figura 76 Resumen de Incremento de Calefacción e Iluminación vs Reducción de Radiación. Escenario 3

Fuente: Elaboración propia, 2020.

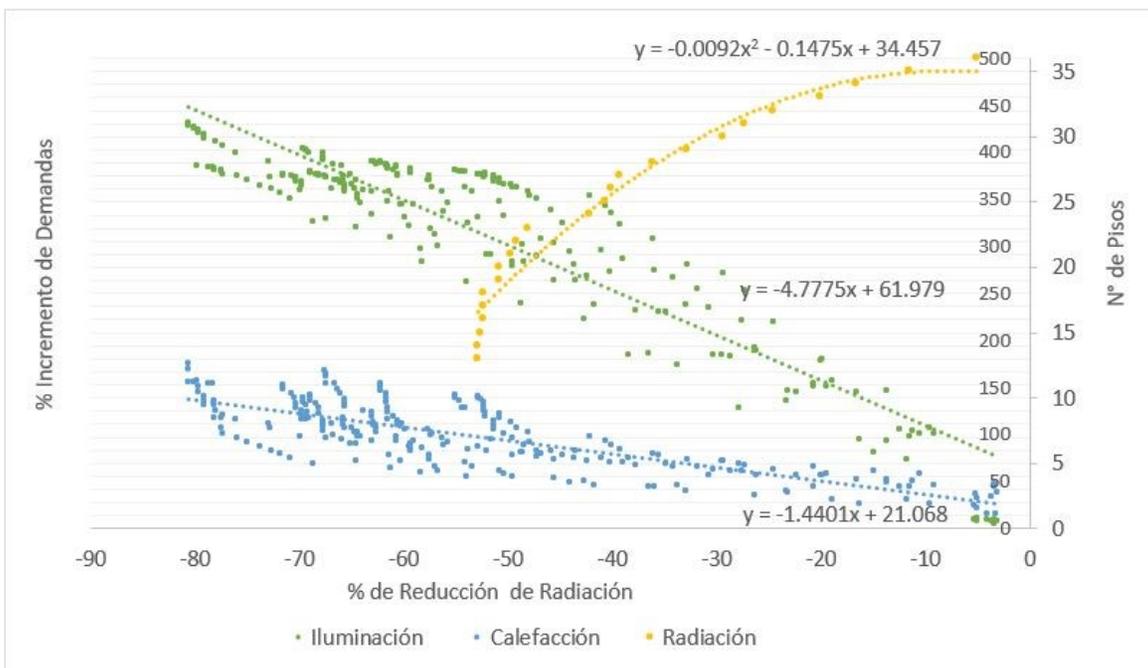


Figura 77 Resumen de Incremento de Calefacción e Iluminación vs Reducción de Radiación. Escenario 4

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Capítulo 5: Resultados Condiciones de Emplazamiento

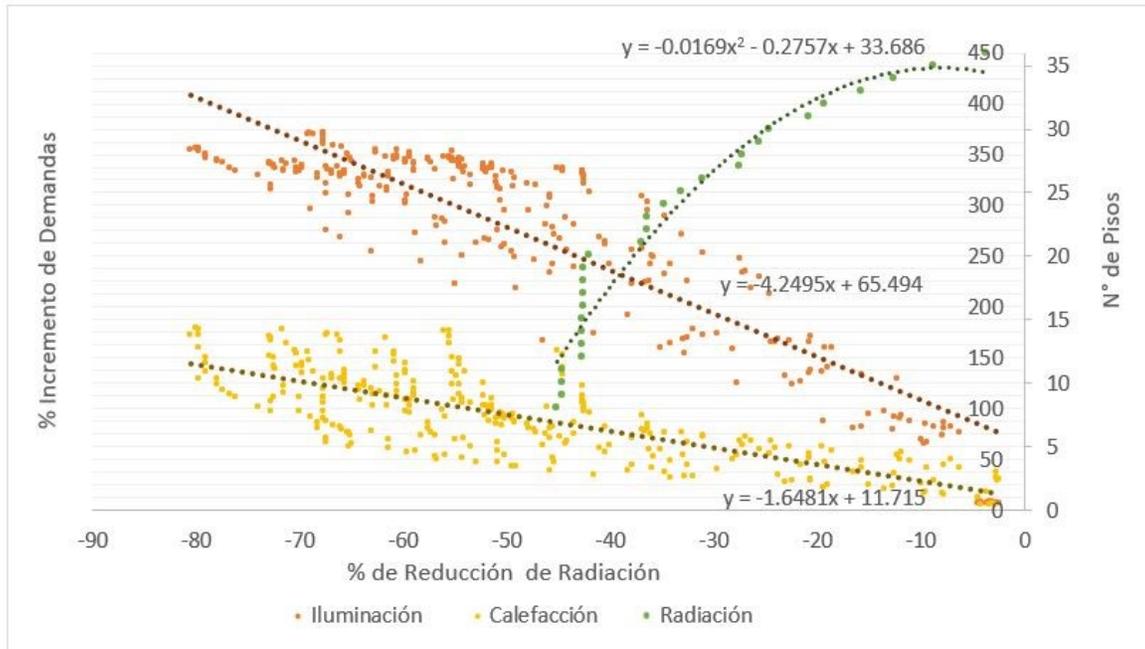


Figura 78 Resumen de Incremento de Calefacción e Iluminación vs Reducción de Radiación. Escenario 5

Fuente: Elaboración propia, 2020.

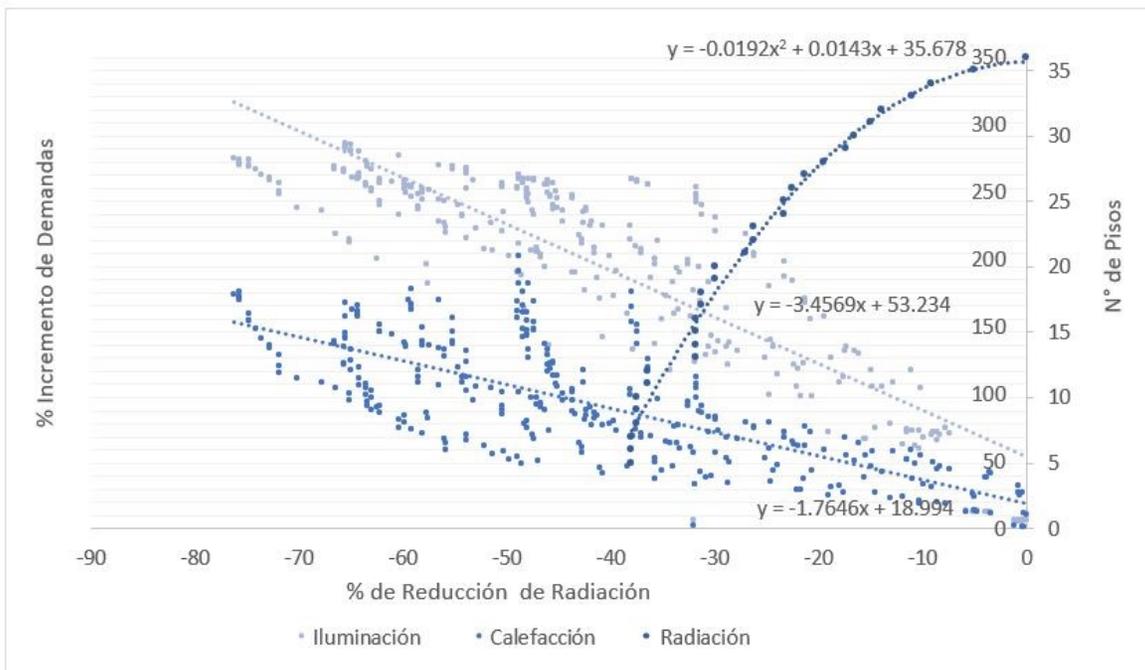


Figura 79 Resumen de Incremento de Calefacción e Iluminación vs Reducción de Radiación. Escenario 6

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Capítulo 5: Resultados Condiciones de Emplazamiento

5.4 Condiciones Mínimas de Emplazamiento

A continuación, se presentan los resultados del análisis de la cantidad de pisos admisibles en función del distanciamiento entre el edificio teórico y la obstrucción solar tomando en cuenta el costo de incremento del kWh en iluminación. No se toma en cuenta el incremento de calefacción para definir las condiciones mínimas de emplazamiento ya que el incremento en kW no es representativo energéticamente para este análisis.

De acuerdo a uno de los indicadores de pobreza energética para que una familia no se encuentre en vulnerabilidad energética no deberá destinar más del 10% de los ingresos económicos en energía (Schuessler, 2014), en el Ecuador esto representa \$70 dólares, ya que el ingreso promedio de una familia de tres miembros es \$700 dólares (El Comercio, 2017).

Es importante recalcar que el 28% en del consumo energético en las residencias en la sierra ecuatoriana está destinado a iluminación (Baquero & Quesada, 2016), por lo tanto, con un costo del kWh de 9,51 centavos de dólar (ARCONEL, 2019) el valor máximo que una familia deberá cubrir es de \$19,60 dólares.

Por lo tanto, se cuantifica el gasto económico para cubrir la demanda de iluminación por piso y por orientación para todos los escenarios críticos anteriormente analizados, tomando en cuenta los parámetros descritos de costos energéticos e ingresos promedio por familia en Ecuador para establecer un piso referencial admisible según el ancho del cañón.

5.4.1 Condiciones mínimas de emplazamiento Escenario 2.

Las condiciones mínimas de emplazamiento para este escenario de un edificio de 36 pisos (144m) y un edificio de obstrucción solar de la misma altura a un distanciamiento de 6m, se establece en función del costo máximo a cubrir dentro del 10% que los hogares podrían destinar a cubrir el costo de energía.

Como se muestra en la Tabla 56, para este escenario en todas las orientaciones las dos últimas plantas (piso 35 y 36) no superan el costo máximo admisibles para iluminación (\$19,60), por lo tanto, para este distanciamiento de 6m se estima que la altura máxima de edificación será de 8m, es decir 2 pisos o una ratio de 1,33.

Capítulo 5: Resultados Condiciones de Emplazamiento

Adicionalmente, si se compara el incremento de demanda de iluminación con la reducción de radiación a partir del piso 34 hacia la planta baja existe una reducción del 50% de irradiancia incidente en la fachada estudiada, como promedio de todas las orientaciones. Ver Anexo C.

Tabla 56 Costo de Iluminación Mensual (\$). Escenario 2

<i>Edificio teórico (pisos)</i>											36
<i>Obstrucción solar (pisos)</i>											36
<i>Distancia horizontal (m)</i>											6
<i>Ratio (h/w)</i>											24
<i>Piso</i>	<i>Orientación (°N)</i>										
	<i>-165</i>	<i>-150</i>	<i>-135</i>	<i>-60</i>	<i>-30</i>	<i>15</i>	<i>30</i>	<i>45</i>	<i>120</i>	<i>150</i>	
1	28,54	28,50	28,64	28,58	28,35	27,37	26,95	28,61	28,62	28,51	
2	28,53	28,49	28,63	28,57	28,34	27,33	27,13	28,60	28,61	28,50	
3	28,52	28,47	28,62	28,56	28,32	27,37	27,24	28,59	28,60	28,49	
4	28,51	28,47	28,61	28,55	28,32	27,38	27,27	28,58	28,59	28,48	
5	28,51	28,47	28,61	28,55	28,32	27,38	27,27	28,58	28,59	28,48	
6	28,51	28,47	28,61	28,55	28,32	27,39	27,28	28,58	28,59	28,48	
7	28,50	28,45	28,60	28,54	28,30	27,38	27,27	28,57	28,58	28,47	
8	28,50	28,45	28,58	28,52	28,30	27,38	27,27	28,57	28,58	28,47	
9	28,50	28,45	28,57	28,51	28,30	27,37	27,27	28,57	28,57	28,47	
10	28,49	28,45	28,57	28,51	28,30	27,37	27,27	28,57	28,57	28,46	
11	28,49	28,45	28,57	28,51	28,30	27,37	27,27	28,57	28,57	28,46	
12	28,49	28,45	28,57	28,51	28,30	27,37	27,27	28,57	28,57	28,46	
13	28,49	28,45	28,57	28,51	28,30	27,37	27,27	28,57	28,57	28,44	
14	28,48	28,44	28,56	28,50	28,31	27,36	27,27	28,56	28,55	28,43	
15	28,48	28,43	28,55	28,50	28,26	27,36	27,27	28,55	28,54	28,42	
16	28,47	28,43	28,55	28,49	28,26	27,36	27,27	28,53	28,54	28,42	
17	28,47	28,43	28,54	28,49	28,25	27,36	27,26	28,52	28,53	28,42	
18	28,47	28,42	28,54	28,49	28,25	27,35	27,26	28,52	28,51	28,42	
19	28,47	28,42	28,54	28,49	28,25	27,35	27,25	27,55	28,51	28,40	
20	28,43	28,41	28,54	28,48	28,24	27,34	27,25	28,33	28,50	28,39	
21	28,42	28,39	28,47	28,42	28,23	27,33	27,23	28,31	28,47	28,34	
22	28,38	28,37	28,46	28,40	28,21	27,31	27,21	27,51	28,46	28,31	
23	28,32	28,31	28,39	28,33	28,16	27,29	27,20	27,47	28,38	28,23	
24	28,30	28,27	28,36	28,30	28,11	27,27	27,17	28,14	28,36	28,16	
25	28,24	28,19	28,31	28,26	28,05	27,21	27,10	28,06	28,31	28,13	
26	28,20	28,09	28,23	28,18	27,93	27,17	27,04	27,32	28,18	28,04	
27	28,04	27,91	28,05	28,00	27,77	27,04	26,87	27,19	28,07	27,88	
28	27,93	27,86	27,99	27,95	27,67	26,98	26,79	27,71	28,43	27,85	
29	27,76	27,67	27,80	27,76	27,52	26,84	26,73	27,54	27,76	27,72	
30	27,45	27,34	27,59	27,55	27,19	26,66	26,58	26,84	27,50	27,39	
31	27,04	27,04	27,26	27,22	26,80	26,22	26,13	26,54	27,12	26,86	
32	25,78	26,02	26,30	26,27	25,79	24,99	25,38	25,89	26,18	25,91	
33	24,40	24,80	24,96	24,95	24,56	23,52	24,27	24,43	24,74	24,52	
34	21,32	21,62	21,64	21,65	21,29	20,66	21,54	21,54	21,50	21,35	
35	15,23	15,20	14,90	14,95	14,92	15,66	16,36	15,77	14,74	14,89	
36	8,89	8,75	8,55	8,53	8,40	10,18	10,67	8,11	8,26	8,45	

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Capítulo 5: Resultados Condiciones de Emplazamiento

5.4.2 Condiciones mínimas de emplazamiento Escenario 3.

Las condiciones mínimas de emplazamiento para este escenario de un edificio de 36 pisos (144m) y un edificio de obstrucción solar de la misma altura a un distanciamiento de 12m, se establece en función del costo máximo a cubrir dentro del 10% que los hogares podrían destinar a cubrir el costo de energía.

Tabla 57 Costo de Iluminación Mensual (\$). Escenario 3

<i>Edificio teórico (pisos)</i>		36									
<i>Obstrucción solar (pisos)</i>		36									
<i>Distancia horizontal (m)</i>		12									
<i>Ratio (h/w)</i>		12									
<i>Piso</i>	<i>Orientación (°N)</i>										
	-165	-150	-135	-60	-30	15	30	45	120	150	
1	25,45	25,61	27,98	25,94	25,59	25,58	25,63	25,58	28,11	25,82	
2	25,45	25,59	28,04	25,96	25,58	25,58	25,60	25,58	28,19	25,81	
3	25,45	25,61	28,02	25,95	25,59	25,58	25,62	25,58	28,17	25,82	
4	25,45	25,60	27,94	25,94	25,59	25,58	25,63	25,58	28,10	25,81	
5	25,45	25,60	27,93	25,94	25,58	25,58	25,62	25,58	28,09	25,81	
6	25,45	25,61	28,02	25,95	25,59	25,58	25,63	25,58	28,17	25,82	
7	25,43	25,56	28,04	25,95	25,55	25,56	25,57	25,56	28,19	25,78	
8	25,43	25,54	28,05	25,96	25,54	25,55	25,54	25,55	28,20	25,76	
9	25,42	25,57	27,91	25,91	25,56	25,54	25,58	25,54	28,07	25,79	
10	25,41	25,54	27,90	25,90	25,56	25,54	25,56	25,54	28,04	25,78	
11	25,40	25,52	27,87	25,88	25,53	25,53	25,55	25,53	27,99	25,76	
12	25,39	25,49	27,87	25,85	25,51	25,52	25,53	25,52	27,93	25,83	
13	25,37	25,42	28,06	25,93	25,44	25,49	25,41	25,49	28,21	25,66	
14	25,36	25,45	27,82	25,82	25,48	25,49	25,49	25,49	28,29	25,70	
15	25,26	25,35	27,72	25,72	25,38	25,40	25,40	25,40	27,83	25,60	
16	25,23	25,20	28,08	25,88	25,28	25,36	25,17	25,36	28,23	25,45	
17	25,21	25,31	27,64	25,66	25,33	25,35	25,34	25,35	27,80	25,56	
18	25,18	25,00	28,09	25,88	25,08	25,24	25,00	25,24	28,24	25,28	
19	25,17	25,29	27,64	25,64	25,29	25,31	25,32	25,31	27,80	25,52	
20	25,14	25,26	27,64	25,61	25,28	25,29	25,30	25,29	27,68	25,50	
21	25,10	25,24	27,58	25,57	25,17	25,24	25,28	25,24	27,60	25,48	
22	25,05	25,18	27,38	25,49	25,14	25,17	25,23	25,17	27,41	25,39	
23	24,96	25,10	27,27	25,43	25,09	25,08	25,13	25,08	27,32	25,27	
24	24,83	25,01	27,26	25,35	25,00	25,01	24,95	25,01	27,25	25,18	
25	24,59	24,77	27,03	25,13	24,68	24,67	24,78	24,67	27,03	24,94	
26	24,31	24,58	26,62	24,92	24,56	24,52	24,56	24,52	26,79	24,71	
27	23,81	24,20	26,31	24,66	24,17	23,90	24,20	25,82	26,44	24,42	
28	23,11	23,66	25,80	24,14	23,68	23,17	23,73	23,17	25,84	23,92	
29	22,41	23,11	24,87	23,47	23,03	22,46	23,06	22,46	24,77	23,25	
30	21,55	22,31	25,91	22,75	22,28	21,45	22,30	21,45	23,84	22,50	
31	19,98	20,77	22,36	20,99	20,76	19,93	20,68	19,93	22,21	20,89	
32	18,69	19,38	20,58	19,54	19,31	18,58	19,41	18,58	20,49	19,51	
33	17,54	18,14	18,33	18,11	18,05	17,46	18,07	17,46	18,02	18,14	

Capítulo 5: Resultados Condiciones de Emplazamiento

<i>Edificio teórico (pisos)</i>											36
<i>Obstrucción solar (pisos)</i>											36
<i>Distancia horizontal (m)</i>											12
<i>Ratio (h/w)</i>											12
	<i>Orientación (°N)</i>										
<i>Piso</i>	<i>-165</i>	<i>-150</i>	<i>-135</i>	<i>-60</i>	<i>-30</i>	<i>15</i>	<i>30</i>	<i>45</i>	<i>120</i>	<i>150</i>	
34	14,65	15,00	14,35	14,51	14,88	14,53	14,89	14,53	14,21	14,92	
35	10,60	10,73	9,59	10,13	10,57	10,35	10,55	10,35	9,31	10,37	
36	5,64	5,59	5,33	5,57	5,50	5,55	5,58	5,55	5,44	5,63	

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Como se muestra en la Tabla 57 para este escenario en la mayoría de orientaciones las últimas cinco plantas no superan el costo máximo admisible para iluminación (\$19,60), por lo tanto, para este distanciamiento de 12m se estima que la altura máxima de edificación será de 20m, es decir 5 pisos o una ratio de 1,66.

Adicionalmente, si se compara el incremento de demanda de iluminación con la reducción de radiación a partir del piso 32 hacia la planta baja existe una reducción del 44% de irradiancia incidente en la fachada estudiada, como promedio de todas las orientaciones. Ver Anexo C.

5.4.3 Condiciones mínimas de emplazamiento Escenario 4.

Las condiciones mínimas de emplazamiento para este escenario de un edificio de 36 pisos (144m) y un edificio de obstrucción solar de la misma altura a un distanciamiento de 16m, se establece en función del costo máximo a cubrir dentro del 10% que los hogares podrían destinar a cubrir el costo de energía.

Como se muestra en la Tabla 58, para este escenario en la mayoría de orientaciones las últimas ocho plantas no superan el costo máximo admisible para iluminación (\$19,60), por lo tanto, para este distanciamiento de 16m se estima que la altura máxima de edificación será de 32m, es decir 8 pisos o una ratio de 2.

Adicionalmente, si se compara el incremento de demanda de iluminación con la reducción de radiación a partir del piso 29 hacia la planta baja existe una reducción del 55% de irradiancia incidente en la fachada estudiada, como promedio de todas las orientaciones. Ver Anexo C.

Capítulo 5: Resultados Condiciones de Emplazamiento

Tabla 58 Costo de Iluminación Mensual (\$). Escenario 4

<i>Edificio teórico (pisos)</i>	36										
<i>Obstrucción solar (pisos)</i>	36										
<i>Distancia horizontal (m)</i>	16										
<i>Ratio (h/w)</i>	9										
	<i>Orientación (°N)</i>										
<i>Piso</i>	-165	-150	-135	-60	-30	15	30	45	120	150	
1	23,45	23,41	23,66	24,13	23,45	23,39	23,41	25,93	26,64	23,45	
2	23,44	23,41	23,65	24,13	23,44	23,38	23,41	25,78	26,55	23,45	
3	23,42	23,38	23,65	24,12	23,41	23,35	23,37	25,68	26,44	23,41	
4	23,40	23,36	23,62	24,10	23,41	23,34	23,36	25,59	26,38	23,41	
5	23,39	23,36	23,62	24,09	23,40	23,32	23,36	25,57	26,36	23,40	
6	23,38	23,34	23,61	24,08	23,38	23,32	23,33	25,55	26,33	23,38	
7	23,37	23,33	23,58	24,07	23,36	23,30	23,32	25,53	26,29	23,37	
8	23,36	23,30	23,58	24,00	23,32	23,29	23,29	25,43	26,19	23,32	
9	23,34	23,28	23,58	23,99	23,32	23,28	23,28	25,41	26,18	23,32	
10	23,31	23,28	23,54	23,99	23,28	23,24	23,27	25,41	26,17	23,29	
11	23,28	23,27	23,51	23,94	23,28	23,22	23,25	24,69	26,15	23,28	
12	23,27	23,26	23,49	23,88	23,25	23,21	23,24	23,83	26,11	23,27	
13	23,24	23,23	23,47	23,86	23,24	23,18	23,23	23,79	26,11	23,25	
14	23,20	23,21	23,44	23,82	23,22	23,14	23,21	23,76	26,05	23,22	
15	23,18	23,16	23,42	23,79	23,18	23,11	23,17	23,70	25,94	23,16	
16	23,16	23,12	23,37	23,76	23,11	23,06	23,12	23,67	25,88	23,16	
17	23,14	23,10	23,33	23,69	23,07	23,02	23,09	23,63	25,78	23,07	
18	23,07	23,06	23,30	23,65	23,02	22,99	23,06	23,61	25,72	23,04	
19	22,99	22,88	23,25	23,61	22,95	22,97	22,88	23,59	25,61	22,89	
20	22,78	22,86	23,09	23,41	22,84	22,77	22,88	23,49	25,48	22,82	
21	22,71	22,75	23,04	23,36	22,67	22,62	22,76	23,34	25,42	22,74	
22	22,53	22,64	22,84	23,25	22,62	22,53	22,60	23,28	25,27	22,57	
23	22,34	22,49	22,73	23,08	22,51	22,26	22,45	23,10	25,15	22,49	
24	22,08	22,32	22,55	22,97	22,31	22,02	22,33	22,77	24,92	22,41	
25	21,57	21,87	22,19	22,54	21,89	21,47	21,93	22,61	24,57	21,94	
26	21,20	21,70	21,97	22,26	21,72	21,15	21,74	22,41	24,09	21,78	
27	20,63	21,17	21,38	21,69	21,16	20,51	21,13	22,12	23,30	21,14	
28	19,84	20,49	20,68	21,01	20,44	19,73	20,53	20,88	22,60	20,53	
29	18,53	19,09	19,23	19,50	19,14	18,36	19,07	20,06	21,09	19,18	
30	18,09	18,66	18,70	18,97	18,68	18,04	18,71	19,48	20,68	18,76	
31	17,20	17,72	17,64	17,93	17,74	17,13	17,77	17,79	18,90	17,82	
32	15,60	16,11	15,89	16,01	16,00	15,55	16,11	15,84	16,70	16,19	
33	13,54	13,95	13,54	13,54	13,84	13,51	13,88	13,46	13,96	13,97	
34	11,97	12,28	11,74	11,65	12,15	11,92	12,25	11,58	11,21	12,29	
35	9,67	9,89	9,25	9,24	9,79	9,72	9,95	8,49	8,90	9,86	
36	5,30	5,29	5,26	5,23	5,19	5,25	5,28	5,29	5,18	5,34	

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Capítulo 5: Resultados Condiciones de Emplazamiento

5.4.4 Condiciones mínimas de emplazamiento Escenario 5.

Las condiciones mínimas de emplazamiento para este escenario de un edificio de 36 pisos (144m) y un edificio de obstrucción solar de la misma altura a un distanciamiento de 22m, se establece en función del costo máximo a cubrir dentro del 10% que los hogares podrían destinar a cubrir el costo de energía.

Como se muestra en la Tabla 59, para este escenario en la mayoría de orientaciones a partir de la planta 25 no superan el costo máximo admisible para iluminación (\$19,60), por lo tanto, para este distanciamiento de 22m se estima que la altura máxima de edificación será de 48m, es decir 12 pisos o una ratio de 2,18.

Adicionalmente, si se compara el incremento de demanda de iluminación con la reducción de radiación a partir del piso 29 hacia la planta baja existe una reducción del 55% de irradiancia incidente en la fachada estudiada, como promedio de todas las orientaciones. Ver Anexo C.

Tabla 59 Costo de Iluminación Mensual (\$). Escenario 5.

<i>Edificio teórico (pisos)</i>		36									
<i>Obstrucción solar (pisos)</i>		36									
<i>Distancia horizontal (m)</i>		22									
<i>Ratio (h/w)</i>		6,5									
<i>Piso</i>	<i>Orientación (°N)</i>										
	<i>-165</i>	<i>-150</i>	<i>-135</i>	<i>-60</i>	<i>-30</i>	<i>15</i>	<i>30</i>	<i>45</i>	<i>120</i>	<i>150</i>	
1	21,37	21,57	21,54	22,36	21,60	21,78	21,70	21,74	22,47	21,55	
2	21,36	21,57	21,52	22,33	21,61	21,78	21,71	21,71	22,44	21,56	
3	21,33	21,56	21,50	22,27	21,58	21,71	21,69	21,68	22,39	21,54	
4	21,32	21,53	21,47	22,26	21,54	21,71	21,68	21,68	22,36	21,50	
5	21,29	21,43	21,49	22,34	21,47	21,70	21,56	21,70	22,47	21,43	
6	21,26	21,49	21,96	22,21	21,54	21,67	21,62	21,61	22,30	21,48	
7	21,26	21,42	21,45	22,31	21,45	21,69	21,54	21,65	22,41	21,40	
8	21,26	21,49	21,45	22,23	21,53	21,65	21,60	21,66	22,34	21,48	
9	21,23	21,35	21,45	22,32	21,39	21,64	21,48	21,64	22,44	21,32	
10	21,19	21,48	21,43	22,21	21,53	21,67	21,64	21,61	22,28	21,47	
11	21,16	21,14	21,37	22,33	21,27	21,47	21,25	21,59	22,43	21,10	
12	21,14	20,95	21,40	22,33	21,15	21,40	21,07	21,54	22,43	20,97	
13	21,09	21,13	21,70	22,28	21,22	21,48	21,25	21,55	22,36	21,14	
14	21,03	21,28	21,24	21,99	21,37	21,48	21,43	21,45	22,11	21,28	
15	20,98	21,22	21,22	22,16	21,23	21,40	21,36	21,43	22,06	21,22	
16	20,94	21,15	21,13	21,90	21,18	21,35	21,26	21,36	21,96	21,12	
17	20,80	21,04	20,98	21,80	21,13	21,31	21,13	21,28	21,87	21,02	
18	20,72	20,94	20,94	21,72	21,07	21,07	21,04	21,25	21,82	20,98	
19	20,54	20,86	21,32	21,65	20,95	20,97	20,98	21,28	21,74	20,91	
20	20,14	20,55	20,74	21,29	20,59	20,56	20,71	21,11	21,43	20,52	
21	19,90	20,34	20,91	21,15	20,47	20,29	20,50	20,92	21,33	20,43	

Capítulo 5: Resultados Condiciones de Emplazamiento

<i>Edificio teórico (pisos)</i>	36									
<i>Obstrucción solar (pisos)</i>	36									
<i>Distancia horizontal (m)</i>	22									
<i>Ratio (h/w)</i>	6,5									
	<i>Orientación (°N)</i>									
<i>Piso</i>	<i>-165</i>	<i>-150</i>	<i>-135</i>	<i>-60</i>	<i>-30</i>	<i>15</i>	<i>30</i>	<i>45</i>	<i>120</i>	<i>150</i>
22	19,66	20,26	20,50	20,96	20,35	20,08	20,42	20,67	21,09	20,32
23	19,22	19,77	20,23	20,46	19,83	19,55	19,89	20,20	20,62	19,79
24	18,95	19,63	20,03	20,29	19,74	19,28	19,68	20,10	20,44	19,67
25	18,05	18,73	18,90	19,40	18,72	18,39	18,87	19,25	19,50	18,77
26	17,20	17,77	18,23	18,33	17,88	17,49	17,92	18,24	18,44	17,92
27	16,95	17,54	17,60	17,98	17,58	17,25	17,64	17,79	18,14	17,59
28	16,27	16,83	17,07	17,16	16,89	16,50	16,98	17,20	17,42	16,96
29	16,04	16,52	16,38	16,76	16,59	16,19	16,65	18,44	16,93	16,61
30	15,24	15,71	15,57	15,79	15,72	15,38	15,81	15,63	15,85	15,80
31	12,91	13,19	12,84	12,96	13,14	12,89	13,26	14,33	13,16	13,23
32	12,65	12,91	12,37	12,52	12,86	12,58	12,94	12,48	12,80	12,98
33	11,35	11,50	10,84	10,97	11,41	11,09	11,54	10,98	11,08	11,52
34	9,32	9,37	8,65	8,87	9,35	9,08	9,43	8,78	8,97	9,37
35	8,89	8,90	8,13	8,21	8,86	8,54	8,92	8,10	8,20	8,85
36	5,24	5,21	5,17	5,13	5,12	5,19	5,23	5,23	5,28	5,27

Fuente: Elaboración propia, 2020.

5.4.5 Condiciones mínimas de emplazamiento Escenario 6.

Las condiciones mínimas de emplazamiento para este escenario de un edificio de 36 pisos (144m) y un edificio de obstrucción solar de la misma altura a un distanciamiento de 30m, se establece en función del costo máximo a cubrir dentro del 10% que los hogares podrían destinar a cubrir el costo de energía.

Como se muestra en la Tabla 60 para este escenario todos los pisos tienen un costo a cubrir por iluminación menor al máximo establecido, por lo tanto, se determina que para un edificio de 36 pisos el distanciamiento de 30m es factible o una ratio de 4,8.

A pesar que, en este escenario, ningún piso en ninguna orientación supere el costo máximo admisible destinado a iluminación es importante recalcar que, si existe reducción de radiación por la obstrucción solar que para todas las orientaciones es una media del 35%, porcentaje que podrá considerarse como referencia para las condiciones mínimas admisibles de la reducción de irradiancia en fachada para las distintas orientaciones. Ver Anexo C.

Capítulo 5: Resultados Condiciones de Emplazamiento

Tabla 60 Costo de Iluminación Mensual (\$). Escenario 6.

Edificio teórico (pisos)	36
Obstrucción solar (pisos)	36
Distancia horizontal (m)	30
Ratio (h/w)	4,8

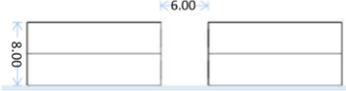
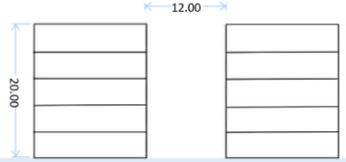
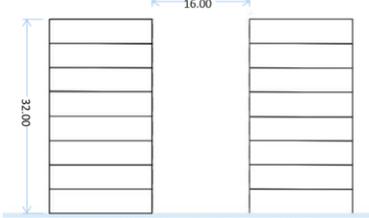
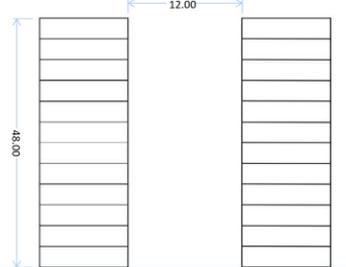
Piso	Orientación (°N)									
	-165	-150	-135	-60	-30	15	30	45	120	150
1	18,08	17,54	17,84	18,79	17,66	17,30	17,76	18,50	18,87	17,52
2	17,64	17,30	17,51	18,47	17,39	17,01	17,49	18,20	18,63	17,28
3	17,60	17,24	17,34	18,41	17,33	16,97	17,47	17,90	18,47	17,24
4	17,55	17,76	17,38	18,33	17,47	17,03	17,63	17,91	18,45	17,35
5	17,52	17,35	17,37	18,25	17,51	17,07	17,59	18,07	18,42	17,34
6	17,51	17,35	17,36	18,23	17,43	17,06	17,61	18,08	18,38	17,34
7	17,49	17,35	17,25	18,12	17,44	17,02	17,55	18,00	18,24	17,32
8	17,45	17,30	17,21	18,08	17,44	17,04	17,53	18,04	18,19	17,28
9	17,42	17,28	17,24	18,11	17,37	16,98	17,52	17,93	18,26	17,29
10	17,42	17,27	17,19	18,03	17,42	16,93	17,50	17,99	18,16	17,28
11	17,32	17,15	17,24	18,23	17,24	16,85	17,37	17,88	18,35	17,13
12	17,30	17,19	17,06	17,98	17,35	16,86	17,44	17,85	18,12	17,22
13	17,23	17,18	17,01	17,96	17,28	16,83	17,43	17,70	18,04	17,20
14	16,95	16,88	16,74	17,62	16,98	16,52	17,18	17,46	17,80	16,87
15	16,82	16,75	16,65	17,54	16,89	16,41	17,03	17,37	17,72	16,80
16	16,67	16,72	16,61	17,42	16,84	16,27	17,02	17,27	17,63	16,80
17	16,58	16,66	16,54	17,34	16,75	16,19	16,96	17,19	17,53	16,67
18	16,21	16,28	16,19	16,97	16,38	15,80	16,54	16,83	17,22	16,32
19	16,10	16,22	16,08	16,82	16,34	15,69	16,43	16,67	17,14	16,25
20	15,63	15,81	15,69	16,40	15,93	15,21	15,99	16,32	16,61	15,83
21	15,52	15,65	15,56	16,28	15,75	15,16	15,95	18,46	16,53	15,72
22	14,82	14,91	14,79	15,47	15,03	14,44	15,18	15,46	15,67	15,00
23	14,72	14,80	14,56	15,31	14,90	14,30	15,04	17,30	15,48	14,84
24	14,52	14,69	14,48	15,12	14,77	14,19	14,90	15,09	15,35	14,75
25	13,96	14,15	13,92	14,51	14,20	13,68	14,35	16,42	14,77	14,22
26	13,84	13,97	13,70	14,28	14,00	13,54	14,16	14,24	14,56	14,02
27	13,17	13,33	13,05	13,63	13,40	12,95	13,49	14,99	13,83	13,37
28	12,54	12,69	12,31	12,81	12,72	12,32	12,82	12,72	12,96	12,71
29	11,43	11,47	11,08	11,47	11,50	11,18	11,65	12,50	11,60	11,52
30	11,27	11,32	10,86	11,21	11,36	11,12	11,44	11,22	11,44	11,35
31	10,58	10,74	10,26	10,61	10,71	10,50	10,81	10,86	10,70	10,73
32	9,98	10,03	9,49	9,71	10,07	9,87	10,15	9,73	9,80	10,06
33	8,38	8,44	7,96	8,10	8,41	8,31	8,44	7,99	8,18	8,38
34	8,25	8,32	8,03	7,81	8,26	8,23	8,36	7,80	7,92	8,28
35	5,50	5,44	5,40	5,38	5,39	5,44	5,45	5,43	5,49	5,49
36	5,15	5,13	5,08	5,02	5,04	5,13	5,14	5,02	5,20	5,19

Fuente: Elaboración propia, 2020.

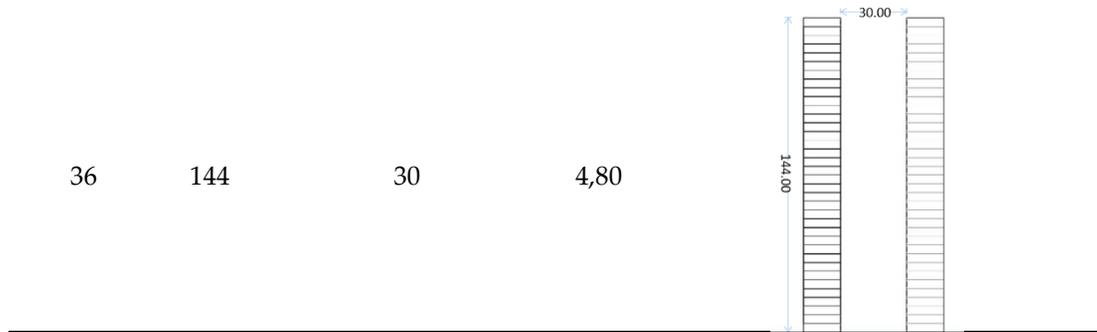
Capítulo 5: Resultados Condiciones de Emplazamiento

Finalmente, el aumento de la demanda de iluminación y la reducción de irradiancia en fachada representa un incremento de hasta cerca de 30 dólares mensuales, por unidad habitacional, superando el máximo admisible del 10% del salario mensual con un 28% destinado a iluminación (\$19,60), siendo así que el 88% de los escenarios analizados superan este valor máximo. Por lo tanto, la redensificación máxima debiera tener en cuenta dichos resultados estableciendo los siguientes valores máximos de altura en función al ancho del cañón:

Tabla 61 Resumen de condiciones mínimas de emplazamiento

<i>Altura de edificación</i>	<i>Distancia entre edificios</i>	<i>Ratio</i>	<i>Elevación</i>	
<i>Pisos</i>	<i>(m)</i>	<i>(m)</i>	<i>(H/W)</i>	
2	8	6	1,33	
5	20	12	1,66	
8	32	16	2,00	
12	48	22	2,18	

Capítulo 5: Resultados Condiciones de Emplazamiento



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Estos valores de ratio, se traducen en la siguiente fórmula para conocer el distanciamiento mínimo en función de la altura de los edificios (en metros), manteniendo una condición admisible del 28% destinado a iluminación, tomando en cuenta que en ningún caso el distanciamiento entre ellos podrá ser menor a 6m, ya que es la distancia mínima establecida por la norma.

$$y = 8,5731 \ln(x) - 12,604$$

Donde: X es la altura del edificio en metros, Y es la distancia entre edificios en metros.

5.5 Conclusiones

La morfología urbana de Quito se ha ido adaptando a lo largo del tiempo a las condiciones geográficas y a las demandas de crecimiento de los habitantes. Esto ha generado un desarrollo urbano desigual en distintos sectores de la ciudad al igual que en su altura de edificación; produciendo distintas configuraciones de manzana, anchos de vía no estandarizados, loteamientos muy pequeños, etc. Por lo tanto, en la ciudad se crea un mosaico de edificaciones que tienen distinto comportamiento y desempeño energético, así como de confort. Es por esto que el concepto de cañón urbano permite un análisis objetivo sin estar ligado solo a un sector de la ciudad.

A partir de la metodología empleada se ha conseguido caracterizar la morfología urbana, estableciendo que la altura promedio actual en la zona de BRT y Metro es de 6 a 12 pisos, el ancho de vía recurrente en la ciudad es de 10 a 14 m, las orientaciones predominantes de las manzanas se encuentran rotadas cada 15° con respecto al norte siendo la predominante la orientación 45°NE, los materiales predominantes de mampostería es el bloque y el ladrillo que produce una relación con los matices urbanos como la materialidad del ladrillo visto, del estuco blanco o beige, enlucidos grises.

Capítulo 5: Resultados Condiciones de Emplazamiento

En el caso más crítico se ha demostrado que la reducción de radiación (representada con símbolo -) y el incremento en las demandas de iluminación y calefacción (representado con símbolo +) en el edificio teórico está estrechamente relacionada con el distanciamiento de la obstrucción solar y su altura, encontrándose entre -81,60 %, +450 %, 100 % y -78%, +66% y +39% respectivamente, más que con la orientación del edificio, que para la orientación más desfavorable (120° NE) oscila entre -81,60 %, +476 %, 150 % y -75%, +68% y +76%, a pesar que se ha demostrado que las orientaciones en sentido Noroeste tienen un menor impacto en la reducción de la radiación.

La reducción de irradiancia en la fachada de estudio, indistintamente de la altura de la obstrucción solar cumple con una ley de reducción, es decir que si se conoce la irradiancia en el escenario más crítico y el punto de estabilización de reducción es factible aplicar esta proporción de estabilización para el resto de escenarios donde la altura de la obstrucción sea menor.

Existe un incremento en la demanda de calefacción para todos los escenarios de obstrucción solar y aún a pesar de incrementarse en hasta un 230%, en ningún caso supera el incremento de 1kW/m², lo que no es representativo en la demanda energética del edificio teórico.

El incremento de la demanda de iluminación y la reducción de irradiancia en fachada representa hasta cerca de 30 dólares mensuales, por unidad habitacional, superando el máximo admisible del 10% del salario mensual con un 28% destinado a iluminación (\$19.60), siendo así que el 88% de los escenarios analizados superan este valor máximo. Por tanto, la redensificación máxima debiera tener en cuenta dichos resultados estableciendo los siguientes valores máximos por altura en función al ancho del cañón:

- Cañón de 6m, la altura máxima permitida debiera ser de 8m o 2 pisos en su defecto.
- Cañón de 12m, la altura máxima permitida debiera ser de 20m o 5 pisos en su defecto.
- Cañón de 16m, la altura máxima permitida debiera ser de 32m u 8 pisos en su defecto.
- Cañón de 22m, la altura máxima permitida debiera ser de 48m o 12 pisos en su defecto.

En conclusión, es importante recalcar que estas consideraciones se refieren a valores teóricos de irradiancia en fachadas y demandas de iluminación y calefacción, por lo que es necesario estudiar esta temática considerando las condiciones reales de los distintos entornos de aplicación, es decir evaluando el impacto de la longitud del cañón, la irregularidad de las alturas del cañón, las irregularidades de fachadas, la geometría de la trama urbana, etc.

Conclusiones

En el presente capítulo se darán a conocer las conclusiones de la investigación desarrollada, analizando como los resultados anteriormente expuestos responden al problema de investigación, hipótesis y objetivos. Se expone también conclusiones sobre potenciales trabajos futuros.

El acceso solar y la relación con la morfología urbana ha sido ampliamente estudiada y analizada ya sea por necesidad natural del ser humano por mantener su calidad de vida y bienestar o desde el ámbito técnico urbano y energético de las edificaciones, en búsqueda de soluciones técnicas como suma a los esfuerzos por reducir las emisiones de GEI producido por el sector de la construcción.

El rápido crecimiento de las ciudades y el desarrollo de cuerpos normativos que buscan promover la edificación en altura y la redensificación de las mismas relegan las condiciones mínimas de acceso solar y luz natural, lo que conflictúa el desarrollo e implementación de sistemas pasivos y activos en los edificios afectando al confort lumínico, térmico y visual de los habitantes de los propios edificios.

Los resultados obtenidos en la presente investigación confirman la hipótesis puesto que las obstrucciones solares y conos de sombra generados ante un escenario de redensificación en altura en la ciudad de Quito aumentan el consumo energético de iluminación y calefacción en edificios de vivienda hasta un 500% y un 100%.

La metodología de investigación ha permitido definir y caracterizar los escenarios de densificación, cuantificar la radiación solar incidente, la demanda energética y de iluminación en los distintos escenarios y establecer el distanciamiento mínimo y altura máxima para minimizar los impactos de los conos de sombra.

La aplicación del concepto de cañón urbano cumple un rol importante en el desarrollo de la metodología, ya que, al tratarse de una situación de crecimiento urbano vertical sin precedentes en la ciudad, no existe un antecedente puntual de análisis de desempeño energético. Por lo tanto, la simplificación de las variables tanto de altura, distancia horizontal, orientación con respecto al norte y materialidades permite analizar una situación general de lo que sucedería en los escenarios críticos en Quito, al igual que permite la aplicación de este estudio en otras partes de la ciudad para conocer los resultados sin la necesidad de simular nuevamente los escenarios de radiación, iluminación y calefacción.

Capítulo 6: Conclusiones

En cuanto a la evaluación del impacto del incremento de edificabilidad y la redensificación en los edificios de vivienda se concluye que, el incremento de edificabilidad en los distintos escenarios va en detrimento de la accesibilidad al recurso solar ya que existe una reducción de radiación de hasta 81%. Lo que, a pesar de no ser un objetivo de la presente investigación, se conoce que repercute en la aplicación de sistemas activos y pasivos que pudiesen implementarse en los edificios y además generarían grandes pérdidas o bajos rendimientos de los sistemas energéticos y por ende un impacto económico.

Según el presente estudio el incremento de edificabilidad y sus efectos de obstrucción solar sobre otros edificios puede llegar a producir un incremento en la demanda de iluminación de hasta un 500% comparado con un escenario base, es decir sin obstrucción solar, mientras que el incremento en la demanda de calefacción puede llegar a ser de hasta un 100%, valores que son representativos en la demanda y consumo energético de un edificio lo que sería crítico llevado a un nivel macro en toda la ciudad.

Es importante mencionar que si el sombreado mutuo de edificios produce que estos sean menos eficientes en términos energéticos, contradice el espíritu de la normativa que promueve la redensificación de la ciudad, ya que uno de los parámetros para incentivar el incremento de edificabilidad es el ahorro energético y balance entre el consumo y generación de energía, debe analizarse de forma imperiosa el costo beneficio del incremento de edificabilidad vs edificios menos eficientes y hasta qué punto se puede aceptar este efecto en la ciudad.

Adicionalmente, existe también un impacto económico negativo ya que los pisos que se ven afectados por las obstrucciones solares deben suplir la falta de iluminación natural y calor con sistemas activos, lo cual genera un costo de hasta \$30,00 dólares mensuales por unidad de departamento, costo que deberá asumir cada usuario de la unidad de vivienda.

Por lo tanto, todo desarrollo en altura indistinto de si se trata de redensificación en áreas de actual baja densidad debería estar ligado al análisis propuesto de la proporción de la ratio entre la altura del elemento y el distanciamiento con los de su entorno, ya que como se ha demostrado en el estudio el impacto de los conos de sombra se produce en todas las escalas de edificación.

La revisión de la normativa en cuanto a las condiciones mínimas de emplazamiento y requisitos urbanos para el incremento de edificabilidad como el lote mínimo y ancho de vía fue crucial para

Capítulo 6: Conclusiones

entender las condiciones de distanciamiento, sin embargo, al analizar la normativa de incremento de edificabilidad se visibiliza un gran vacío en cuanto al resguardo del acceso solar puesto que no incorpora este factor con la forma de ocupación del suelo.

Esto conlleva a pensar que los planes de redensificación deben incorporar en su cuerpo normativo las condiciones de emplazamiento (orientación de la trama, escala del tejido urbano, morfología de la trama, etc) así como el análisis y las proyecciones del entorno para evaluar la real altura de densificación permitida. Dentro de este análisis del entorno es importante evaluar a su vez la cercanía a espacios públicos abiertos como plazas, parques o rotondas que permitan una mayor disponibilidad de luz natural hacia los espacios circundantes, para liberar la compacidad urbana que podría llegarse a alcanzar en un escenario crítico y manejar una mejor escala de peatón, mismo concepto que se manejaba en la cuadrícula de damero del centro histórico de la ciudad.

Consecuentemente de este análisis normativo, se concluye que la planificación urbana que establece los parámetros de ocupación del suelo, el incremento de edificabilidad y formas de ocupación debe integrar los intereses privados con el bien común y la calidad de vida de los ciudadanos para poder articularse de mejor forma en el espacio. Es decir que estas propuestas de incremento de edificabilidad que se ubican en ciertos sectores de la ciudad en donde se resguarda la escala urbana según los anchos de vía, también debería proyectarse según el distanciamiento lateral y posterior entre edificios para reducir los impactos anteriormente mencionados.

Este proceso de definición de escalas de incremento de edificación y distanciamientos obligatorios entre edificios, crea una posibilidad de análisis infinita, debido a la cantidad de combinaciones entre la cantidad de pisos alcanzable, con los distanciamientos mínimos admisibles y en cada orientación lo que lleva mucho tiempo y precisión para mantener claridad en la evaluación lo cual en una futura investigación podría ser automatizado utilizando herramientas de diseño paramétrico.

6.1 Conclusiones de los resultados

La trama urbana de Quito, con un loteamiento tan pequeño no permite que los edificios planteen distintas orientaciones de emplazamiento para responder a la necesidad de accesibilidad solar o aprovechamiento de este recurso, si no que solamente desde la misma trama se promueve y limita a la maximización de la ocupación inmobiliaria desaprovechando el potencial de dicho recurso.

En vista del análisis de las simulaciones realizadas sobre la irradiancia en la fachada del edificio teórico, se observa que las fachadas que tienen orientación hacia el este tienen un impacto de reducción del 10% por encima de las fachadas que se orientan al oeste, ratificando que en latitudes como las de Quito el análisis de orientación de los edificios repercute en todo el desempeño energético del mismo y por ende de los sistemas activos o pasivos a emplear.

Al inicio las simulaciones de los escenarios críticos con una obstrucción solar variable y un distanciamiento constante permitieron concluir que la reducción de radiación independientemente de la altura de la obstrucción solar, llega a un punto repetitivo de estabilización. Es decir que, si el distanciamiento es constante, para los distintos escenarios, se mantiene la misma cantidad de pisos superiores y medios con variaciones de reducción solar y el resto del edificio mantiene una reducción constante.

Por lo tanto, si se conoce el punto de estabilización de reducción de radiación es factible proyectar la tendencia y plantear una ley de reducción de radiación sin la necesidad de la simulación de todos los escenarios. Esto, puede tener variaciones de acuerdo a las orientaciones del edificio teórico, las cuales nos son significativas, permitiendo plantear un piso medio de estabilización de reducción de radiación.

Adicionalmente, a medida que asciende la altura de edificación, se reduce la demanda de iluminación y calefacción e incrementa la radiación solar directa en fachada expuesta, lo cual es menos crítico si se mantiene un mayor distanciamiento entre edificios según la altura del mismo, por lo que, de este modo se resguarda de mejor forma el derecho al acceso solar, criterio clave al momento de promover la redensificación en altura, tomar en cuenta el entorno construido y las proyecciones máximas del mismo, directrices que se propone a tomar en cuenta en el cuerpo normativo para el crecimiento en altura y redensificación.

Continuidad de la investigación

La metodología de la presente investigación ha sido un aporte para evaluar la condición mínima de distanciamiento entre edificios en cuanto los incrementos en la demanda de iluminación y calefacción en una forma de ocupación del suelo a línea de fábrica, ya que busca simplificar el análisis como primer acercamiento a los impactos urbanos de la norma de incremento de edificabilidad, sin embargo sería importante analizar los impactos posibles en el resto de formas de ocupación de suelo como aislada, pareada o continua ya que aunque tengan mayor cantidad de fachadas expuestas al acceso solar a su vez tendrían mayor pérdida de calor debido a que se considera mayor cantidad de área de fachada expuesta.

La refracción de la luz, producto de la cercanía de los edificios puede llegar a ser un problema igual o más complicado que el sombreado en condiciones de densificación crítica en altura, lo que en la presente investigación no ha sido desagregada como variable de impacto. Por lo tanto, dentro de la línea de investigación futura sería interesante evaluar los resultados aquí presentados bajo el análisis de la refracción lumínica, ya que en otros contextos urbanos se ha demostrado que puede existir una reducción en la demanda de iluminación de hasta el 10% y en la demanda de calefacción de hasta un 60% (Han et al., 2017).

Adicionalmente, se considera importante complementar esta línea de investigación con el desarrollo de una investigación cualitativa y cuantitativa en la rama del confort tanto lumínico, térmico y visual. Esto debido a que las condiciones de impacto energético también impactan de forma directa sobre el confort e incluso la percepción de la calidad de habitabilidad de los espacios. Factores de suma consideración y análisis al momento de evaluar un cuerpo normativo y mucho más para el desarrollo e implementación de mejoras en los mismos.

Estos lineamientos de investigación futura, buscan continuar con el análisis de las condiciones mínimas de emplazamiento y desarrollo urbano en altura, ya que el crecimiento constante y acelerado de las ciudades demanda un análisis profundo tanto de los factores de diseño del edificio como del entorno urbano en el que se emplace.

Listado de Abreviaturas

ARCONEL	Agencia de Regulación y Control de Electricidad
BRT	Bus Rapid Transit
CIUQ	Centro de Información Urbana de Quito
DMDQ	Distrito Metropolitano de Quito
DOT	Desarrollo y Ordenamiento Territorial
ERNC	Energías Renovables No Convencionales
GEI	Gases de Efecto Invernadero
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
MEER	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable
MIDUVI	Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
PMDOT	Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
PUOS	Plan de uso y Ocupación del Suelo
STHV	Secretaría de Territorio Hábitat y Vivienda
ZUAE	Zonas de Asignación Urbanística Especial

Referencias bibliográficas

- Agencia de Regulacion y Control de Electricidad. (2016). Estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano. In *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable* (Vol. 369, Issue 1, p. 208). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Alchapar, N., & Correa, E. (2015). Reflectancia solar de las envolventes opacas de la ciudad y su efecto sobre las temperaturas urbanas. *Informes de La Construccion*, 67(540). <https://doi.org/10.3989/ic.14.131>
- Alchapar, N. L., Correa, E. N., & Cantón, M. A. (2012). Índice De Reflectancia Solar De Revestimientos Verticales: Potencial Para La Mitigación De La Isla De Calor Urbana. *Ambiente Construido*, 12(3), 107–123. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212012000300008>
- Alicia, L., Jirón, C., Pablo, J., Zamorano, J. C., & Acevedo, C. (2016). Explorando luz solar en modelos de desarrollo inmobiliario. Aplicaciones en cinco ciudades chilenas. *Revista de Urbanismo*, 34, 158–173. <https://revistaurbanismo.uchile.cl/index.php/RU/article/view/40394/43882>
- ARCONEL. (2019). *Estadísticas Anuales Y Multianual Del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2018*. <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/08/EstadísticaAnualMultianual2018.pdf>
- Baquero, M., & Quesada, F. (2016). Eficiencia energética en el sector residencial de la Ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 7(2), 147–165. <https://doi.org/10.18537/mskn.07.02.11>
- Beckers, B. (2007). *Interpretación geométrica de la luz del cielo en el proyecto de arquitectura*. 1–9. http://www.heliodon.net/downloads/Beckers_2007_Helio_002_es.pdf
- Blasco, J. A. (2013, November 23). *Urban Networks: Quito, ciudad figurativa y ciudad abstracta contra el territorio (en la costura urbana del mundo)*. <http://urban-networks.blogspot.com/2013/11/quito-ciudad-figurativa-y-ciudad.html>
- Boardman, B. (2010). *Fixing Fuel Poverty. Challenges and Solutions*. London: Earthscan.
- Bocarejo, J. P., Portilla, I., & Pérez, M. A. (2013). Impact of Transmilenio on density, land use, and land value in Bogotá. *Research in Transportation Economics*, 40(1), 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2012.06.030>
- BP. (2020). *Statistical Review of World Energy 2020*. www.bp.com/statisticalreview.
- Braulio-Gonzalo, M., Bovea, M. D., Ruá, M. J., & Juan, P. (2016). A methodology for predicting the energy performance and indoor thermal comfort of residential stocks on the neighbourhood and city scales. A case study in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 139, 646–665. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.059>
- CAMICON. (2020). *Quito, el cantón más poblado del Ecuador en el 2020*. Noticias Cámara de La Industria de La Construcción. <https://www.camicon.ec/la-camara-quito-el-canton-mas-poblado-del-ecuador-en-el-2020/>

Referencias Bibliográficas

- Capeluto, I. G., Yezioro, A., Bleiberg, T., & Shaviv, E. (2006). Solar rights in the design of urban spaces. *PLEA 2006 - 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Conference Proceedings, September, 6–8*.
- Cárdenas–Jirón, L. A. (2012). *Caracterización De Patrones Bioclimáticos En Tejidos Urbanos Residenciales*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- Cárdenas–Jirón, L. A., & Chang Lou, J. (2019). Acceso solar en espacio urbano: simulaciones energéticas para su mitigación en alta densidad inmobiliaria residencial. *Santiago Centro Sur, 180, 44*, 95–109. [http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-44.\(2019\).art-630](http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-44.(2019).art-630)
- Cárdenas–Jirón, L. A., & Uribe Araya, P. (2012). Acceso solar a las edificaciones. El eslabón pendiente en la norma urbanística chilena sobre la actividad proyectual. *Revista de Urbanismo, 2*, 21–42. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2012.20922>
- Carrión, F., & Erazo Espinosa, J. (2012). La forma urbana de Quito: una historia de centros y periferias. *Bulletin de l'Institut Français d'études Andines, 41(41 (3))*, 503–522. <https://doi.org/10.4000/bifea.361>
- Castaño-Rosa, R., Solís-Guzmán, J., & Marrero-Meléndez, M. (2020). Midiendo la pobreza energética. Una revisión de indicadores. *Revista Hábitat Sustentable, 10(1)*, 08–21. <https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.01.01>
- CEEPYS. (2014). *Centro de Estudios de Energía, Política y Sociedad*. <http://ceepys.org.ar/matriz-energetica/>
- Compagnon, R. (2004). Solar and daylight availability in the urban fabric. *Energy and Buildings, 36(4)*, 321–328. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.01.009>
- Cruz Casa, D. V. (2017). *Cubiertas En El Clima De Quito*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Curreli, A. (2016). *El acceso solar a la escala del tejido urbano. El enfoque morfológico y el método de análisis comparativo aplicados al caso de Barcelona*. 209–218. <http://upcommons.upc.edu/handle/2117/96302>
- DANE. (2005). *Censo oficial DANE 2005 por principales áreas metropolitanas*.
- Decker, K. De. (2012). The solar envelope : how to heat and cool cities without fossil fuels. *Energy Bulletin, 1–24*. <http://www.lowtechmagazine.com/2012/03/solar-oriented-cities-1-the-solar-envelope.html%5Cnhttp://www.energybulletin.net/stories/2012-03-26/>
- DMQ. (2015). Atlas de amenazas naturales y exposición de infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito. *EXCO-Excelencia Corporativa. Quito*, 126. https://ia801301.us.archive.org/31/items/AtlasAmenazasNaturalesDMQ/Atlas_amenazas_naturales_DMQ.pdf
- El Comercio. (2017). *INEC: el ingreso de la familia típica en Ecuador es USD 700 mensuales, en promedio | El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/inec-ingreso-familia-ecuador-sueldo.html>

Referencias Bibliográficas

- Estenssoro, F. (2010). Crisis ambiental y cambio climático en la política global: Un tema crecientemente complejo para América Latina. *Universum*, 2(25), 57–77. <https://doi.org/S0718-23762010000200005>
- Franco-Medina, R., & Bright-Samper, P. (2016a). Acceso solar en la arquitectura y la ciudad. Aproximación histórica. *Revista de Arquitectura. Universidad Católica de Colombia*, 18, 20. <https://revistadearquitectura.ucatolica.edu.co/issue/view/90/pdf18-2>
- Franco-Medina, R., & Bright-Samper, P. J. (2016b). Acceso solar en la arquitectura y la ciudad. Aproximación histórica. *Revista de Arquitectura*, 18(2), 95–106. <https://doi.org/10.14718/revarq.2016.18.2.9>
- Franco Medina, R., Bright, P., Benitez, J., & Beckers, B. (2016). A study of solar access in Bogotá: the Las Nieves neighborhood. *FICUP: An International Conference on Urban Physics*, 96–121. <http://www.utadeo.edu.co/es>. <https://www.utc.fr/>
- García, E. H., & García, F. (2012). Densificación con criterios de soleamiento. Un método gráfico para el cálculo de áreas adecuadas para nueva edificación en entornos construidos en el caso de Zabalgana en Vitoria-Gasteiz. *Libro de Actas Del Congreso Nacional Del Medio Ambiente 2012*, 50–65. <http://oa.upm.es/20840/%0Ahttp://www.conama2012.conama.org/conama10/download/files/conama11/CT2010/1896706064.pdf>
- Givoni, B. (1998). Climate considerations in Building and Urban Design. *John Wiley & Sons*.
- Gobierno Provincial de Pichincha. (2017). *Distrito Metropolitano de Quito*. <https://www.pichincha.gob.ec/cantones/distrito-metropolitano-de-quito>
- Gómez Piovano, J., & Mesa, A. (2017). Determinación de densidades urbanas sostenibles en base a metodología relativa al acceso solar: caso área metropolitana de Mendoza, Argentina. *Revista de Urbanismo*, 0(36), 131–145. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2017.44367>
- Han, Y., Taylor, J. E., & Pisello, A. L. (2017). Exploring mutual shading and mutual reflection inter-building effects on building energy performance. *Applied Energy*, 185, 1556–1564. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.170>
- Hedrick, R. L., Mcfarland, J. K., Apte, M. G., Bixby, D. C., Brunner, G., Buttner, M. P., Conover, D. R., Damiano, L. A., Danks, R. A., Fisher, F. J., Girman, J. R., Howard, E. P., Howard, R. L., Lawton, W. M., Magee, C. R., Marbery, C. A., McClendon, J. P., Muliawan, A. S., Meyers, D. B., ... Peterson, J. C. (2013). ASHRAE STANDARD Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality Staff Liaison : Mark Weber. *Ashrae Standard*, 2010, 1–4.
- IEA and UNEP. (2018). International Energy Agency and the United Nations Environment Programme - Global Status Report 2018: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector. *Global Status Report*, 325. <https://doi.org/978-3-9818911-3-3>
- INAMHI. (2017). Anuario meteorológico № 53-2013. In *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología* (Issue 52). http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_

2013.pdf

INE de Venezuela. (2011). *XIV Censo Nacional de Población y Vivienda*.

INEC. (2013). *Proyecciones poblacionales*.

INEC. (2019). Encuesta de Edificaciones 2018. *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*, 23. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/edificaciones/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censos (INEGI) 1900-2020*. <https://www.inegi.org.mx/>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2019). *INEC presenta sus proyecciones poblacionales cantonales*.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Cambio climático 2013: bases de la ciencia física. *Livestock Research for Rural Development*, 2. https://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/ar5/ar5_wg1_headlines_es.pdf

Inzulza, J., Wolff, C., & Vargas, K. (2017). Acceso Solar : Un Derecho Urbano Para La Calidad De Vida Vulnerado Desde La Gentrificación Contemporánea. *Revista 180*, 39, 15. <http://www.revista180.cl/index.php/revista180/article/view/283/311>

Inzunza, J. (2012). *Meteorología descriptiva*. Departamento de Geofísica, Universidad de Concepción. (pp. 2–34).

Johnson, B. . (1981). Patterns of residential. *National Research Council of Canada. Division of Building Research*.

Kesten, D., & Eicker, U. (2010). *Published in : ICSU Proceedings of the 1 st International Conference on Sustainable Urbanisation , Hong Kong , China , 15-17 September 2010 . THE IMPACT OF THE URBAN FORM ON HEATING , COOLING AND LIGHTING DEMAND OF CITIES. September, 15–17*.

Knowles, R. L. (2003). *The solar envelope: its meaning for energy and buildings*. 35, 15–25.

Li, D. H. W., Wong, S. L., Tsang, C. L., & Cheung, G. H. W. (2006). A study of the daylighting performance and energy use in heavily obstructed residential buildings via computer simulation techniques. *Energy and Buildings*, 38(11), 1343–1348. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.04.001>

Li, D., Liu, G., & Liao, S. (2015). Solar potential in urban residential buildings. *Solar Energy*, 111(January), 225–235. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.10.045>

Lobaccaro, G., & Frontini, F. (2014). Solar energy in urban environment: How urban densification affects existing buildings. *Energy Procedia*, 48(1876), 1559–1569. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.176>

López-Morales, E., Sanhueza, C., Espinoza, S., & Órdenes, F. (2019). Verticalización inmobiliaria y valorización de renta de suelo por infraestructura pública: Un análisis econométrico del gran

Referencias Bibliográficas

- santiago, 2008-2011. *Eure*, 45(136), 113–134. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612019000300113>
- Mardaljevic, J., & Rylatt, M. (2000). *An image-based analysis of solar radiation for urban settings. PLEA-Passive and Low Energy Architecture, Cambridge, UK.* 442–447. [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=ee4XH1wFFFYC&oi=fnd&pg=PA442&dq=Mardaljevic,+J.+and+Rylatt,M.,+\(2000\).+An+image-based+analysis+of+solar+radiation+for+urban+settings”,+Proc.+PLEA+2000+conference+on+Passive+and+Low+Energy+Architecture+,+Cambr](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=ee4XH1wFFFYC&oi=fnd&pg=PA442&dq=Mardaljevic,+J.+and+Rylatt,M.,+(2000).+An+image-based+analysis+of+solar+radiation+for+urban+settings”,+Proc.+PLEA+2000+conference+on+Passive+and+Low+Energy+Architecture+,+Cambr)
- Mariuxi, R. G., & Santiago, M. M. (2019). *Incidencia lumínica en la Casa Patio del Centro Histórico de Quito Estudio del caso barrio San Marcos.* 55–68.
- McCann, C. (2008). *A Comprehensive Review of Solar Access Law in the United States.* Florida: Florida Solar Energy Research and Education Foundation.
- Mesa, A., & de Rosa, C. (2000). Evaluación del potencial solar en entornos urbanos. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 4, 6.
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2017). *Guía práctica para el uso eficiente de la energía eléctrica en el Ecuador* (pp. 1–116).
- Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales NEC-HS-EE, 40 (2018). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-HS-EE-Final.pdf>
- Miranda Iñiguez, F. (2016). *Externalidades energéticas producidas por nuevos proyectos inmobiliarios en altura. Bloqueo al acceso solar en la ciudad. Caso de estudio: cuadrantes de Santiago y Ñuñoa.* Universidad de Chile.
- Morello, E., Gori, V., Balocco, C., & Ratti, C. (2009). Sustainable urban block design through passive architecture: A tool that uses urban geometry optimization to compute energy savings. *PLEA 2009 - Architecture Energy and the Occupant’s Perspective: Proceedings of the 26th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, February 2014.*
- Diagnóstico Estratégico-Eje Territorial, 183 (2015). http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Sesiones del Concejo/2015/Sesión Extraordinaria 2015-02-06/Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015-2025/Volumen I/6. Diagnóstico Territorial.pdf
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2015). *Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015-2025: Componente Estratégico* (p. 154). <https://www.quito.gob.ec/documents/PMDOT.pdf>
- Ordenanza Metropolitana 210. PUOS, (2018).
- NASA. (2021, January 23). *Glossary.* Earth Observatory; NASA Earth Observatory.
- ONU-Hábitat. (2012). *Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe 2012. Rumbo a una nueva*

Referencias Bibliográficas

- transición urbana. In *Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos* (Issue 17). <http://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=1090144>
- ONU. (2018). *Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo | ONU DAES | Naciones Unidas Departamento de Asuntos Económicos y Sociales*. 16 de Mayo. <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>
- Peralta, C. (2017). *Volver a los patios interiores*. El Universo. <https://www.eluniverso.com/tendencias/2017/05/26/nota/6199789/volver-patios-interiores>
- REPSOL. (2019). Anuario Estadístico-Energético. *Dirección de Estudios, Octubre*, 169.
- Ríos, A., Guamán, J., & Vargas, C. (2018). Análisis de la Implementación de una Estrategia de Reducción del Consumo Energético en el Sector Residencial del Ecuador : Evaluación del Impacto en la Matriz Energética. *Revista Técnica Energía*, 15, 98–109.
- Rodríguez Sosa, M., & Sánchez Flores, E. (2018). Densificación sustentable y vivienda vertical social:viabilidad urbana, económica y sociocultural. *Cuarto Encuentro Académico Del Fondo de Desarrollo Científico y Tecnológico Para El Fomento de La Producción y Financiamiento de Vivienda y El Crecimiento Del Sector Habitacional*, 61–65. [http://148.210.21.170/bitstream/handle/20.500.11961/7004/2018-Publicacion CONAVI-CONACYT- 4 Encuentro Academico .pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://148.210.21.170/bitstream/handle/20.500.11961/7004/2018-Publicacion%20CONAVI-CONACYT-4%20Encuentro%20Academico.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Salas Chimbo, M. de L., Quezada, P., Crespo Cabillo, I., & Vélez Alvear, V. (2019). Morfología urbana y acceso solar : estudio para la densificación en el centro histórico de la ciudad de Loja (Ecuador). *Espacios (Caracas)*, 40(4), 13–32.
- Sanaieian, H., Tenpierik, M., Linden, K. Van Den, Mehdizadeh Seraj, F., & Mofidi Shemrani, S. M. (2014). Review of the impact of urban block form on thermal performance, solar access and ventilation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 551–560. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.06.007>
- Sandroni, P. (2011). *Recent experience with land value capture in São Paulo, Brazil*. Lincoln Institute of Land Policy. <https://www.lincolninst.edu/publications/articles/recent-experience-land-value-capture-sao-paulo-brazil>
- Sarquis, M. J. (2018). *Acceso solar y morfología urbana en procesos de densificación en altura. Caso de estudio: comuna de San Miguel en Santiago de Chile*. Universidad de Chile.
- Schuessler, R. (2014). Energy Poverty Indicators: Conceptual Issues - Part I: The Ten-Percent-Rule and Double Median/Mean Indicators. *SSRN Electronic Journal*, 14. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2459404>
- Secretaría de Territorio Hábitat y Vivienda. (2011). *Ordenanza Metropolitana N° 172*.
- Ordenanza Metropolitana N 003, 44 (2019).
- Anexo 2. Instructivo de aplicación de los parámetros de eco-eficiencia., 1 (2020).

Referencias Bibliográficas

<https://www.ecp.ec/wp-content/uploads/2020/08/ANEXO2-STHV-034-2020.pdf>

Proyecto de Ordenanza Metropolitana de reactivación económica y fomento de empleo para mitigar los efectos económicos del sector de la construcción, derivados de la pandemia mundial del Coronavirus COVID-19, (2020).

Seong, Y. B., Lim, J. H., Yeo, M. S., Goh, I. Du, & Kim, K. W. (2006). HELIOS: Solar rights analysis system for apartment buildings. *Solar Energy*, 80(6), 723–741. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.11.008>

Silva, M. B. (2000). La vivienda a patios de origen hispánico y su difusión en Iberoamérica. *Actas III Congreso Internacional Del Barroco Americano: Territorio, Arte, Espacio y Sociedad*, 875–896. <https://www.upo.es/depa/webdhuma/areas/arte/actas/3cibi/documentos/071f.pdf>

Stemmers, K. (2003). Energy and the city: density, buildings and transport. *Energy and Buildings*, 35(2), 3–14. <https://doi.org/10.1001/jama.1907.25320020011001c>

Strømmand-Andersen, J., & Sattrup, P. A. (2011). The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and Buildings*, 43(8), 2011–2020. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.04.007>

Tereci, A., Ozkan, S. T. E., & Eicker, U. (2013). Energy benchmarking for residential buildings. *Energy and Buildings*, 60, 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.12.004>

Tsangrassoulis, A., & Santamouris, M. (2003). Numerical estimation of street canyon albedo consisting of vertical coated glazed facades. *Energy and Buildings*, 35(5), 527–531. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00157-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00157-3)

Vaca Revelo, D., & Ordoñez, F. (2019). *Mapa solar del Ecuador 2019* (Issue January). <http://meteorology.epn.edu.ec/>

Van Esch, M. M. E., Looman, R. H. J., & De Bruin-Hordijk, G. J. (2012). The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies. *Energy and Buildings*, 47, 189–200. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.042>

Venegas Quintulén, S. A., & Piderit Moreno, M. B. (2018). Reflectancia de las envolventes verticales y su influencia sobre disponibilidad de luz natural en el cañón urbano de la ciudad de Concepción. *Revista Hábitat Sustentable*, 8, 6–15. <https://doi.org/10.22320/07190700.2018.08.01.01>

Anexo A: Mapas de Análisis Urbano

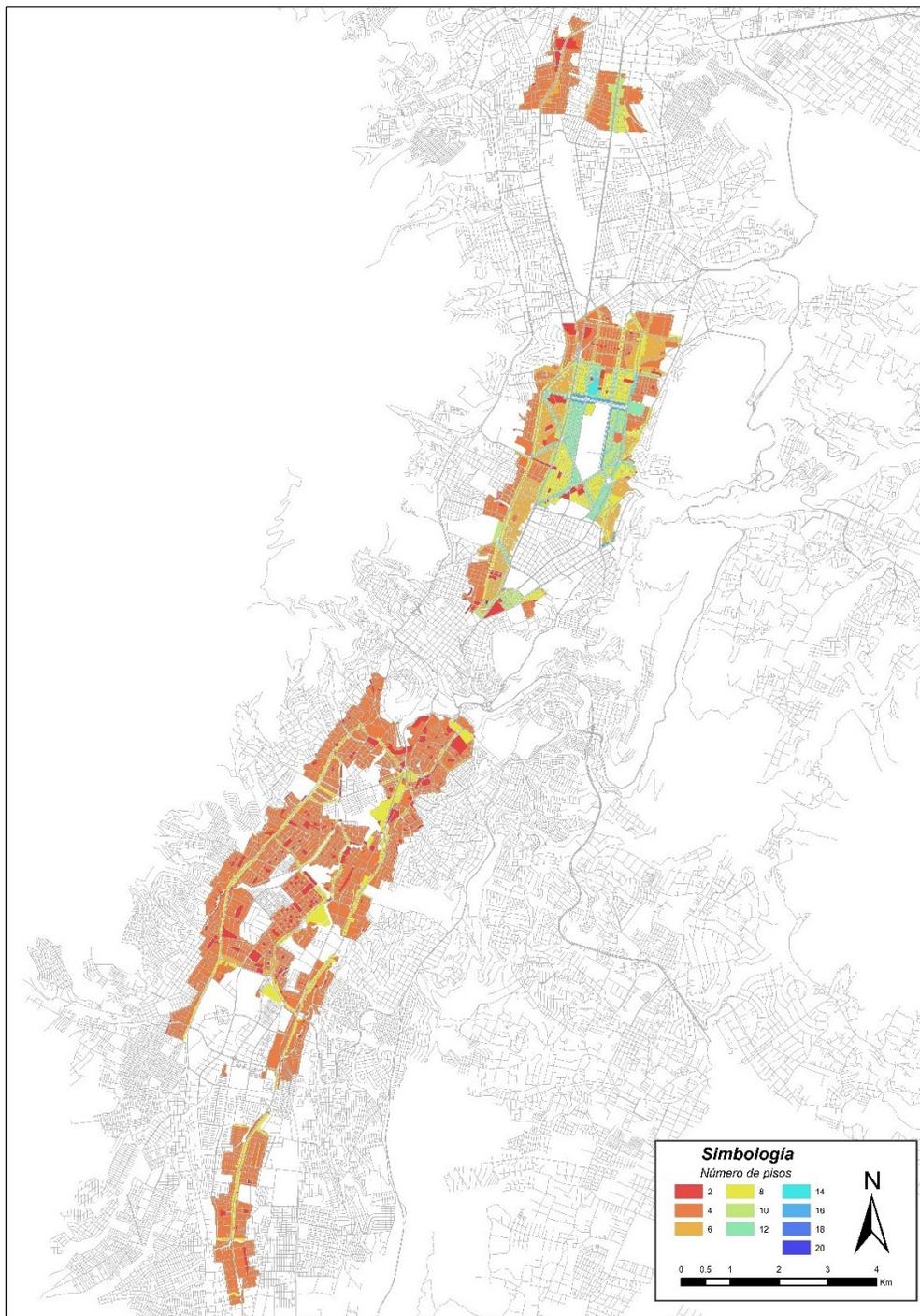


Figura 80 Alturas de Edificación en el Área de Influencia BRT-Metro.

Fuente: Elaboración Propia. Base de datos CIUQ, 2020

Anexo A: Mapas de Análisis Urbano

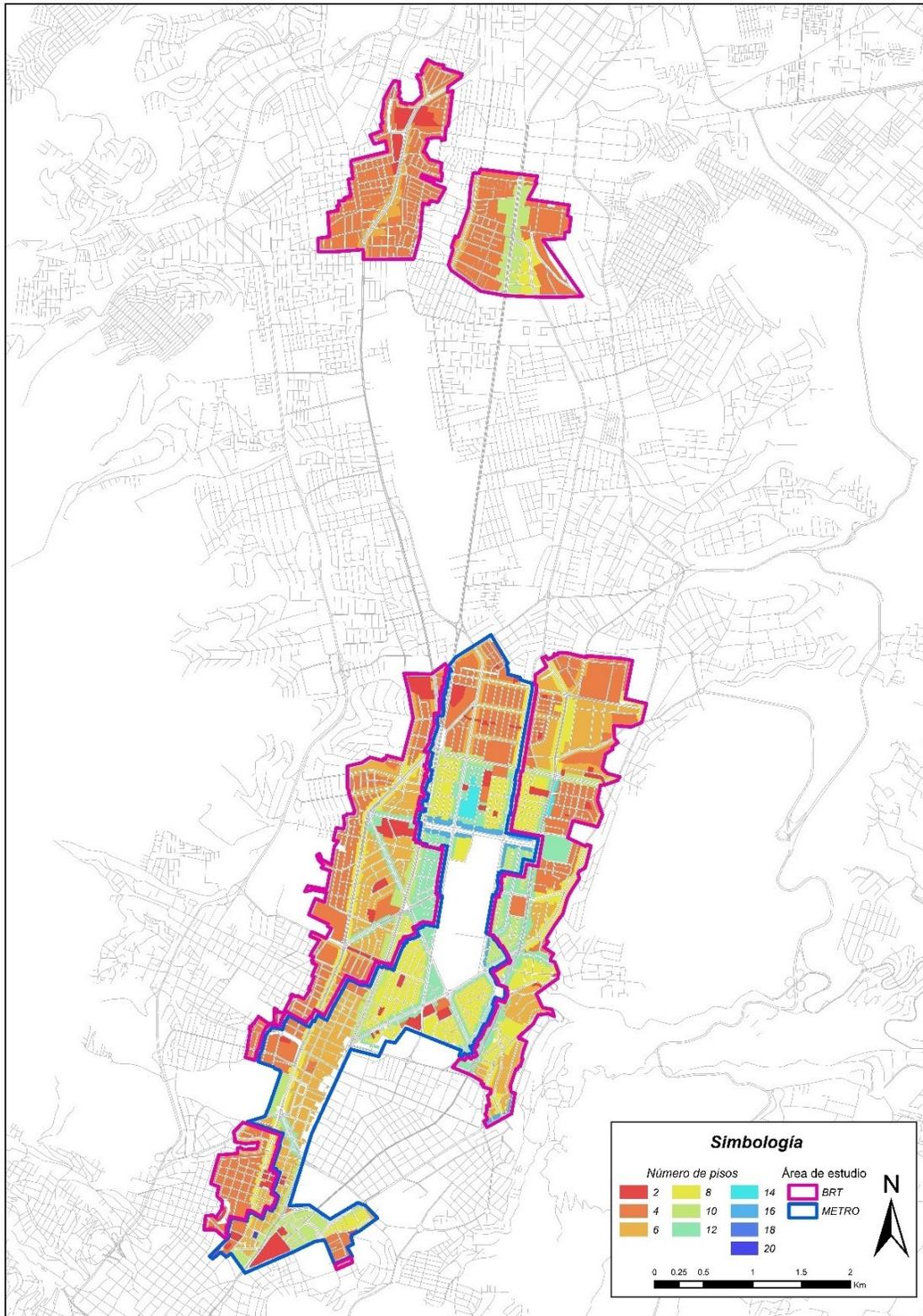


Figura 81 Alturas de Edificación en el Área de Influencia BRT-Metro. Zona Norte

Fuente: Elaboración Propia. Base de datos CIUQ, 2020

Anexo A: Mapas de Análisis Urbano

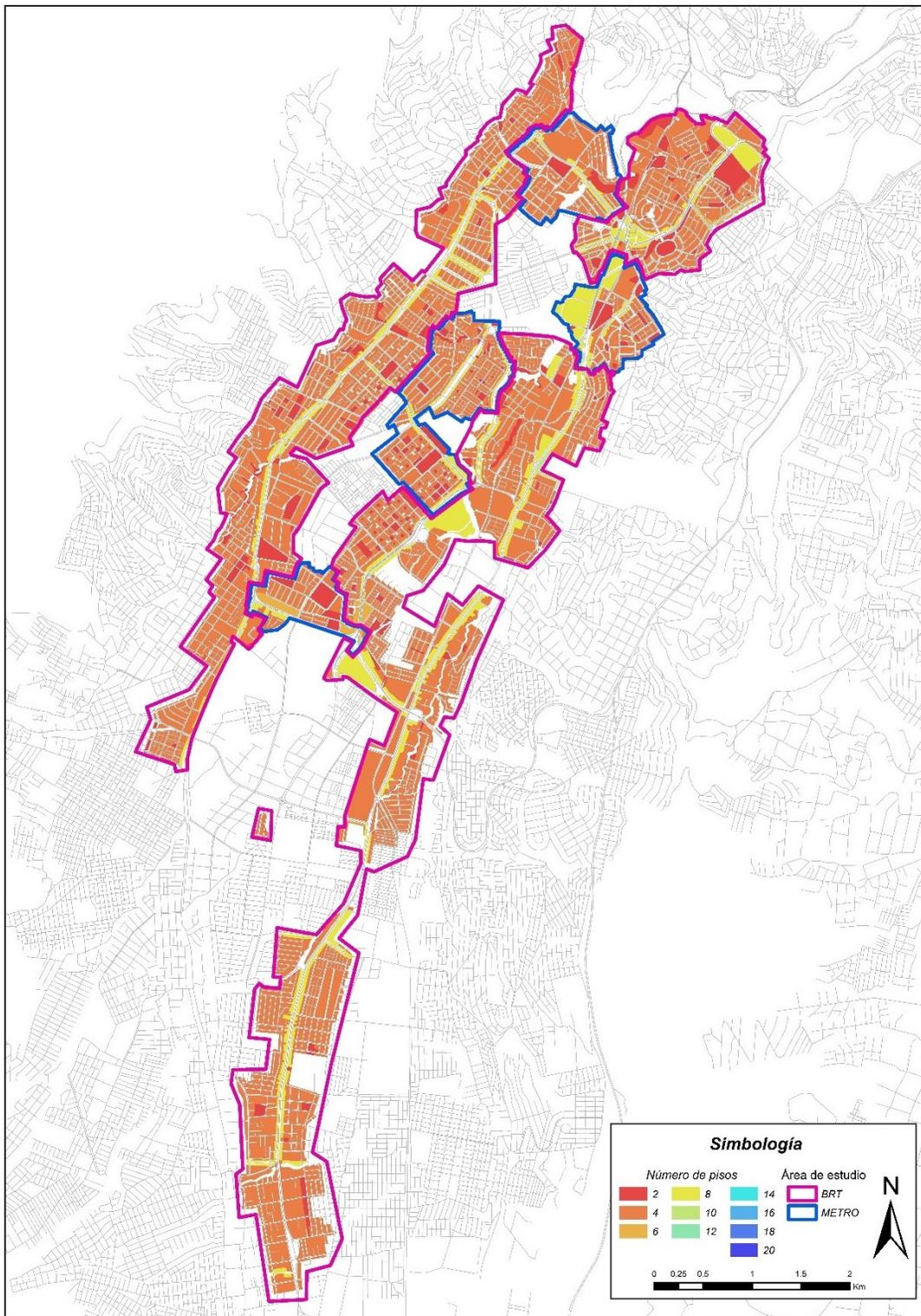


Figura 82 Alturas de Edificación en el Área de Influencia BRT-Metro. Zona Sur.

Fuente: Elaboración Propia. Base de datos CIUQ, 2020

Anexo A: Mapas de Análisis Urbano

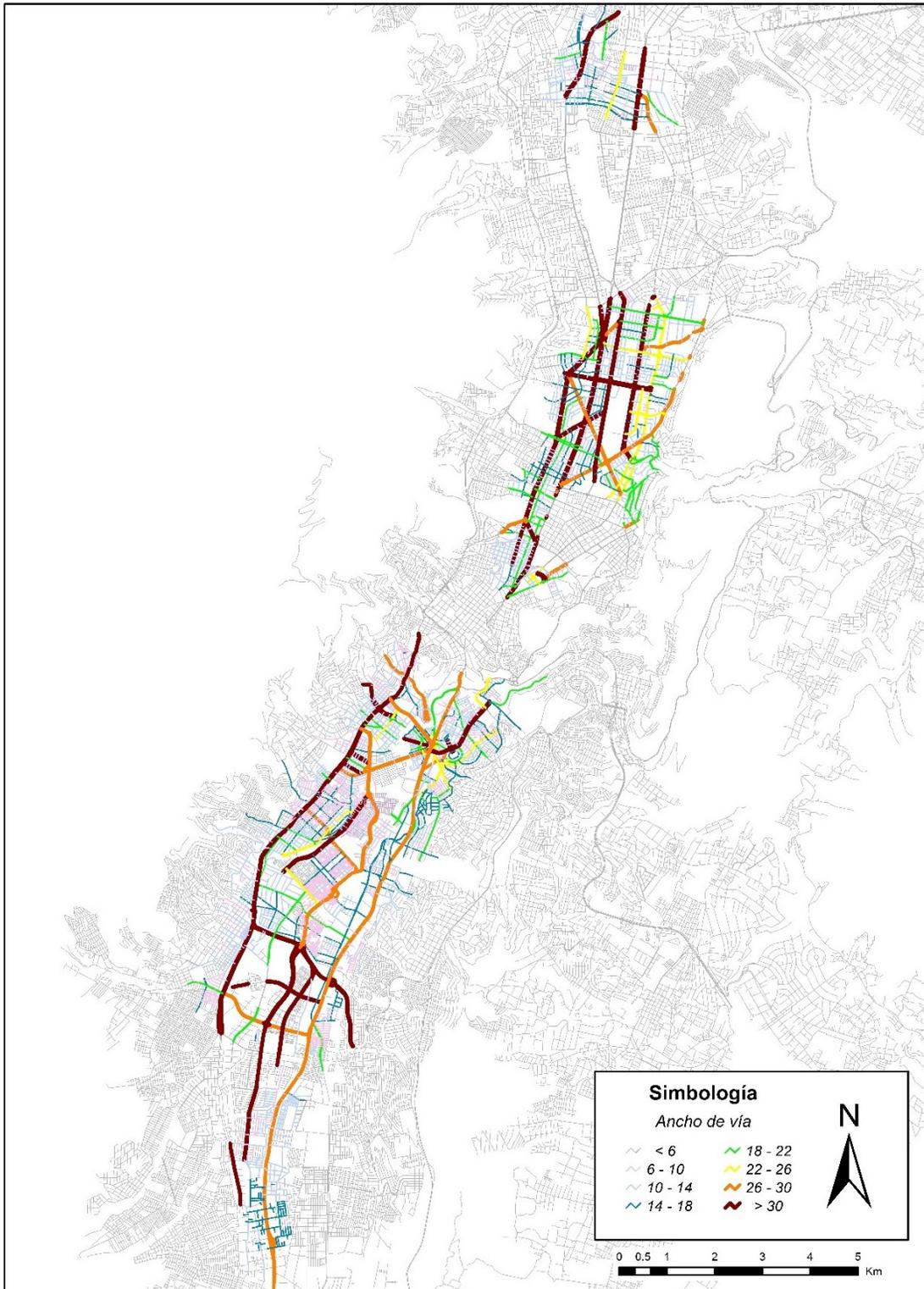


Figura 83 Ancho de Vías Área de Influencia.

Fuente: Elaboración Propia. Base de datos CIUQ, 2020

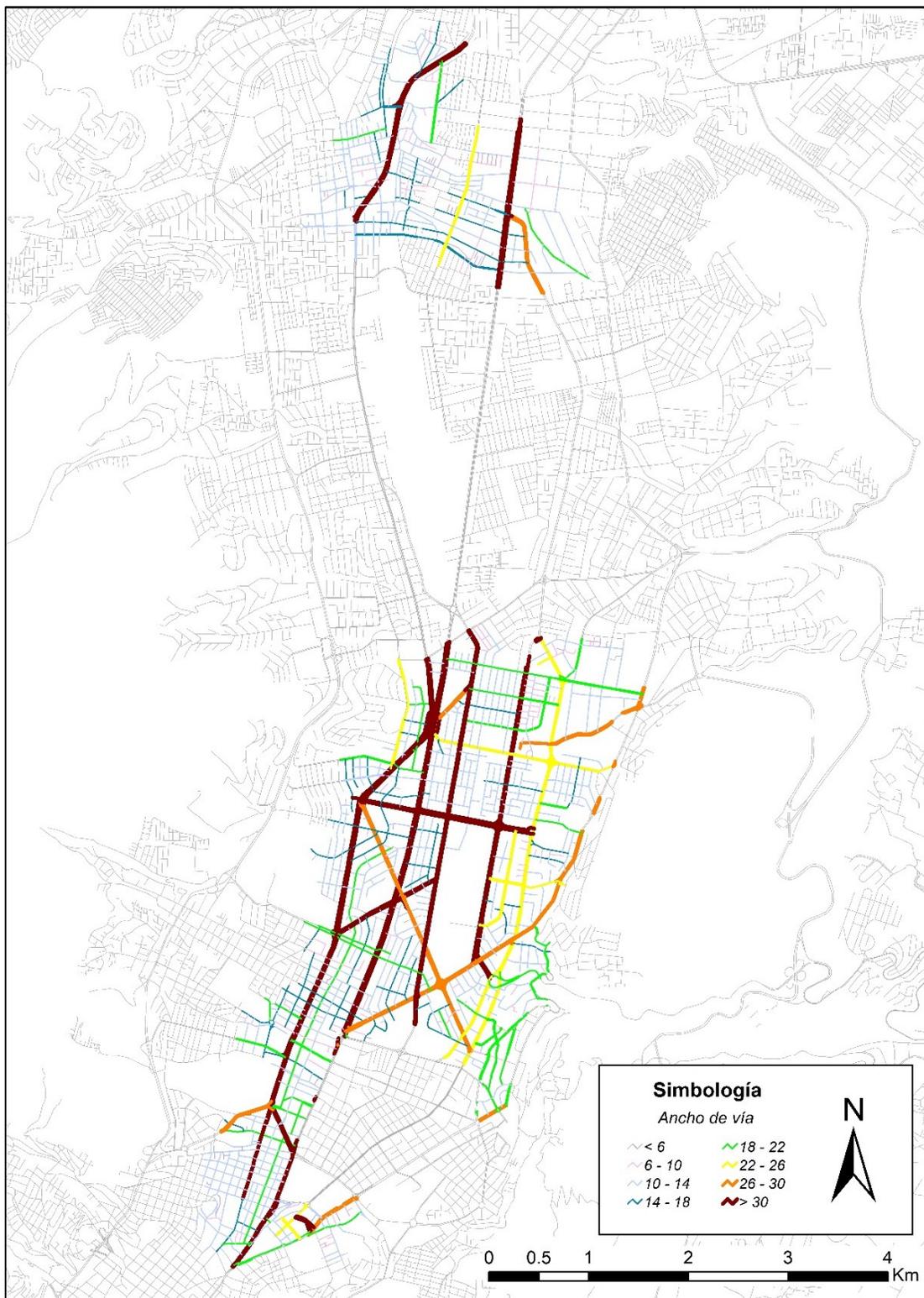


Figura 84 Ancho de Vías Área de Influencia. Zona Norte.

Fuente: Elaboración Propia. Base de datos CIUQ, 2020

Anexo A: Mapas de Análisis Urbano

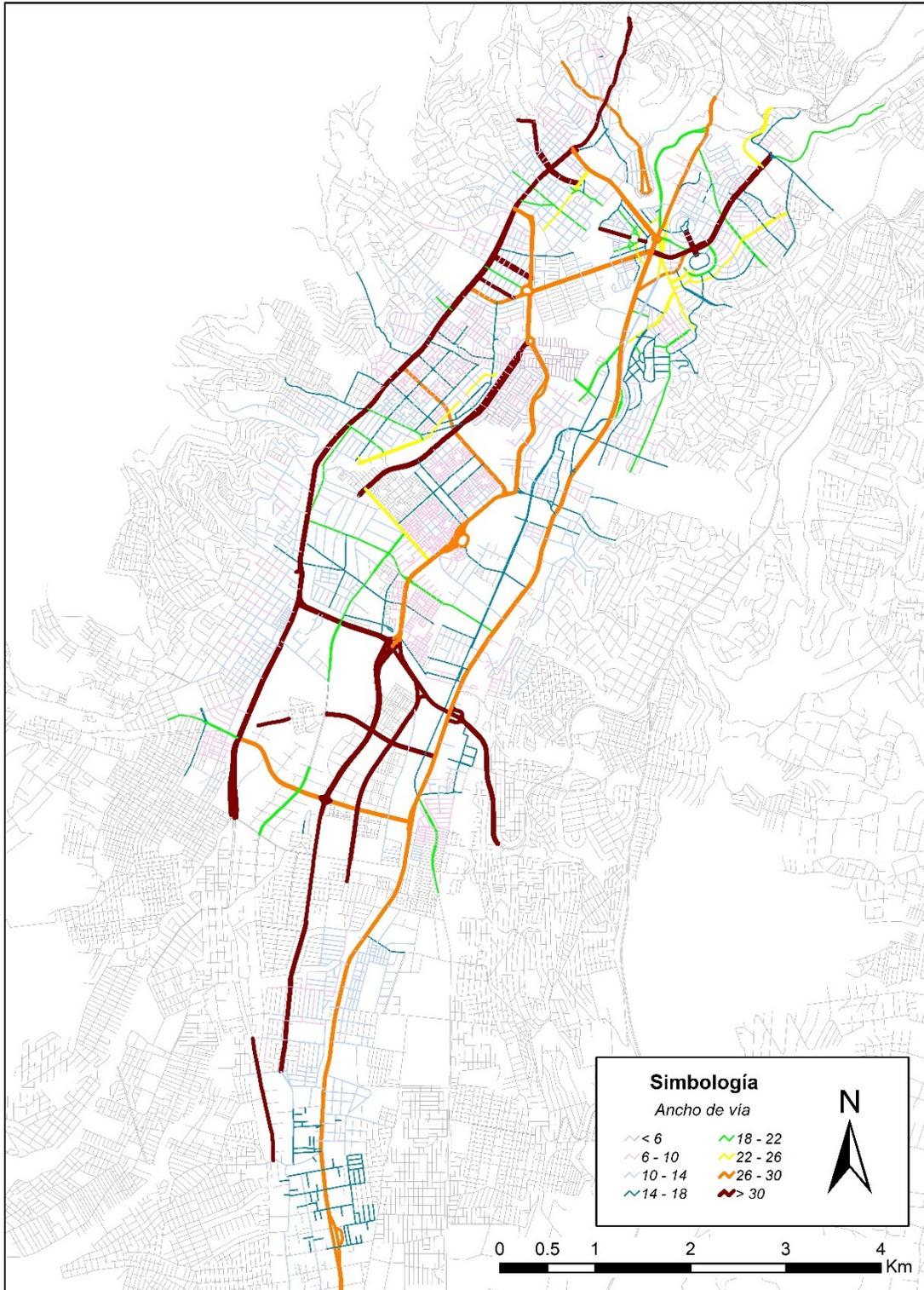


Figura 85 Ancho de Vías Área de Influencia. Zona Sur.

Fuente: Elaboración Propia. Base de datos CIUQ, 2020

Anexo A: Mapas de Análisis Urbano

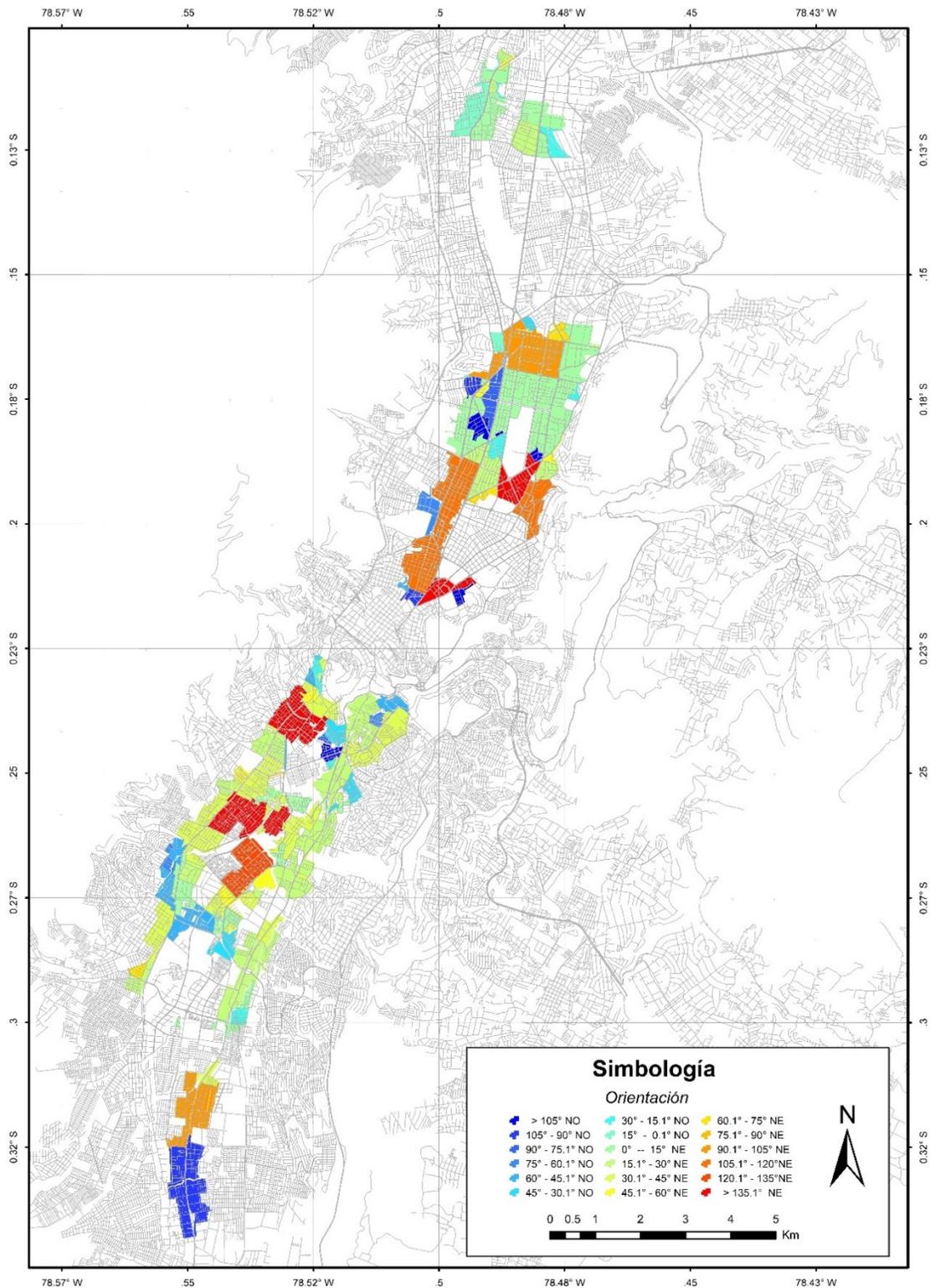


Figura 86 Orientación de manzanas Área de Influencia BRT-Metro.

Fuente: Elaboración Propia. Base de datos CIUQ, 2020

Anexo A: Mapas de Análisis Urbano

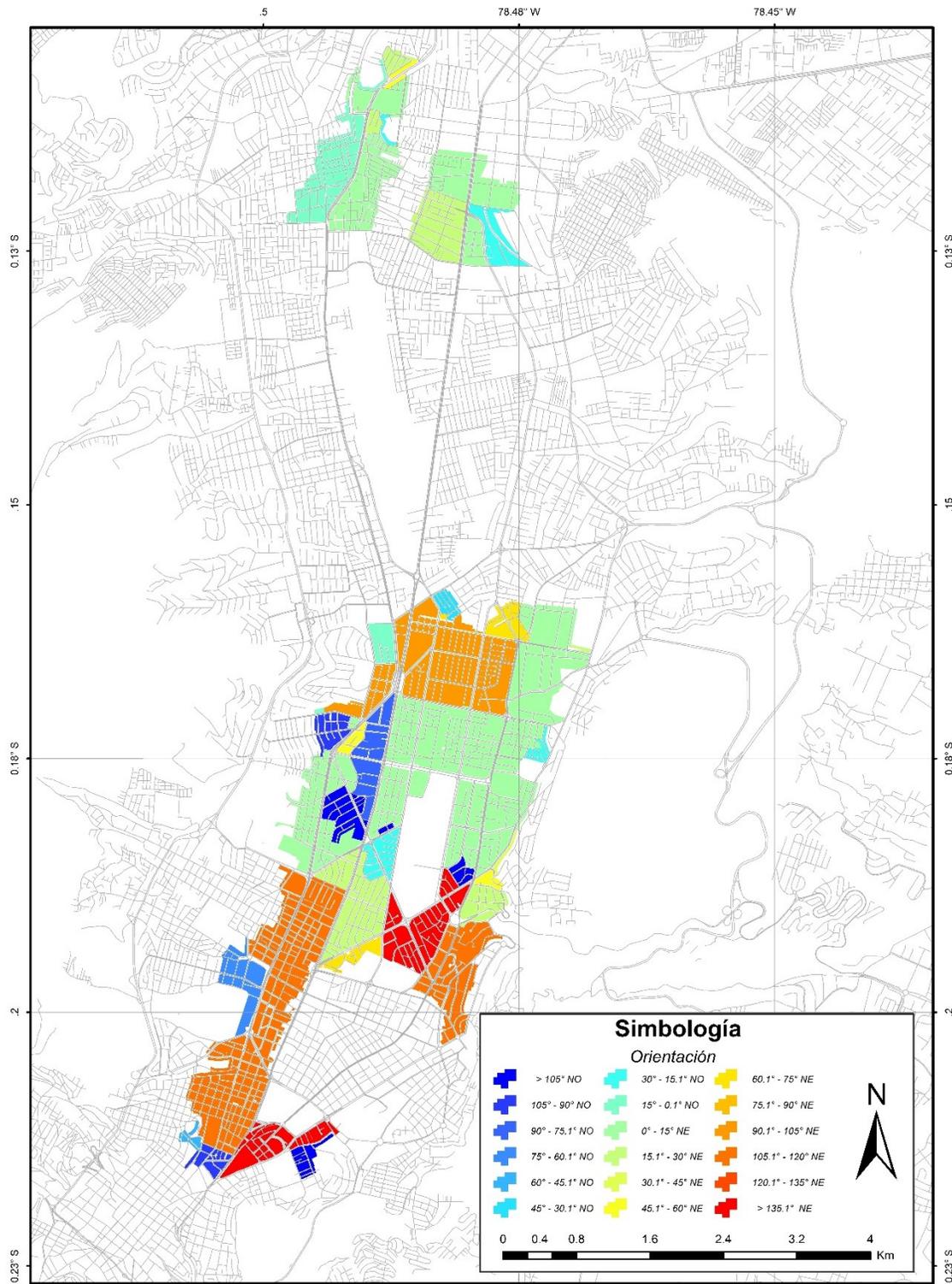


Figura 87 Orientación de manzanas Área de Influencia BRT-Metro. Zona Norte

Fuente: Elaboración Propia. Base de datos CIUQ, 2020

Anexo A: Mapas de Análisis Urbano

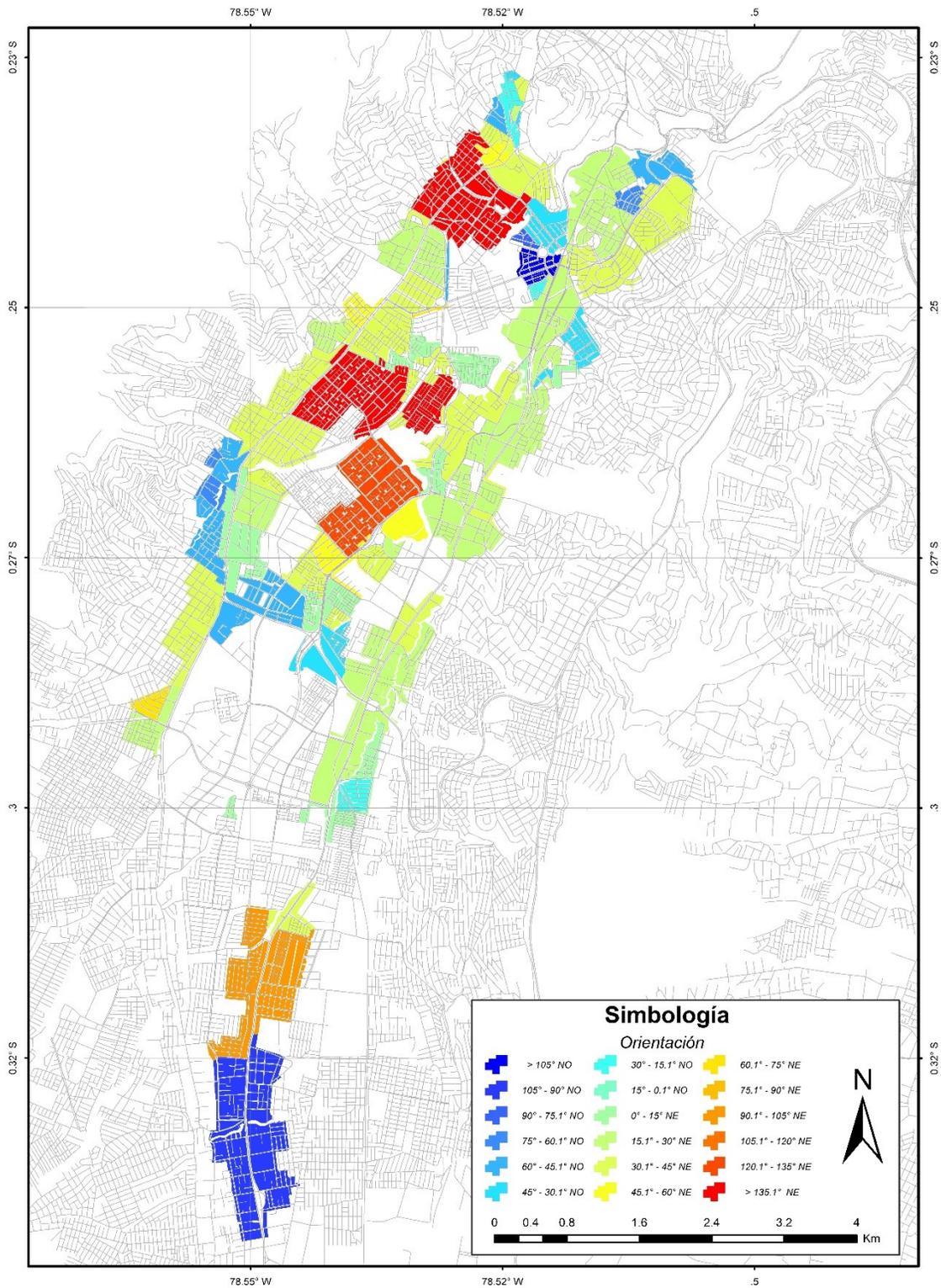


Figura 88 Orientación de manzanas Área de Influencia BRT-Metro. Zona Sur.

Fuente: Elaboración Propia. Base de datos CIUQ, 2020

Anexo A: Mapas de Análisis Urbano

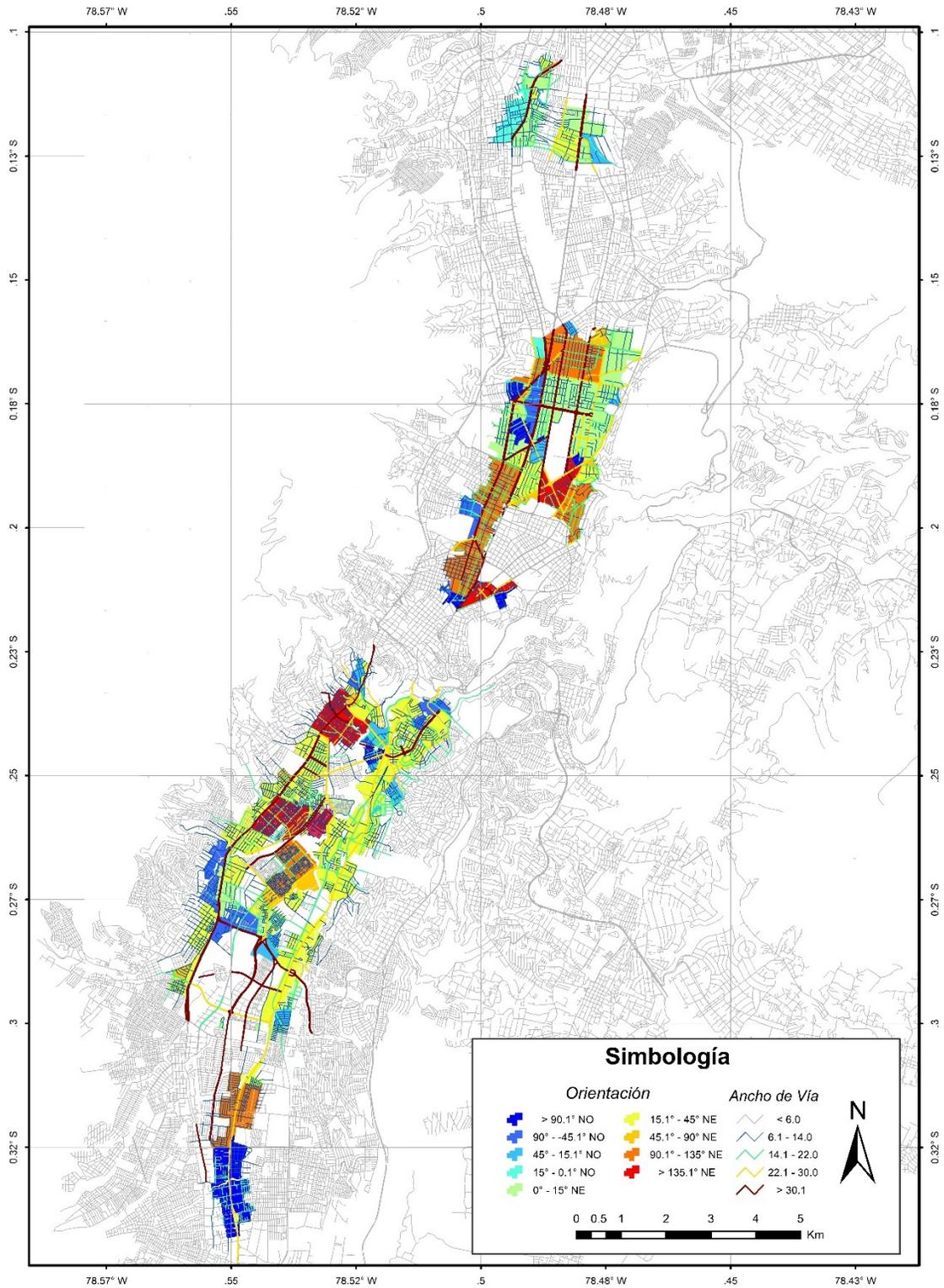


Figura 89 Orientación de manzanas y anchos de vía Área de Influencia BRT-Metro.

Fuente: Elaboración Propia. Base de datos CIUQ, 2020

Anexo A: Mapas de Análisis Urbano

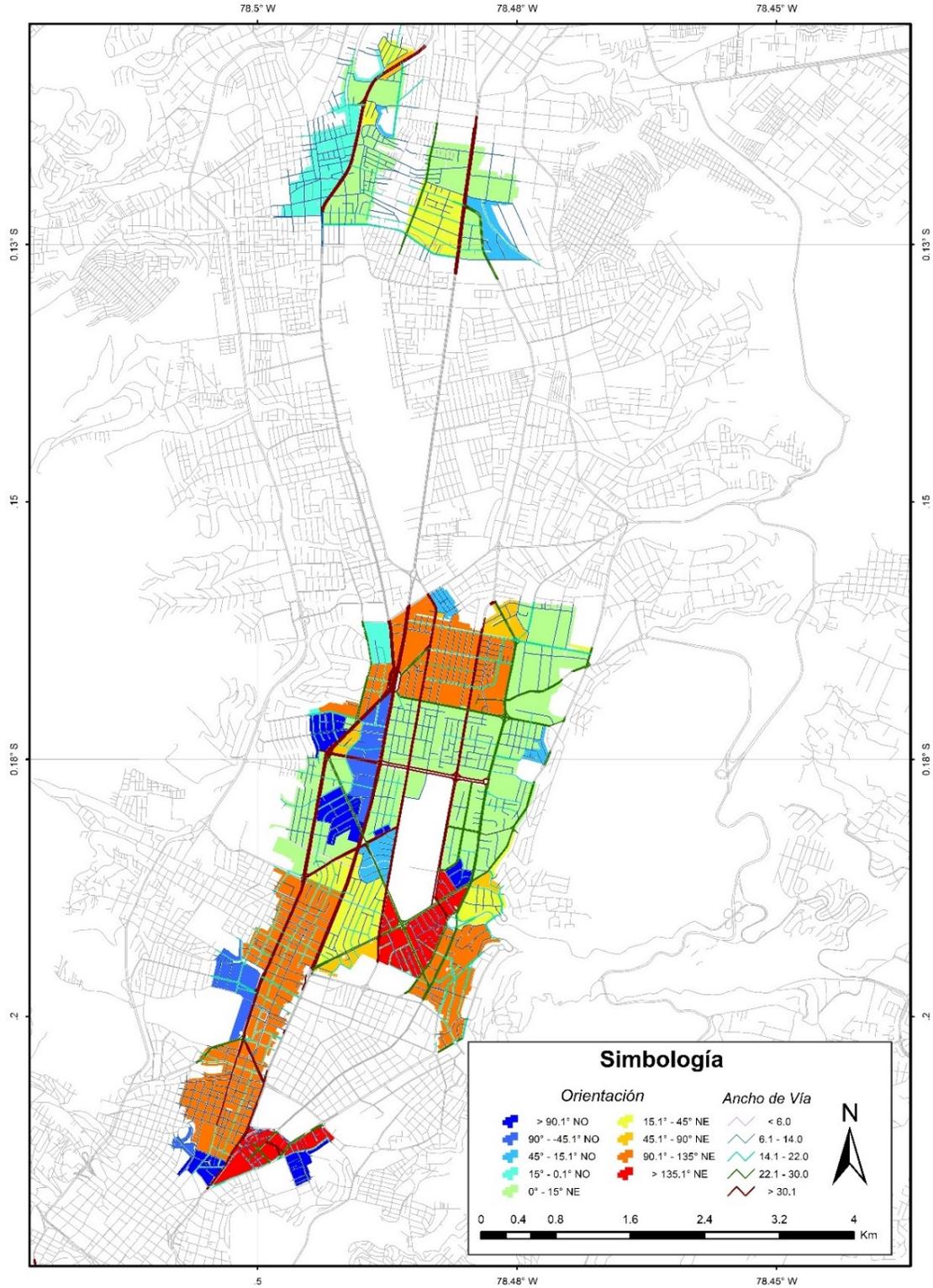


Figura 90 Orientación de manzanas y anchos de vía Área de Influencia BRT-Metro. Zona Norte.

Fuente: Elaboración Propia. Base de datos CIUQ, 2020

Anexo A: Mapas de Análisis Urbano

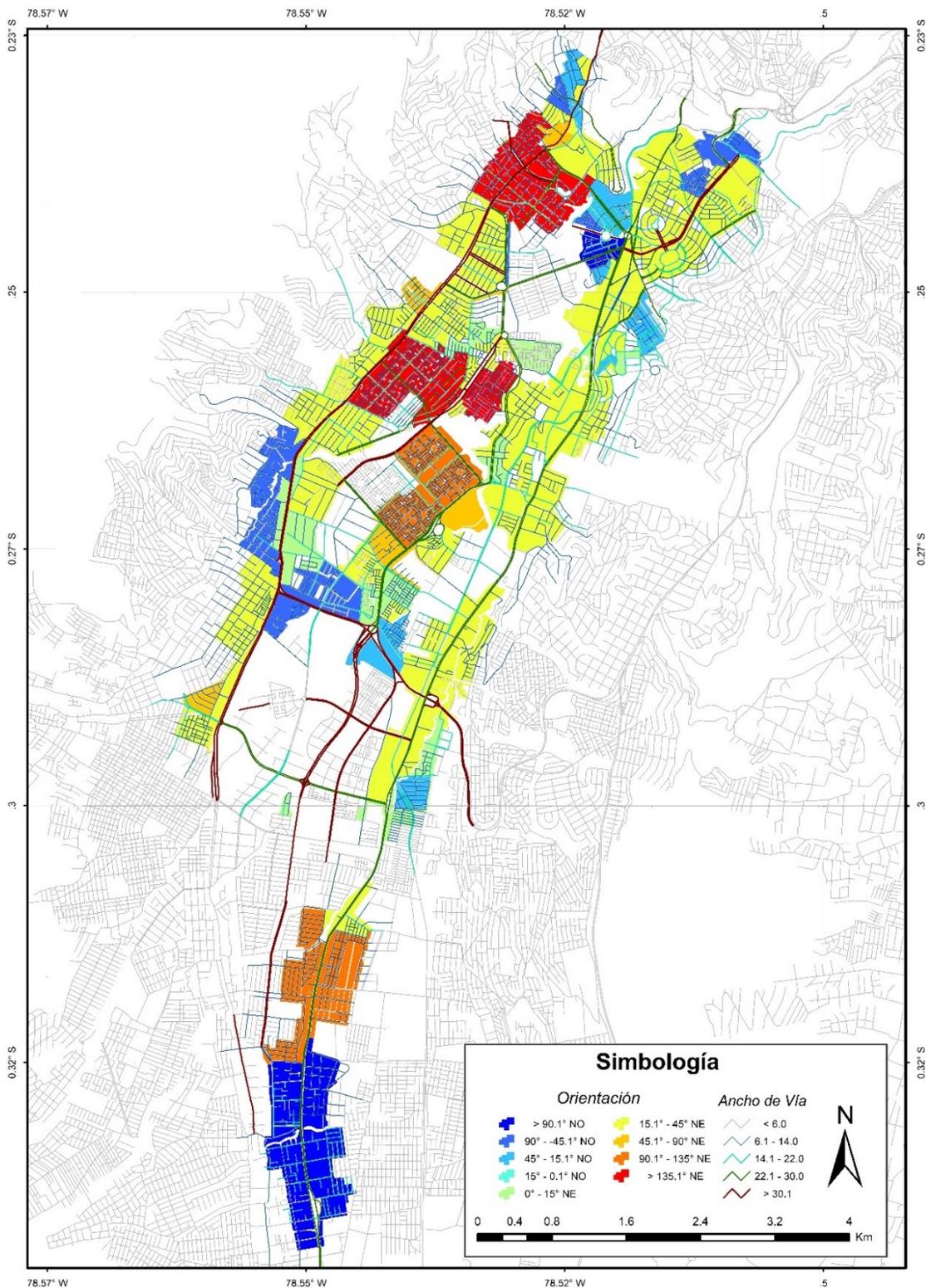


Figura 91 Orientación de manzanas y anchos de vía Área de Influencia BRT-Metro. Zona Sur.

Fuente: Elaboración Propia. Base de datos CIUQ, 2020

Anexo B: Tablas de Resultados de Simulación

a. Resultados de Simulación de Irradiancia en Fachada

Tabla 62 Resultados de Simulación de Irradiancia. Escenario Base (1)

<i>Radiación Incidente (kWh)</i>										
<i>Edificio teórico (pisos)</i>	36									
<i>Obstrucción solar (pisos)</i>	36									
<i>Distancia horizontal (m)</i>	0									
<i>Ratio (h/w)</i>	0									
<i>Piso</i>	<i>Orientación (°N)</i>									
	<i>-165</i>	<i>-150</i>	<i>-135</i>	<i>-60</i>	<i>-30</i>	<i>15</i>	<i>30</i>	<i>45</i>	<i>120</i>	<i>150</i>
1	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
2	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
3	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
4	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
5	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
6	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
7	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
8	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
9	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
10	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
11	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
12	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
13	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
14	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
15	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
16	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
17	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
18	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
19	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
20	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
21	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
22	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
23	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
24	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
25	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
26	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
27	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
28	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578

Anexo B: Tablas de Resultados de Simulación

Edificio teórico (pisos)	36									
Obstrucción solar (pisos)	36									
Distancia horizontal (m)	0									
Ratio (h/w)	0									
	Orientación (°N)									
Piso	-165	-150	-135	-60	-30	15	30	45	120	150
29	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
30	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
31	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
32	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
33	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
34	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
35	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
36	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
media	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
moda	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
mínimo	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
máximo	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
\bar{x}	374	377	421	514	458	568	660	773	815	578
σ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Anexo B: Tablas de Resultados de Simulación

Tabla 63 Resultados de Simulación de Irradiancia. Escenario 2

Radiación Incidente (kWh)										
<i>Edificio teórico (pisos)</i>	36									
<i>Obstrucción solar (pisos)</i>	36									
<i>Distancia horizontal (m)</i>	6									
<i>Ratio (h/w)</i>	24									
Piso	Orientación (°N)									
	-165	-150	-135	-60	-30	15	30	45	120	150
1	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
2	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
3	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
4	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
5	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
6	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
7	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
8	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
9	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
10	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
11	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
12	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
13	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
14	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
15	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
16	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
17	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
18	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
19	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
20	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
21	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
22	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
23	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
24	145	151	147	144	151	145	155	148	146	156
25	145	151	147	148	156	145	155	148	150	156
26	150	151	147	148	158	151	155	148	150	158
27	151	151	150	151	158	152	158	153	153	158
28	156	156	154	154	159	155	165	163	153	165
29	162	162	158	158	161	164	174	167	159	171
30	167	167	160	163	171	178	176	172	161	173
31	181	174	168	163	181	191	184	183	167	178
32	200	178	169	175	196	196	199	190	186	205
33	225	196	186	196	218	271	229	236	218	217
34	254	221	271	219	245	330	324	319	274	279
35	295	262	279	298	308	440	451	478	434	384
36	336	335	375	467	419	521	599	689	725	526
media	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
moda	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
mínimo	145	151	147	144	149	145	155	148	146	156
máximo	336	335	375	467	419	521	599	689	725	526
\bar{X}	164	165	164	164	170	177	186	183	179	181
σ	49	49	57	77	71	103	121	140	148	99

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Anexo B: Tablas de Resultados de Simulación

Tabla 64 Resultados de Simulación de Irradiancia. Escenario 3

Radiación Incidente (kWh)										
Edificio teórico (pisos)	36									
Obstrucción solar (pisos)	36									
Distancia horizontal (m)	12									
Ratio (h/w)	12									
Piso	Orientación (°N)									
	-165	-150	-135	-60	-30	15	30	45	120	150
1	169	152	153	146	149	170	155	156	148	156
2	169	152	153	146	149	170	155	156	148	156
3	169	152	153	146	149	170	155	156	148	156
4	169	152	153	146	149	170	155	156	148	156
5	169	152	153	146	149	170	155	156	148	156
6	169	152	153	146	149	170	155	156	148	156
7	170	152	153	146	149	170	155	156	148	156
8	170	152	153	146	149	170	155	156	148	156
9	170	152	153	146	149	170	155	156	148	156
10	170	152	153	146	149	170	155	156	148	156
11	171	152	153	146	149	172	155	156	148	156
12	171	152	153	146	149	172	155	156	148	156
13	171	152	153	148	149	172	155	156	150	156
14	171	155	153	148	149	172	158	156	150	156
15	171	155	153	150	149	172	158	156	151	156
16	171	155	153	152	156	172	158	156	153	158
17	172	155	153	152	156	172	159	156	153	158
18	172	156	155	152	158	172	159	156	153	159
19	176	156	159	152	159	176	159	167	153	159
20	176	157	159	154	159	176	165	167	154	167
21	176	159	159	156	161	176	172	169	158	170
22	178	167	161	161	161	181	175	169	163	172
23	179	167	162	161	170	187	175	172	163	172
24	184	172	162	163	177	194	180	174	167	175
25	190	172	166	163	178	199	180	182	167	175
26	190	176	166	168	185	199	199	182	176	186
27	214	179	174	172	186	202	211	197	180	197
28	222	186	180	176	202	232	219	211	191	206
29	227	192	186	179	207	262	230	225	218	214
30	239	199	198	199	220	302	243	242	232	224
31	251	218	216	219	245	320	320	299	274	279
32	267	236	242	251	280	377	345	345	337	310
33	276	258	261	283	308	409	426	425	382	365
34	299	276	300	328	335	455	471	512	525	415
35	324	312	340	405	380	502	571	630	653	486
36	352	353	396	486	436	544	633	745	785	555
media	174	156	157	152	159	174	159	162	153	159
moda	169	152	153	146	149	170	155	156	148	156
mínimo	169	152	153	146	149	170	155	156	148	156
máximo	352	353	396	486	436	544	633	745	785	555
\bar{x}	200	180	182	184	190	227	219	223	216	207
σ	49	49	57	77	71	103	121	140	148	99

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Anexo B: Tablas de Resultados de Simulación

Tabla 65 Resultados de Simulación de Irradiancia. Escenario 4

Radiación Incidente (kWh)										
<i>Edificio teórico (pisos)</i>	36									
<i>Obstrucción solar (pisos)</i>	36									
<i>Distancia horizontal (m)</i>	16									
<i>Ratio (h/w)</i>	9									
<i>Piso</i>	<i>Orientación (°N)</i>									
	-165	-150	-135	-60	-30	15	30	45	120	150
1	171	168	153	153	166	172	183	156	154	185
2	171	168	153	153	166	172	183	156	154	185
3	171	168	153	153	166	172	183	156	154	185
4	171	168	153	153	166	172	183	156	154	185
5	171	168	153	153	166	172	183	156	154	185
6	171	168	153	153	166	172	183	156	154	185
7	172	168	153	153	166	172	183	156	154	185
8	172	169	153	153	166	172	183	156	157	185
9	172	169	153	153	166	172	183	156	157	185
10	172	169	153	153	166	172	187	156	157	185
11	172	169	155	153	169	172	187	156	157	187
12	172	169	155	156	169	172	187	156	157	187
13	176	169	159	156	169	176	187	156	157	187
14	176	169	159	156	170	176	187	164	157	188
15	177	171	159	157	170	176	187	167	158	188
16	178	172	161	157	171	179	193	169	162	188
17	178	173	161	158	171	181	195	169	162	193
18	178	180	161	159	180	181	196	169	165	194
19	184	180	162	166	180	194	196	174	165	196
20	184	183	162	166	186	194	199	174	170	198
21	188	183	164	166	186	194	199	175	170	198
22	190	183	166	166	186	199	199	185	170	198
23	194	187	166	171	194	200	218	193	179	209
24	216	190	178	175	194	202	226	202	184	213
25	222	196	180	179	210	232	235	211	194	222
26	224	199	184	182	213	249	236	217	220	230
27	227	204	186	198	225	262	244	225	221	232
28	239	208	198	204	227	302	267	242	245	246
29	251	222	216	221	249	320	316	299	265	279
30	264	230	222	222	256	339	333	321	289	298
31	272	248	242	259	293	387	359	355	340	326
32	282	261	262	299	307	411	430	443	417	372
33	299	278	300	326	337	455	460	512	502	407
34	312	299	327	395	371	490	531	592	588	458
35	331	330	363	430	414	516	586	682	693	517
36	355	357	399	488	439	547	639	748	787	558
media	181	180	162	163	180	188	196	172	165	195
moda	171	168	153	153	166	172	183	156	154	185
mínimo	171	168	153	153	166	172	183	156	154	185
máximo	355	357	399	488	439	547	639	748	787	558
\bar{x}	210	200	191	200	214	245	256	245	240	242
σ	52	49	63	84	74	112	123	156	160	99

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Anexo B: Tablas de Resultados de Simulación

Tabla 66 Resultados de Simulación de Irradiancia. Escenario 5

Radiación Incidente (kWh)										
Edificio teórico (pisos)	36									
Obstrucción solar (pisos)	36									
Distancia horizontal (m)	22									
Ratio (h/w)	6,5									
Piso	Orientación (°N)									
	-165	-150	-135	-60	-30	15	30	45	120	150
1	203	169	183	156	169	213	187	203	157	187
2	203	169	183	156	169	213	187	203	157	187
3	203	169	183	156	169	213	187	203	157	187
4	205	169	185	157	170	217	187	205	157	188
5	205	169	185	157	170	217	187	205	157	188
6	205	169	185	157	171	217	187	208	158	188
7	205	169	185	158	171	217	187	208	158	188
8	205	171	185	158	171	217	187	209	158	188
9	207	171	187	159	171	222	189	209	162	189
10	207	171	187	161	180	222	195	210	165	194
11	207	173	187	166	180	222	196	210	165	196
12	214	180	188	166	180	228	196	212	165	196
13	214	180	188	166	180	228	196	212	165	196
14	214	180	188	166	186	228	199	212	170	198
15	214	183	190	166	186	228	199	213	170	198
16	215	183	191	166	186	233	199	220	170	198
17	215	183	191	166	194	233	218	220	179	209
18	215	187	192	171	194	233	218	231	179	209
19	215	190	192	175	195	233	226	231	184	213
20	217	191	202	178	197	255	235	245	189	218
21	236	196	203	179	210	264	235	245	194	222
22	238	199	206	180	213	280	236	251	212	222
23	238	204	206	198	225	280	244	251	221	232
24	244	204	213	198	225	306	244	268	221	232
25	250	210	219	207	228	321	289	268	253	254
26	258	222	226	221	249	338	316	318	265	279
27	271	224	232	222	250	358	328	340	276	286
28	272	242	235	242	284	363	335	353	301	304
29	278	248	252	259	293	415	359	379	340	326
30	282	254	268	278	299	418	418	393	366	359
31	296	265	282	300	311	439	455	477	436	390
32	302	287	302	338	363	462	498	519	528	439
33	315	299	330	395	371	498	531	599	588	458
34	327	320	351	414	396	505	581	675	687	508
35	341	341	379	473	422	532	613	698	738	533
36	360	361	402	498	442	554	642	751	794	562
media	215	189	192	173	195	233	222	231	182	211
moda	205	169	185	166	171	217	187	203	157	188
mínimo	203	169	183	156	169	213	187	203	157	187
máximo	360	361	402	498	442	554	642	751	794	562
\bar{X}	242	211	224	218	233	301	286	307	271	264
σ	45	53	59	93	79	107	136	156	178	110

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Anexo B: Tablas de Resultados de Simulación

Tabla 67 Resultados de Simulación de Irradiancia. Escenario 6

Radiación Incidente (kWh)										
Edificio teórico (pisos)	36									
Obstrucción solar (pisos)	36									
Distancia horizontal (m)	30									
Ratio (h/w)	4,8									
Piso	Orientación (°N)									
	-165	-150	-135	-60	-30	15	30	45	120	150
1	231	196	214	177	199	284	232	256	193	234
2	231	196	214	177	199	284	232	256	193	234
3	232	196	215	177	199	290	232	258	193	234
4	232	196	215	177	199	290	232	258	193	234
5	232	196	215	177	199	290	232	258	193	234
6	232	198	215	177	205	290	235	258	198	236
7	232	198	215	177	205	290	235	258	198	236
8	234	198	217	177	205	295	235	258	198	236
9	234	198	217	177	205	295	235	265	198	236
10	234	203	217	180	211	295	249	265	205	242
11	238	203	217	180	211	295	249	265	205	242
12	238	203	217	180	211	295	249	276	205	242
13	255	205	226	184	211	296	257	276	210	246
14	255	206	227	187	214	296	265	282	215	251
15	255	212	228	188	227	309	266	282	221	254
16	255	212	228	188	227	309	266	286	221	254
17	257	212	231	190	227	326	274	286	229	262
18	257	217	231	206	238	326	274	292	229	264
19	262	217	233	206	238	351	274	292	229	264
20	262	219	233	210	240	351	287	306	243	272
21	273	223	244	215	241	366	320	306	262	286
22	276	235	246	226	261	383	337	356	273	302
23	276	237	246	227	262	383	349	356	284	308
24	287	237	252	227	262	389	349	370	284	308
25	287	250	255	250	294	394	354	384	306	325
26	290	251	269	258	294	427	373	394	344	339
27	294	256	275	264	302	447	379	410	345	348
28	301	268	285	303	314	450	439	476	421	382
29	309	269	295	304	319	469	464	502	440	401
30	312	285	315	330	345	476	469	534	506	417
31	318	296	320	350	372	505	512	551	535	451
32	322	309	334	400	377	510	575	605	613	492
33	333	322	355	416	398	517	584	681	689	511
34	340	338	379	470	422	526	603	693	728	530
35	355	355	399	488	436	546	636	746	787	555
36	374	376	420	508	311	566	655	770	809	574
<i>media</i>	260	217	232	206	238	339	274	292	229	264
<i>moda</i>	232	196	215	177	199	290	232	258	193	234
<i>mínimo</i>	231	196	214	177	199	284	232	256	193	234
<i>máximo</i>	374	376	420	508	436	566	655	770	809	574
\bar{X}	272	239	259	248	263	373	345	377	328	318
σ	40	50	57	98	70	91	132	156	186	105

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Anexo B: Tablas de Resultados de Simulación

b. Resultados de Simulación de Calefacción

Tabla 68 Resultados de Simulación de Calefacción. Escenario base.

<i>Demanda de Calefacción Anual (kWh)</i>										
<i>Edificio teórico (pisos)</i>	36									
<i>Obstrucción solar (pisos)</i>	36									
<i>Distancia horizontal (m)</i>	0									
<i>Ratio (h/w)</i>	0									
<i>Piso</i>	<i>Orientación (°N)</i>									
	<i>-165</i>	<i>-150</i>	<i>-135</i>	<i>-60</i>	<i>-30</i>	<i>15</i>	<i>30</i>	<i>45</i>	<i>120</i>	<i>150</i>
1	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
2	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
3	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
4	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
5	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
6	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
7	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
8	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
9	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
10	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
11	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
12	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
13	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
14	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
15	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
16	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
17	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
18	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
19	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
20	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
21	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
22	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
23	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
24	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
25	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
26	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
27	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
28	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
29	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
30	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
31	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
32	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
33	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
34	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
35	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
36	71,33	73,16	70,62	82,22	84,95	91,37	87,57	76,09	66,31	64,24
Total	2567,88	2633,76	2542,32	2959,92	3058,20	3289,32	3152,52	2739,24	2387,16	2312,64

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Anexo B: Tablas de Resultados de Simulación

Tabla 69 Resultados de Simulación de Calefacción. Escenario 2

Demanda de Calefacción Anual (kWh)										
Edificio teórico (pisos)	36									
Obstrucción solar (pisos)	36									
Distancia horizontal (m)	6									
Ratio (h/w)	24									
Piso	Orientación (°N)									
	-165	-150	-135	-60	-30	15	30	45	120	150
1	339,28	388,53	337,36	334,64	374,70	376,81	331,87	314,36	291,26	365,52
2	303,85	347,70	315,64	313,34	337,55	298,16	271,41	282,14	277,65	327,85
3	266,32	308,23	287,01	285,85	296,73	274,90	267,77	263,42	261,07	294,00
4	246,22	284,82	266,94	266,80	276,34	268,30	266,57	261,30	252,66	276,05
5	241,02	274,29	257,29	257,85	262,39	267,86	264,82	259,88	250,20	269,63
6	240,97	269,19	252,35	253,29	254,07	267,28	264,03	258,41	248,09	267,12
7	240,48	265,29	248,62	249,76	250,32	266,81	262,98	256,97	245,64	264,86
8	238,78	261,57	244,96	246,23	246,88	265,93	262,72	254,94	242,62	262,89
9	236,04	257,76	240,89	242,25	243,14	264,96	260,95	252,21	239,18	259,96
10	231,95	253,09	236,03	237,43	238,58	260,85	260,78	251,11	235,20	255,59
11	226,89	247,30	230,46	231,85	233,29	255,42	257,36	245,37	230,36	249,89
12	221,88	241,53	225,03	226,42	228,21	250,06	252,07	236,74	225,37	244,10
13	217,21	236,25	220,06	221,44	223,46	245,20	247,25	232,05	220,62	238,66
14	212,82	231,41	215,45	216,84	219,03	240,80	242,87	230,87	216,12	233,67
15	208,41	226,45	210,89	212,28	214,58	236,40	238,56	226,08	211,57	228,78
16	204,02	221,35	206,45	207,85	210,17	231,87	234,08	217,68	207,04	224,10
17	199,60	216,06	202,00	203,40	205,74	227,18	229,29	211,87	202,45	219,45
18	195,23	211,07	197,65	199,03	201,34	222,41	224,39	207,31	197,89	214,78
19	190,86	206,48	193,41	194,76	196,92	217,58	219,42	198,88	193,37	210,2
20	186,56	202,37	189,19	190,52	192,51	212,73	214,49	191,44	188,92	205,88
21	182,37	198,72	184,92	186,23	188,1	207,93	209,65	185,86	184,55	201,67
22	178,19	195,12	180,66	181,95	183,76	203,23	204,9	181,24	180,23	197,12
23	174,08	191,49	176,45	177,71	179,46	198,65	200,28	176,90	176,02	192,22
24	170,07	187,60	172,30	173,53	175,29	194,10	195,70	172,67	171,90	187,46
25	166,13	162,45	168,18	169,41	171,17	201,25	201,12	168,54	167,88	163,87
26	162,23	164,17	164,17	165,34	167,1	188,24	186,54	164,47	163,92	178,77
27	158,33	160,19	160,19	161,34	163,07	183,65	182,03	160,41	159,96	174,66
28	154,48	156,21	156,21	157,34	159,01	179,08	177,5	156,35	156,00	170,67
29	150,6	152,24	152,24	153,34	154,97	174,52	172,96	152,35	152,04	166,96
30	146,74	148,27	148,27	149,33	150,88	169,97	168,45	148,37	148,08	163,24
31	142,85	138,25	144,25	145,29	146,72	174,65	173,84	144,39	144,11	140,09
32	138,87	140,21	140,21	141,22	142,53	160,73	159,12	140,25	140,09	154,44
33	134,76	136,07	136,07	137,06	138,18	155,89	154,16	136,00	135,97	149,17
34	130,45	126,21	131,72	132,68	133,55	157,25	158,99	131,72	131,59	128,00
35	125,33	121,66	126,66	127,59	128,15	152,74	152,86	127,16	126,49	123,85
36	115,75	111,98	116,98	117,85	118,18	140,13	141,85	117,96	116,8	114,75
Total	7079,62	7641,58	7237,16	7269,04	7406,07	7993,52	7913,63	7317,67	7092,91	7719,92

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Anexo B: Tablas de Resultados de Simulación

Tabla 70 Resultados de Simulación de Calefacción. Escenario 3

<i>Demanda de Calefacción Anual (kWh)</i>										
<i>Edificio teórico (pisos)</i>	36									
<i>Obstrucción solar (pisos)</i>	36									
<i>Distancia horizontal (m)</i>	12									
<i>Ratio (h/w)</i>	12									
<i>Piso</i>	<i>Orientación (°N)</i>									
	<i>-165</i>	<i>-150</i>	<i>-135</i>	<i>-60</i>	<i>-30</i>	<i>15</i>	<i>30</i>	<i>45</i>	<i>120</i>	<i>150</i>
1	332,97	327,79	299,41	330,64	370,71	351,17	315,17	298,45	261,17	269,94
2	290,17	291,26	274,09	306,51	330,81	296,74	268,55	260,45	242,51	231,98
3	256,74	258,34	250,02	283,49	291,24	269,22	245,53	237,48	225,90	223,34
4	243,96	249,41	242,17	264,27	270,58	265,54	239,56	232,03	217,37	221,36
5	228,48	232,58	240,08	253,46	259,27	264,27	239,5	230,38	214,26	219,69
6	214,10	216,40	229,18	244,56	245,73	261,53	238,38	229,19	212,88	219,27
7	203,67	202,75	213,97	234,34	234,28	248,16	237,05	222,91	208,09	217,46
8	196,84	200,46	210,61	225,90	228,13	245,44	236,73	216,55	206,29	216,70
9	185,70	198,44	203,31	219,67	213,51	241,13	233,64	215,90	199,80	216,38
10	182,28	189,57	194,14	215,52	201,65	240,35	233,49	214,02	196,46	215,08
11	181,80	186,39	189,48	211,80	198,25	235,08	232,12	213,57	192,69	213,50
12	179,46	183,15	186,37	207,87	194,49	228,18	229,18	205,45	188,75	211,61
13	176,65	179,63	182,44	203,60	190,49	224,00	225,15	203,19	184,87	209,92
14	173,56	176,60	178,92	199,89	187,11	220,28	221,12	201,83	181,54	209,62
15	170,73	173,91	175,90	196,74	184,23	217,45	218,34	199,72	178,51	208,27
16	168,01	168,44	172,90	182,54	181,24	214,86	216,02	172,02	175,43	172,33
17	165,50	167,21	169,89	190,16	178,00	211,83	213,12	185,96	172,33	204,17
18	162,83	165,38	166,70	186,40	174,38	208,02	209,26	182,12	169,09	202,99
19	159,61	161,96	163,31	182,36	170,51	203,66	204,8	172,02	165,83	200,13
20	155,96	158,13	159,52	177,76	166,31	198,87	199,86	163,41	162,28	195,5
21	152,26	154,15	155,51	172,89	162,06	193,95	194,7	157,35	158,42	190,71
22	149,45	150,91	152,23	168,31	158,19	189,35	190,26	152,81	154,77	186,29
23	146,48	147,97	149,11	164,13	154,7	185,2	186,31	148,97	151,42	182,36
24	143,23	144,97	145,8	160,06	151,35	181,34	182,16	145,71	148,09	178,63
25	139,88	142,07	142,48	156,17	148,02	177,58	178,11	142,51	144,81	174,93
26	136,36	133,84	139,24	143,87	144,7	173,85	174,24	139,2	141,55	138,29
27	132,84	131,01	136,21	149,76	141,37	170,24	170,49	135,94	138,29	167,66
28	129,41	130,9	133,21	146,21	138,13	166,77	166,89	132,73	133,5	164,27
29	125,81	129,01	130,2	142,21	134,97	163,31	163,35	129,39	131,98	160,95
30	122,96	125,43	127,2	138,25	131,81	159,77	159,76	125,79	128,92	157,58
31	119,98	121,89	124,08	134,59	128,54	155,97	155,84	121,68	125,82	153,95
32	116,32	114,41	120,86	124,65	125,11	152,08	151,72	117,69	122,61	119,26
33	113,56	111,88	117,48	126,25	121,56	148,07	147,41	113,46	119,26	115,36
34	110,23	106,66	113,93	118,32	117,84	143,92	142,87	108,63	115,79	113,00
35	106,18	106,66	109,51	112,42	113,50	138,88	137,35	101,27	111,49	124,00
36	97,75	95,15	100,59	103,74	104,70	128,8	126,79	92,08	102,48	101,54
Total	6071,72	6134,71	6200,05	6779,31	6647,47	7474,86	7284,82	6321,86	6085,25	6708,02

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Anexo B: Tablas de Resultados de Simulación

Tabla 71 Resultados de Simulación de Calefacción. Escenario 4

<i>Demanda de Calefacción Anual (kWh)</i>										
<i>Edificio teórico (pisos)</i>	36									
<i>Obstrucción solar (pisos)</i>	36									
<i>Distancia horizontal (m)</i>	16									
<i>Ratio (h/w)</i>	9									
<i>Piso</i>	<i>Orientación (°N)</i>									
	<i>-165</i>	<i>-150</i>	<i>-135</i>	<i>-60</i>	<i>-30</i>	<i>15</i>	<i>30</i>	<i>45</i>	<i>120</i>	<i>150</i>
1	296,50	286,71	271,81	265,17	318,19	316,29	282,40	257,22	226,17	256,26
2	266,32	263,54	252,15	262,88	289,25	291,67	259,96	236,07	210,49	231,53
3	256,64	257,64	247,55	260,30	281,65	266,24	242,06	234,68	214,21	222,41
4	241,14	240,89	241,97	249,24	263,60	260,28	238,69	231,00	215,97	220,80
5	223,21	230,07	229,50	239,98	250,07	254,43	238,56	228,48	212,32	213,49
6	211,16	215,94	218,27	235,65	241,14	248,85	237,46	225,58	208,04	201,94
7	195,98	201,87	212,02	232,47	223,07	247,96	235,32	217,54	207,65	193,35
8	189,62	195,99	207,98	224,85	217,58	244,90	234,43	215,90	203,60	192,87
9	181,95	192,20	196,12	214,73	207,15	241,10	233,41	211,51	198,70	188,57
10	175,21	189,41	192,80	207,66	199,80	231,49	232,36	207,90	192,32	181,96
11	172,76	182,45	187,79	202,52	191,27	231,14	230,73	204,92	188,34	177,75
12	172,21	178,53	183,10	199,06	186,61	223,98	223,29	196,37	185,76	173,99
13	171,55	177,04	180,00	195,99	189,83	221,19	221,78	195,55	182,51	171,95
14	170,67	175,10	177,19	193,12	181,08	219,22	219,41	193,94	179,18	170,23
15	169,34	172,16	174,64	190,37	178,23	215,67	216,76	193,21	170,00	168,46
16	167,29	165,68	172,12	177,25	175,44	212,41	213,40	165,98	170,09	163,19
17	164,48	164,75	169,28	177,00	172,39	208,18	209,02	163,78	169,78	163,04
18	161,19	163,48	165,77	176,21	168,78	203,54	204,29	163,63	166,42	159,96
19	158,11	160,01	161,86	174,36	164,81	199,53	200,38	161,35	162,93	156,15
20	155,13	156,76	158,36	173,83	161,25	196,01	197,12	157,96	159,59	152,77
21	152,04	153,84	155,27	171,12	158,00	192,50	193,89	152,97	156,28	149,93
22	148,05	150,43	151,81	167,78	154,79	188,75	190,00	149,35	153,02	147,25
23	144,41	146,99	148,48	163,96	151,50	184,86	185,86	146,10	149,74	144,37
24	141,09	143,71	145,36	160,03	148,07	180,86	181,97	142,82	146,48	141,35
25	137,93	140,48	142,33	156,14	144,67	176,74	177,91	139,55	143,36	138,51
26	134,85	132,48	139,18	141,82	141,27	172,52	173,49	136,26	140,20	135,51
27	131,74	130,85	135,77	146,79	137,74	168,28	168,97	132,83	136,89	132,13
28	128,71	130,85	132,18	141,46	134,10	164,17	164,63	129,20	131,14	128,54
29	124,25	127,87	128,52	136,72	130,42	160,04	160,38	125,55	130,08	125,03
30	122,67	124,85	124,90	132,41	126,74	155,96	156,25	121,93	126,62	121,26
31	119,37	121,69	121,45	128,08	123,10	151,98	152,14	118,32	123,25	117,48
32	115,99	114,13	118,00	120,65	119,44	147,89	147,80	114,63	119,82	114,25
33	112,36	110,36	114,48	119,07	115,75	143,57	143,20	110,69	116,14	110,71
34	108,37	106,38	110,69	113,62	111,81	138,93	138,16	106,45	112,14	106,66
35	103,38	105,62	105,93	103,64	106,99	133,40	132,19	99,72	107,26	101,86
36	94,42	90,88	96,76	99,85	97,95	122,82	121,30	87,58	97,91	93,25
Total	5920,09	6001,63	6071,39	6455,78	6363,53	7317,35	7158,97	6076,52	5914,40	5768,76

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Anexo B: Tablas de Resultados de Simulación

Tabla 72 Resultados de Simulación de Calefacción. Escenario 5

<i>Demanda de Calefacción Anual (kWh)</i>										
<i>Edificio teórico (pisos)</i>	36									
<i>Obstrucción solar (pisos)</i>	36									
<i>Distancia horizontal (m)</i>	22									
<i>Ratio (h/w)</i>	6.5									
<i>Piso</i>	<i>Orientación (°N)</i>									
	<i>-165</i>	<i>-150</i>	<i>-135</i>	<i>-60</i>	<i>-30</i>	<i>15</i>	<i>30</i>	<i>45</i>	<i>120</i>	<i>150</i>
1	266,63	259,63	252,83	253,49	297,69	296,77	262,6	245,13	203,64	236,38
2	252,38	243,56	249,25	248,95	286,06	271,81	244,51	234,69	202,57	226,93
3	249,26	247,54	246,94	246,43	276,21	263,44	239,91	226,37	202,18	221,53
4	229,85	231,72	230,04	242,20	261,62	259,14	238,02	224,00	202,16	216,50
5	219,87	218,54	220,54	238,90	245,03	250,28	236,98	220,68	200,45	203,60
6	206,00	210,01	214,15	229,77	229,26	248,55	235,61	217,98	191,89	195,41
7	193,05	201,82	210,83	217,47	221,35	247,15	235,13	213,73	189,05	186,85
8	183,92	182,26	195,78	211,00	216,97	237,15	234,00	191,71	180,88	175,44
9	180,82	182,24	194,78	203,13	204,98	233,91	231,14	190,46	185,33	174,35
10	171,93	178,34	191,79	194,93	197,98	231,49	225,39	184,32	184,61	173,44
11	166,96	173,30	186,70	189,08	190,83	225,36	223,45	174,63	181,18	171,7
12	158,97	164,78	176,69	180,97	184,29	223,58	223,01	161,58	172,88	164,37
13	152,18	148,51	157,96	174,12	179,77	215,13	211,87	160,87	152,10	147,78
14	148,95	148,48	154,02	174,12	176,87	218,07	210,36	159,87	150,16	145,74
15	146,93	145,18	155,24	169,51	172,87	215,32	208,88	159,75	149,12	143,47
16	146,45	144,21	154,96	162,90	166,47	207,82	206,44	156,87	148,48	142,36
17	145,35	142,27	151,58	156,65	158,96	201,14	204,55	154,65	145,31	141,18
18	143,30	140,35	148,38	151,21	153,23	197,42	201,08	150,87	141,32	140,21
19	141,4	139,57	145,52	147,92	150,13	194,12	197,8	150,5	142,56	140,42
20	139,57	137,28	143,02	145,4	147,48	191,18	194,86	142,45	140,25	139,25
21	137,55	135,15	140,63	142,98	144,92	187,92	191,68	137,78	139,97	136,87
22	132,01	129,23	134,42	136,71	138,55	179,7	183,1	130,6	134,13	130,62
23	128,84	125,54	130,74	132,96	134,9	175,16	178,22	126,93	130,68	127,01
24	126,42	132,46	137,75	140,09	141,94	184,00	187,72	134,16	137,17	133,97
25	125,82	121,48	127,39	129,53	131,6	170,96	173,84	123,61	127,36	123,71
26	122,93	118,17	124,25	126,5	128,63	167,2	169,98	120,65	124,3	120,82
27	120,13	114,84	121,69	123,7	125,85	163,92	166,7	117,86	121,37	118,19
28	117,37	112,05	118,86	120,9	123,1	160,69	163,58	115,06	118,46	115,62
29	114,54	108,96	115,86	117,95	120,17	157,17	160,15	112,1	115,48	112,92
30	111,52	105,69	112,63	114,79	116,93	153,29	156,18	108,89	112,38	109,93
31	108,41	102,41	109,42	111,57	113,54	149,29	151,9	105,59	109,21	106,89
32	105,14	99,01	106,12	108,32	110,09	145,16	147,42	102,15	106,00	103,79
33	101,62	95,44	102,26	104,9	106,61	140,77	142,77	98,44	102,66	100,52
34	97,65	91,43	97,01	101,19	102,87	136,11	137,71	94,33	99,01	97,02
35	92,76	86,24	89,49	96,45	98,28	130,34	131,57	89,25	94,45	92,61
36	84,12	77,57	79,80	87,76	89,78	119,89	120,5	80,64	85,98	84,57
Total	5470,60	5395,26	5629,32	5834,45	6045,81	7150,40	7028,61	5519,15	5324,73	5301,97

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones realizadas, 2020.

Anexo B: Tablas de Resultados de Simulación

Tabla 73 Resultados de Simulación de Calefacción. Escenario 6

<i>Demanda de Calefacción Anual (kWh)</i>										
<i>Edificio teórico (pisos)</i>	36									
<i>Obstrucción solar (pisos)</i>	36									
<i>Distancia horizontal (m)</i>	30									
<i>Ratio (h/w)</i>	4,8									
<i>Piso</i>	<i>Orientación (°N)</i>									
	<i>-165</i>	<i>-150</i>	<i>-135</i>	<i>-60</i>	<i>-30</i>	<i>15</i>	<i>30</i>	<i>45</i>	<i>120</i>	<i>150</i>
1	253,98	242,94	191,76	242,48	281,56	293,56	262,16	197,61	191,37	199,32
2	246,68	242,39	190,78	241,59	280,32	267,64	243,63	192,45	188,88	198,37
3	232,80	223,12	189,8	239,88	263,96	260,92	235,47	187,1	185,81	188,2
4	228,10	220,05	188,82	231,24	259,76	251,21	233,86	182,44	185,26	184,23
5	179,56	181,00	187,84	198,87	201,34	237,70	232,7	181,98	183,13	178,52
6	178,89	181,00	187,81	198,41	201,11	236,17	229,6	181,25	181,83	172,98
7	176,25	180,35	185,14	198,00	202,95	235,24	229,39	180,42	180,72	170,99
8	175,6	178,51	184,25	197,98	200,00	234,26	227,1	180,16	180,33	170,85
9	175,58	175,25	183,84	197,9	197,81	232,71	225,31	178,82	178,57	168,75
10	169,28	170,13	183,84	191,91	197,27	226,09	219,69	169,63	172,17	159,99
11	160,76	162,21	175,42	184,45	189,9	222,79	215,72	168,36	168,97	153,71
12	156,39	158,66	171,11	179,12	180,93	221,84	215,7	167,15	168,81	151,41
13	151,67	148,5	167,31	169,72	171,46	213,07	210,42	160,32	150,16	147,77
14	148,18	147,62	161,37	163,88	165,61	207,29	208,66	157,85	148,88	145,25
15	145,39	144,63	157,18	159,91	161,95	204,75	206,98	155,51	148,24	142,36
16	140,29	144,13	154,34	157,11	159,46	203,51	205,56	153,87	145,07	142,16
17	136,13	142,21	150,90	154,20	156,66	198,46	190,25	150,05	141,08	141,02
18	132,89	137,23	145,11	150,85	152,70	190,68	185,81	145,50	140,98	136,78
19	130,65	134,29	141,32	146,89	148,17	185,63	182,55	141,22	140,01	134,06
20	128,89	129,45	138,16	143,02	144,27	182,03	180,48	137,35	139,98	131,8
21	127,76	129,45	134,52	140,05	141,57	179,69	178,56	132,65	138,08	129,06
22	125,00	127,26	131,25	137,17	139,11	177,45	176,07	129,30	135,81	126,4
23	124,64	125,1	128,3	133,99	136,28	174,66	172,6	126,04	132,81	124,05
24	122,12	122,52	125,29	130,45	133,00	170,99	168,52	122,49	129,14	122,05
25	119,78	119,52	121,95	127,34	129,59	166,85	165,04	119,4	125,9	119,96
26	117,55	116,86	118,96	124,59	126,65	163,29	161,96	116,71	123,06	117,95
27	115,21	114,29	116,15	121,99	123,82	160,14	158,78	114,16	120,36	115,70
28	112,77	111,66	113,39	119,31	120,97	156,8	155,08	111,50	117,60	113,07
29	109,91	108,84	110,47	116,15	117,79	152,94	151,00	108,45	114,57	110,16
30	106,88	104,74	107,34	112,75	114,41	149,00	146,86	105,10	111,48	107,05
31	103,95	100,17	104,16	109,43	111,07	145,06	142,47	101,76	108,67	103,97
32	100,95	96,23	100,83	105,93	107,74	140,94	137,83	98,21	105,65	100,78
33	97,48	92,48	97,32	102,14	104,25	136,65	132,75	94,38	102,23	97,38
34	93,41	88,07	93,45	98,13	100,38	131,98	126,35	90,20	98,34	93,58
35	88,05	82,50	88,45	93,01	95,49	126,11	124,8	84,92	93,30	88,60
36	79,02	74,24	78,40	83,98	86,68	115,61	115,04	76,81	84,32	80,12
Total	5192,44	5157,60	5206,33	5603,82	5805,99	6953,71	6754,75	5101,12	5161,57	4968,40

Fuente: Elaboración propia en base a simulaciones realizadas, 2020.

Anexo C: Consolidado de Impactos Anual (%)

Tabla 74 Consolidado de Resultados Anuales (%). Escenario 2

<i>Edificio teórico (pisos)</i>					36
<i>Obstrucción solar (pisos)</i>					36
<i>Distancia horizontal (m)</i>					6
Edificio Teórico		Orientación -165°			
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>	
25	X	480,15	132,90	-61,23	
31	X+6	455,53	100,27	-51,60	
34	x+9	337,99	82,88	-32,09	
35	x+10	212,88	75,70	-21,12	
36	x+11	82,73	62,27	-10,16	
Edificio Teórico		Orientación -150°			
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>	
25	X	484,99	122,05	-59,95	
31	X+6	461,17	88,97	-53,85	
34	x+9	348,60	72,51	-41,38	
35	x+10	215,48	66,29	-30,50	
36	x+11	81,64	53,06	-11,14	
Edificio Teórico		Orientación -135°			
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>	
25	X	491,29	138,15	-65,08	
31	X+6	469,31	104,26	-60,10	
34	x+9	351,84	86,52	-35,63	
35	x+10	211,21	79,35	-33,73	
36	x+11	78,57	65,65	-10,93	
Edificio Teórico		Orientación -60°			
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>	
25	X	497,54	106,04	-71,21	
31	X+6	475,61	76,71	-68,29	
34	x+9	357,66	61,37	-57,39	
35	x+10	216,07	55,18	-42,02	
36	x+11	80,29	43,33	-9,14	
Edificio Teórico		Orientación -30°			
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>	
25	X	492,59	101,49	-65,94	
31	X+6	466,35	72,71	-60,48	
34	x+9	349,83	57,21	-46,51	
35	x+10	215,19	50,85	-32,75	
36	x+11	77,55	39,12	-8,52	

Anexo C: Consolidado de Impactos

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 15°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
25	X	463,26	120,26	-74,47
31	X+6	442,69	91,15	-66,37
34	x+9	327,60	72,10	-41,90
35	x+10	224,17	67,17	-22,54
36	x+11	110,81	53,37	-8,27

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 30°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
25	X	456,26	129,67	-76,52
31	X+6	436,39	98,52	-72,12
34	x+9	342,15	81,56	-50,91
35	x+10	235,85	74,56	-31,67
36	x+11	118,92	61,98	-9,24

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 45°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
25	X	472,57	121,50	-80,85
31	X+6	441,42	89,76	-76,33
34	x+9	339,51	73,11	-58,73
35	x+10	221,74	67,12	-38,16
36	x+11	65,57	55,03	-10,87

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 120°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
25	X	476,13	153,17	-81,60
31	X+6	451,90	117,33	-79,51
34	x+9	337,50	98,45	-80,00
35	x+10	200,05	90,76	-78,53
36	x+11	68,07	76,14	-75,95

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 150°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
25	X	474,51	155,09	-73,01
31	X+6	448,73	118,07	-69,20
34	x+9	336,17	99,25	-51,73
35	x+10	204,18	92,79	-33,56
36	x+11	72,60	78,63	-9,00

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Tabla 75 Consolidado de Resultados Anuales (%). Escenario 3

<i>Edificio teórico (pisos)</i>					36
<i>Obstrucción solar (pisos)</i>					36
<i>Distancia horizontal (m)</i>					12
<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación -165°</i>			
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>	
16	x	418	136	-54	
26	x+10	399	91	-49	
32	x+16	284	63	-29	
34	x+18	201	55	-20	
36	x+20	16	37	-6	
<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación -150°</i>			
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>	
16	x	423	126	-59	
26	x+10	410	81	-53	
32	x+16	302	56	-37	
34	x+18	211	46	-27	
36	x+20	16	30	-6	
<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación -135°</i>			
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>	
16	x	486	145	-64	
26	x+10	456	97	-61	
32	x+16	330	71	-43	
34	x+18	200	61	-29	
36	x+20	11	42	-6	
<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación -60°</i>			
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>	
16	x	447	122	-70	
26	x+10	427	75	-67	
32	x+16	313	52	-51	
34	x+18	207	44	-36	
36	x+20	18	26	-5	
<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación -30°</i>			
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>	
16	x	434	113	-66	
26	x+10	419	70	-60	
32	x+16	308	47	-39	
34	x+18	214	39	-27	
36	x+20	16	23	-5	

Anexo C: Consolidado de Impactos

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 15°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
16	x	425	135	-70
26	x+10	408	90	-65
32	x+16	285	66	-34
34	x+18	201	58	-20
36	x+20	15	41	-4

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 30°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
16	x	417	147	-76
26	x+10	404	99	-70
32	x+16	298	73	-48
34	x+18	206	63	-29
36	x+20	15	45	-4

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 45°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
16	x	417	126	-80
26	x+10	400	83	-76
32	x+16	279	55	-55
34	x+18	196	43	-34
36	x+20	13	21	-4

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 120°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
16	x	474	165	-81
26	x+10	445	110	-78
32	x+16	317	85	-59
34	x+18	189	75	-36
36	x+20	11	55	-4

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 150°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
16	x	420	168	-72,66
26	x+10	405	115	-67,82
32	x+16	299	86	-46,37
34	x+18	205	76	-28,20
36	x+20	15	58	-3,98

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Tabla 76 Consolidado de Resultados Anuales (%). Escenario 4

Edificio teórico (pisos)					36
Obstrucción solar (pisos)					36
Distancia horizontal (m)					16
Edificio Teórico			Orientación -165°		
Piso	Obstrucción	Iluminación	Calefacción	Radiación	
16	x	375,88	134,53	-52,41	
26	x+10	335,48	89,05	-40,11	
32	x+16	220,49	62,61	-24,60	
34	x+18	145,87	51,93	-16,58	
36	x+20	8,85	32,37	-5,08	
Edificio Teórico			Orientación -150°		
Piso	Obstrucción	Iluminación	Calefacción	Radiación	
16	x	379,81	127,69	-54,38	
26	x+10	350,18	82,94	-47,21	
32	x+16	234,35	56,38	-30,77	
34	x+18	154,72	45,41	-20,69	
36	x+20	9,71	24,22	-5,31	
Edificio Teórico			Orientación -135°		
Piso	Obstrucción	Iluminación	Calefacción	Radiación	
16	x	388,12	143,73	-61,76	
26	x+10	358,84	97,08	-56,29	
32	x+16	231,75	67,09	-37,77	
34	x+18	145,09	56,74	-22,33	
36	x+20	9,85	37,02	-5,23	
Edificio Teórico			Orientación -60°		
Piso	Obstrucción	Iluminación	Calefacción	Radiación	
16	x	402,33	115,58	-69,46	
26	x+10	370,73	72,49	-64,59	
32	x+16	238,42	46,74	-41,83	
34	x+18	146,29	38,19	-23,15	
36	x+20	10,59	21,44	-5,06	
Edificio Teórico			Orientación -30°		
Piso	Obstrucción	Iluminación	Calefacción	Radiación	
16	x	388,28	106,52	-62,66	
26	x+10	358,93	66,30	-53,49	
32	x+16	238,05	40,60	-32,97	
34	x+18	156,64	31,62	-19,00	
36	x+20	9,72	15,30	-4,15	

Anexo C: Consolidado de Impactos

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 15°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
16	x	377,34	132,47	-68,49
26	x+10	337,82	88,81	-56,16
32	x+16	221,85	61,86	-27,64
34	x+18	146,76	52,05	-13,73
36	x+20	8,76	34,42	-3,70

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 30°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
16	x	374,58	143,69	-70,76
26	x+10	346,31	98,12	-64,24
32	x+16	230,57	68,78	-34,85
34	x+18	151,46	57,77	-19,55
36	x+20	8,38	38,52	-3,18

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 45°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
16	x	383,00	118,14	-78,14
26	x+10	357,26	79,08	-76,20
32	x+16	223,15	50,65	-66,11
34	x+18	136,37	39,90	-57,70
36	x+20	7,94	15,10	-48,38

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 120°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
16	x	426,64	156,51	-80,12
26	x+10	390,26	111,43	-73,01
32	x+16	239,96	80,70	-48,83
34	x+18	128,16	69,11	-27,85
36	x+20	5,37	47,65	-3,44

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 150°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
16	x	373,01	154,03	-67,47
26	x+10	344,80	110,94	-60,21
32	x+16	230,65	77,85	-35,64
34	x+18	150,99	66,03	-20,76
36	x+20	9,03	45,16	-3,46

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Tabla 77 Consolidado de Resultados Anuales (%). Escenario 5

Edificio teórico (pisos)		36		
Obstrucción solar (pisos)		36		
Distancia horizontal (m)		22		
Edificio Teórico		Orientación -165°		
Piso	Obstrucción	Iluminación	Calefacción	Radiación
8	x	418,34	135,54	-54,28
13	x+5	399,40	91,17	-49,20
26	x+18	283,93	63,07	-28,61
32	x+24	200,89	54,54	-20,05
36	x+28	15,83	37,04	-5,88
Edificio Teórico		Orientación -150°		
Piso	Obstrucción	Iluminación	Calefacción	Radiación
8	x	346,00	149,13	-54,64
13	x+5	338,46	102,99	-52,25
26	x+18	268,82	61,52	-41,11
32	x+24	167,91	35,33	-23,87
36	x+28	8,15	6,03	-4,24
Edificio Teórico		Orientación -135°		
Piso	Obstrucción	Iluminación	Calefacción	Radiación
8	x	347,83	177,23	-56,06
13	x+5	353,22	123,68	-55,34
26	x+18	280,79	75,94	-46,32
32	x+24	158,41	50,27	-28,27
36	x+28	7,96	13,00	-4,51
Edificio Teórico		Orientación -60°		
Piso	Obstrucción	Iluminación	Calefacción	Radiación
8	x	369,98	156,63	-69,26
13	x+5	371,11	111,77	-67,70
26	x+18	287,64	53,86	-57,00
32	x+24	164,64	31,74	-34,24
36	x+28	8,43	6,74	-3,11
Edificio Teórico		Orientación -30°		
Piso	Obstrucción	Iluminación	Calefacción	Radiación
8	x	354,84	155,41	-62,66
13	x+5	348,33	111,62	-60,70
26	x+18	277,86	51,42	-45,63
32	x+24	171,66	29,59	-20,74
36	x+28	8,17	5,69	-3,49

Anexo C: Consolidado de Impactos

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 15°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
8	x	348,20	170,49	-61,80
13	x+5	344,77	135,45	-59,86
26	x+18	262,08	82,99	-40,49
32	x+24	160,35	58,87	-18,66
36	x+28	7,46	31,21	-2,46

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 30°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
8	x	343,43	178,63	-71,67
13	x+5	336,20	141,94	-70,30
26	x+18	267,74	94,11	-52,12
32	x+24	165,66	68,35	-24,55
36	x+28	7,25	37,60	-2,73

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 45°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
8	x	341,86	151,95	-72,96
13	x+5	339,60	111,42	-72,57
26	x+18	272,22	58,56	-58,86
32	x+24	154,54	34,25	-32,86
36	x+28	6,64	5,98	-2,85

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 120°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
8	x	354,72	172,78	-80,61
13	x+5	355,02	129,38	-79,75
26	x+18	275,33	87,45	-67,48
32	x+24	160,53	59,86	-35,21
36	x+28	7,38	29,66	-2,58

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 150°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
8	x	338,68	173,10	-67,47
13	x+5	331,81	130,04	-66,09
26	x+18	266,04	88,08	-51,73
32	x+24	165,13	61,57	-24,05
36	x+28	7,63	31,65	-2,77

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.

Tabla 78 Consolidado de Resultados Anuales (%). Escenario 6.

Edificio teórico (pisos)	36			
Obstrucción solar (pisos)	36			
Distancia horizontal (m)	30			
<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación -165°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
5	x	259,96	151,73	-37,97
20	x+15	221,16	80,70	-29,95
30	x+25	131,50	49,84	-16,58
36	x+31	5,85	10,78	0,00
<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación -150°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
5	x	260,08	147,40	-48,01
20	x+15	228,04	76,94	-41,91
30	x+25	134,84	43,17	-24,40
36	x+31	6,41	1,48	-0,27
<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación -135°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
5	x	262,71	165,99	-48,93
20	x+15	227,59	95,64	-44,66
30	x+25	126,88	52,00	-25,18
36	x+31	6,07	11,02	-0,24
<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación -60°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
5	x	285,90	141,88	-65,56
20	x+15	246,84	73,95	-59,14
30	x+25	137,12	37,13	-35,80
36	x+31	6,12	2,14	-1,17
<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación -30°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
5	x	269,89	137,01	-56,55
20	x+15	236,58	69,83	-47,60
30	x+25	140,10	34,68	-24,67
36	x+31	6,48	2,04	-32,10
<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 15°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
5	x	253,44	160,15	-48,94
20	x+15	214,92	99,22	-38,20
30	x+25	130,17	63,07	-16,20
36	x+31	6,29	26,53	-0,35

Anexo C: Consolidado de Impactos

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 30°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
5	x	261,13	165,73	-64,85
20	x+15	228,30	106,10	-56,52
30	x+25	134,84	67,71	-28,94
36	x+31	5,60	31,37	-0,76

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 45°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
5	x	268,71	139,16	-66,62
20	x+15	232,97	80,51	-60,41
30	x+25	129,00	38,13	-30,92
36	x+31	2,49	0,95	-0,39

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 120°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
5	x	274,97	176,17	-76,32
20	x+15	238,03	111,10	-70,18
30	x+25	132,78	68,12	-37,91
36	x+31	5,74	27,16	-0,74

<i>Edificio Teórico</i>		<i>Orientación 150°</i>		
<i>Piso</i>	<i>Obstrucción</i>	<i>Iluminación</i>	<i>Calefacción</i>	<i>Radiación</i>
5	x	254,11	177,90	-59,52
20	x+15	223,30	105,17	-52,94
30	x+25	131,77	66,64	-27,85
36	x+31	5,92	24,72	-0,69

Fuente: Elaboración propia en base a las simulaciones realizadas, 2020.