



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE ARQUITECTURA Y URBANISMO**

**IMPACTO DE LA PROPORCIÓN DE LA VENTANA EN  
EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LA VIVIENDA  
CUENCANA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE ARQUITECTA**

**AUTOR: JOHANNA JACKELINE ARÉVALO ARÉVALO**

**DIRECTOR: ARQ. JEFFERSON TORRES QUEZADA, PHD**

**CUENCA - ECUADOR**

**2021**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE ARQUITECTURA Y URBANISMO**

IMPACTO DE LA PROPORCIÓN DE LA VENTANA EN EL  
COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LA VIVIENDA CUENCANA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE ARQUITECTA**

**AUTOR: JOHANNA JACKELINE ARÉVALO ARÉVALO**

**DIRECTOR: ARQ. JEFFERSON TORRES QUEZADA, PHD**

**CUENCA - ECUADOR**

**2021**

## Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

**Johanna Jackeline Arévalo Arévalo** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0105735252**. Declaro ser el autor de la obra: **“Impacto de la proporción de la ventana en el comportamiento térmico de la vivienda cuencana”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **6 de septiembre de 2021**



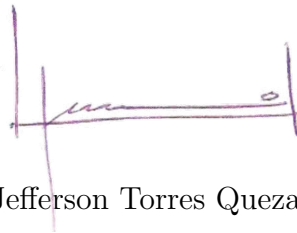
Johanna Jackeline Arévalo Arévalo

0105735252

## Certificación

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de ARQUITECTA con el título: “*Impacto de la proporción de la ventana en el comportamiento térmico de la vivienda cuencana*” ha sido elaborado por el Br. **Johanna Jackeline Arévalo Arévalo**, mismo que ha sido realizado con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor, por lo que certifico que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

A handwritten signature in purple ink, appearing to read 'Jefferson Torres', is enclosed within a rectangular box drawn with purple lines. The signature is written in a cursive style.

Arq. Jefferson Torres Quezada PhD

## **Dedicatoria**

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad. Con todo mi corazón dedico este trabajo de titulación a mi madre Carmen y mi padre Rosalino, pues su bendición me ha llevado a lo largo de mi vida por el camino del bien. Muchos de mis logros se los debo a ustedes y este es solo uno de ellos. Por todos sus sacrificios, el presente es para ustedes.

## Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios por la vida y las oportunidades que me ha dado a lo largo de mi vida para cumplir cada una de mis metas y anhelos.

A las personas más importantes de mi vida, mis amados padres Carmen y Rosalino, pues todos estos años de estudio el sacrificio ha sido tanto mío como suyo, sin su apoyo este logro en mi vida no habría sido posible. Gracias por confiar en mí y siempre brindarme su apoyo a pesar de las circunstancias.

A mis queridas hermanas, Marjorie y Evelyn quienes estuvieron siempre a mi lado brindándome sus consejos y extendiéndome una mano amiga cuando más lo necesité.

A mi tutor el Arquitecto Jefferson Torres, que con su paciencia supo guiarme a lo largo de la elaboración del presente trabajo.

Finalmente quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Universidad Católica de Cuenca, así como a cada uno de los docentes que compartieron sus conocimientos conmigo. Y del mismo modo a mis estimados compañeros, pues hicieron de este camino una experiencia muy agradable.

A todos ustedes, muchas gracias.

## Resumen

El cambio climático es un tema que ha venido ganando relevancia a nivel mundial. Pues, con el crecimiento poblacional, el desarrollo de la industria y el transporte, las emisiones de CO<sub>2</sub> han incrementado desmesuradamente. En respuesta a estos problemas surgen iniciativas como la arquitectura bioclimática, misma que pretende levantar edificaciones confortables utilizando sistemas pasivos, disminuyendo así el consumo energético.

Considerando resolver los problemas de desconfort térmico, esta investigación pretende definir la proporción ventana-fachada más eficiente para un clima frío como el de Cuenca. Para esto, el presente estudio se abordó en cuatro fases. En la primera se desarrolló una investigación bibliográfica acerca de los conceptos de arquitectura bioclimática y de los factores que intervienen en el confort térmico. En la segunda etapa, se analizó el funcionamiento térmico de la ventana y la normativa aplicada en la zona de estudio. Posteriormente, se definió un modelo de estudio y las variables a analizar. Por último, se evaluó la influencia de estas variables en torno al comportamiento de la temperatura interior y el consumo energético a través de simulaciones digitales.

En base a los resultados obtenidos se determinó que los porcentajes adecuados de ventana para las orientaciones Norte-Sur y Este-Oeste corresponden al 55 % y 40 %, respectivamente. Un incremento de WWR sobre estos valores resultaría poco eficiente, pues la radiación solar calentaría excesivamente el espacio. El análisis también determinó que el uso de ventanas dobles resultaría innecesario en el clima analizado, con una tasa de retorno de más de 152 años.

**Palabras clave:** Proporción ventana-fachada, temperatura interior, consumo energético, Cuenca-Ecuador.

## Abstract

Climate change is an issue that has been gaining relevance worldwide. With population growth, the development of industry and transportation, CO<sub>2</sub> emissions have increased disproportionately. In response to these problems, initiatives such as bioclimatic architecture have arisen, aiming to build comfortable buildings using passive systems, thus reducing energy consumption.

To solve the problems of thermal discomfort, this research aims to define the most efficient window-facade ratio for a cold climate such as that of Cuenca. To this end, the present study was approached in four phases. In the first phase, literature research was conducted on the concepts of bioclimatic architecture and the factors involved in thermal comfort. In the second stage, the thermal performance of the window and the regulations applied in the study area were analyzed. Subsequently, a study model and the variables to be analyzed were defined. Finally, the influence of these variables on the behavior of the interior temperature and energy consumption was evaluated through digital simulations.

Based on the results obtained, it was determined that the appropriate window percentages for the North-South and East-West orientations correspond to 55 % and 40 %, respectively. An increase in WWR above these values would be inefficient, as solar radiation would excessively heat the space. The analysis also determined that the use of double glazing would be unnecessary in the climate analyzed, with a payback rate of more than 152 years.

**Keywords:** Window-facade ratio, interior temperature, energy consumption, Cuenca-Ecuador.

# Índice de Contenidos

<b>Declaratoria de Autoría y Responsabilidad</b>	<b>I</b>
<b>Certificación</b>	<b>II</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>III</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>IV</b>
<b>Resumen</b>	<b>V</b>
<b>Abstract</b>	<b>VI</b>
<b>Índice de Contenidos</b>	<b>VII</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>XI</b>
<b>Lista de Tablas</b>	<b>XV</b>
<b>Introducción</b>	<b>XVII</b>
<b>Problemática</b>	<b>XIX</b>
<b>Objetivos</b>	<b>XXI</b>
<b>Justificación</b>	<b>XXII</b>
<b>Delimitación del problema</b>	<b>XXIII</b>
<b>Metodología</b>	<b>XXIV</b>
<b>1. Arquitectura bioclimática y ventana</b>	<b>1</b>
1.1. Arquitectura bioclimática . . . . .	1
1.1.1. Momentos de la Arquitectura bioclimática . . . . .	1

---

1.2.	Confort . . . . .	7
1.2.1.	Factores ambientales . . . . .	8
1.2.2.	Factores personales . . . . .	10
1.2.3.	Arquitectónicos . . . . .	13
1.3.	El clima . . . . .	15
1.4.	Comportamiento térmico de la vivienda . . . . .	18
1.4.1.	Flujos de calor en la vivienda . . . . .	19
1.4.2.	Flujo de calor por infiltraciones . . . . .	20
1.4.3.	Flujo de calor por aportes internos . . . . .	21
1.4.4.	Flujo de calor por transmisión . . . . .	23
1.4.5.	Flujo de calor por aportes solares . . . . .	24
1.5.	La ventana en la arquitectura . . . . .	25
1.5.1.	Flujos de calor por la ventana . . . . .	25
1.6.	Evolución de la vivienda en Cuenca a través de la ventana . . . . .	27
1.6.1.	Condiciones climáticas de la ciudad . . . . .	27
1.6.2.	Características de la vivienda cuencana como respuesta al clima . . . . .	30
1.6.3.	Evolución de la ventana en la vivienda cuencana . . . . .	32
1.6.4.	Estrategias pasivas en Cuenca . . . . .	37
1.7.	Resumen de capítulo . . . . .	39
<b>2.</b>	<b>Estado del arte</b>	<b>40</b>
2.1.	Funcionamiento térmico de la ventana . . . . .	40
2.1.1.	Reflectividad solar . . . . .	41
2.1.2.	Transmitancia térmica U . . . . .	42
2.1.3.	Emisividad . . . . .	43
2.2.	Estrategias para reducir el enfriamiento interior mediante la ventana . . . . .	44
2.2.1.	Doble acristalamiento o unidad de vidrio aislante (UVA) . . . . .	44
2.2.2.	Vidrio de baja emisividad . . . . .	46
2.2.3.	Proporción ventana pared . . . . .	48
2.3.	Normas aplicadas a la zona de estudio . . . . .	52
2.3.1.	Normativa local . . . . .	53
2.4.	Resumen de capítulo . . . . .	54
<b>3.</b>	<b>Modelo de Estudio</b>	<b>56</b>
3.1.	Definición del espacio a estudiar . . . . .	56

---

3.2. Definición de variables . . . . .	59
3.2.1. Orientación . . . . .	60
3.2.2. Proporción Ventana – Fachada . . . . .	60
3.2.3. U del vidrio . . . . .	61
3.2.4. Demanda de consumo energético . . . . .	62
3.3. Definición de períodos de estudio . . . . .	62
<b>4. Resultados</b>	<b>64</b>
4.1. Análisis de día promedio y día frío . . . . .	64
4.1.1. Influencia existente entre la orientación y proporción ventana-fachada (WWR) . . . . .	65
4.2. Análisis anual del consumo energético (CE) . . . . .	69
4.2.1. Influencia de la orientación y WWR . . . . .	69
4.2.2. Influencia del factor U . . . . .	73
4.3. Definición de parámetros . . . . .	78
4.4. Aplicabilidad en la arquitectura . . . . .	80
4.4.1. Tipología 1 . . . . .	80
4.4.2. Tipología 2 . . . . .	80
4.4.3. Tipología 3 . . . . .	81
4.4.4. Tipología 4 . . . . .	81
<b>5. Conclusiones</b>	<b>83</b>
<b>6. Recomendaciones</b>	<b>85</b>
<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>86</b>
Referencias . . . . .	86
<b>Anexos</b>	<b>92</b>
6.1. Definición de los periodos de estudio . . . . .	92
6.1.1. Determinación del día frío . . . . .	92
6.1.2. Determinación del día promedio . . . . .	93
6.2. Influencia de la Orientación y Proporción ventana-fachada (WWR) . . . . .	93
6.2.1. Influencia de la Orientación y Proporción ventana-fachada (WWR) en el día frío, Norte . . . . .	93
6.2.2. Influencia de la Orientación y Proporción ventana-fachada (WWR) en el día frío, Sur . . . . .	94

---

---

6.2.3.	Influencia de la Orientación y Proporción ventana-fachada (WWR) en el día frío, Este . . . . .	95
6.2.4.	Influencia de la Orientación y Proporción ventana-fachada (WWR) en el día frío, Oeste . . . . .	96
6.2.5.	Influencia de la Orientación y Proporción ventana-fachada (WWR) en el día promedio, Norte . . . . .	97
6.2.6.	Influencia de la Orientación y Proporción ventana-fachada (WWR) en el día promedio, Sur . . . . .	98
6.2.7.	Influencia de la Orientación y Proporción ventana-fachada (WWR) en el día promedio, Este . . . . .	98
6.2.8.	Influencia de la Orientación y Proporción ventana-fachada (WWR) en el día promedio, Oeste . . . . .	99
6.3.	Análisis anual de Consumo Energético (CE) . . . . .	100
6.3.1.	Influencia de la orientación y WWR . . . . .	100
6.3.2.	Influencia del factor U (vidrio simple frente a vidrio doble) . . . . .	101

## Lista de Figuras

1.1. Vista aérea de Stonehenge . . . . .	2
1.2. Vivienda sobre el suelo Nigeria (izquierda) Vivienda cultura Las Vegas (derecha) . . . . .	2
1.3. Fundamentos de arquitectura pasiva y eficiente . . . . .	3
1.4. Vivienda vernácula. Cojitambo, Ecuador . . . . .	3
1.5. Palacio de Cristal, Londres . . . . .	4
1.6. Biblioteca de Santa Genoveva, 1840 . . . . .	4
1.7. Diagrama bioclimático de Olgyay . . . . .	5
1.8. Ábaco Epure du soleil . . . . .	6
1.9. Hemiciclo Solar . . . . .	6
1.10. Zona de confort / aceptación del usuario . . . . .	7
1.11. Estado de confort térmico . . . . .	8
1.12. Temperatura del aire cálido y frío . . . . .	8
1.13. Evaporación en base a HR . . . . .	9
1.14. Pérdida de calor (evaporación) por corrientes de aire . . . . .	9
1.15. Temperatura radiante de objetos . . . . .	10
1.16. Variación de estado de confort térmico hombre y mujer . . . . .	10
1.17. Variación de estado de confort térmico de acuerdo a edad . . . . .	11
1.18. Sensación de confort en base a constitución corporal . . . . .	11
1.19. Estado de calor en base a la actividad . . . . .	12
1.20. Estado de calor en base a cantidad de vestimenta . . . . .	12
1.21. Viviendas de Capadocia, Turquía . . . . .	13
1.22. Vidrio polarizado (baja emisividad) para climas muy cálidos . . . . .	13

---

1.23. Transmitancia térmica . . . . .	14
1.24. Masa térmica . . . . .	14
1.25. División paralela del globo terráqueo . . . . .	15
1.26. Características climáticas del Trópico de Cáncer . . . . .	16
1.27. Características climáticas del Trópico de Capricornio . . . . .	16
1.28. Condiciones climáticas en el Círculo Polar Ártico . . . . .	16
1.29. Condiciones climáticas en el Círculo Polar Antártica . . . . .	17
1.30. Características del clima ecuatorial. . . . .	17
1.31. Conducción del calor. . . . .	18
1.32. Convección del calor. . . . .	19
1.33. Radiación del calor. . . . .	19
1.34. Infiltración de aire a través de las paredes. . . . .	20
1.35. Infiltración de aire a través de la cubierta. . . . .	20
1.36. Rejilla de ventilación. . . . .	21
1.37. Flujo de calor mediante ventana y puerta . . . . .	21
1.38. Cuerpo humano emisor de calor. . . . .	22
1.39. Electrodomésticos. . . . .	22
1.40. Espacios dotados de iluminación artificial. . . . .	22
1.41. Cubierta con aislante térmico (Izquierda). Diferencia de U en base al valor R del cerramiento R (Derecha). . . . .	23
1.42. Aporte solar directo. . . . .	24
1.43. Valores de U para varios tipos de acristalamientos. . . . .	26
1.44. Captación solar mediante vidrios difusos y transparentes. . . . .	27
1.45. Diagrama temperatura de la ciudad de Cuenca. . . . .	28
1.46. Diagrama humedad de la ciudad de Cuenca. . . . .	28
1.47. Velocidad del aire de la ciudad de Cuenca. . . . .	29
1.48. Diagrama radiación solar de la ciudad de Cuenca. . . . .	29
1.49. Diagrama de precipitaciones y evaporación de la ciudad de Cuenca. . . . .	30

1.50. Ejemplos de viviendas encontradas en la ciudad de Cuenca, de izquierda a derecha: vernácula, colonial, republicana y contemporánea . . . . .	30
1.51. Ejemplos de materialidad de la cubierta en la ciudad de Cuenca. De izquierda a derecha: paja, latón, teja y fibrocemento. . . . .	31
1.52. Ejemplos de materialidad de las paredes en la vivienda cuencana. De izquierda a derecha: tierra, canto, ladrillo y bloque de hormigón . . . . .	32
1.53. Viviendas vernáculas de la ciudad de Cuenca. A la derecha, vivienda luego del proceso de restauración actualmente los vanos son cubiertos con vidrio	33
1.54. Fachadas exteriores de viviendas coloniales de la ciudad de Cuenca . . . .	34
1.55. Viviendas estilo Neoclásico de influencia francesa . . . . .	35
1.56. Edificios de estilo moderno de la ciudad de Cuenca. De izquierda a derecha: casa Vázquez Alcázar, edificio de la Municipalidad de Cuenca y Casa de la Cultura del Azuay . . . . .	35
1.57. Viviendas de estilo contemporáneo de la ciudad de Cuenca. De izquierda a derecha: casa Mirador del Tablón, Edificio del Banco del Austro y Hotel Zahir . . . . .	36
1.58. Cuadro resumen . . . . .	37
1.59. Ábaco psicrométrico de Givoni para la ciudad de Cuenca . . . . .	38
2.1. Comportamiento térmico de la ventana. . . . .	41
2.2. Comparación de tipos de vidrio. . . . .	41
2.3. Vidrio claro y reflectivo. . . . .	42
2.4. Diferencias entre Valor U alto y bajo. . . . .	43
2.5. Variación de U en base al espesor de cámara de aire. . . . .	45
2.6. Gráfico analógico de la mejora térmica una de las atmósferas estudiadas antes y después. . . . .	46
2.7. Vidrio de baja emisividad. . . . .	47
2.8. Proporción ventana-muro. . . . .	49
2.9. Porcentaje máximo de vidrio para Zona Térmica D. . . . .	50
2.10. Resumen de WWR de los casos mencionados. . . . .	51
2.11. Zonas climáticas de algunas ciudades del Ecuador . . . . .	52
2.12. Requisitos de envolvente para la zona climática 3 . . . . .	53
2.13. Porcentaje de ventanas en relación a la superficie del piso . . . . .	54

3.1. Planta de modelo de simulación . . . . .	58
3.2. Modelo de estudio 3D . . . . .	58
3.3. Proporción Ventana Pared. . . . .	61
4.1. Temperatura del aire exterior en un día promedio y frío durante 24 horas .	65
4.2. Resultados de la simulación térmica con WWR del 10, 25, 40, 55, 70, 85 y 100 % con orientación Norte. . . . .	66
4.3. Resultados de la simulación térmica con WWR del 10, 25, 40, 55, 70, 85 y 100 % con orientación Sur. . . . .	66
4.4. Resultados de la simulación térmica con WWR del 10, 25, 40, 55, 70, 85 y 100 % con orientación Este. . . . .	67
4.5. Resultados de la simulación térmica con WWR del 10, 25, 40, 55, 70, 85 y 100 % con orientación Oeste. . . . .	68
4.6. CE anual con WWR 10, 25, 40, 55, 70, 85 y 100 con orientación Norte. . .	70
4.7. CE anual con WWR 10, 25, 40, 55, 70, 85 y 100 con orientación Sur. . . .	71
4.8. CE anual con WWR 10, 25, 40, 55, 70, 85 y 100 con orientación Este. . . .	72
4.9. CE anual con WWR 10, 25, 40, 55, 70, 85 y 100 con orientación Oeste. . .	73
4.10. Comparación de CE anual, vidrio simple y doble con orientación Norte . .	74
4.11. Comparación de CE anual, vidrio simple y doble con orientación Sur . . .	75
4.12. Comparación de CE anual, vidrio simple y doble con orientación Este . . .	76
4.13. Comparación de CE anual, vidrio simple y doble con orientación Oeste . .	77
4.14. Ventana piso-techo, WWR 55 %. De izquierda a derecha: perspectiva, al- zado y modelo de aplicación. . . . .	80
4.15. Ventana longitudinal, WWR 40 %. De izquierda a derecha: perspectiva, alzado y modelo de aplicación. . . . .	81
4.16. Ventana alargada, WWR 40 %. De izquierda a derecha: perspectiva, alzado y modelo de aplicación. . . . .	81
4.17. Ventana orgánica, WWR 55 %. De izquierda a derecha: perspectiva, alzado y modelo de aplicación. . . . .	82

## Lista de Tablas

2.1. Adaptación del valor WWR para el Ecuador sin distinción de clima y orientación. . . . .	53
3.1. Dimensiones de modelo de simulación. . . . .	57
3.2. Materialidad de modelo de simulación. . . . .	59
3.3. Proporción variable de ventana fachada. . . . .	61
3.4. Proporción variable de ventana fachada. . . . .	61
3.5. Resumen de variables. . . . .	63
4.1. Comparación de valores U total de una pared con la implementación de vidrio simple y doble. . . . .	77
4.2. Resumen de resultados. . . . .	78
4.3. Comparación de valores sugeridos frente a valores obtenidos mediante análisis para la ciudad de Cuenca. . . . .	79
6.1. Definición de día frío. . . . .	92
6.2. Definición de día promedio. . . . .	93
6.3. Influencia del WWR en el día frío, Norte . . . . .	94
6.4. Influencia del WWR en el día frío, Sur . . . . .	95
6.5. Influencia del WWR en el día frío, Este . . . . .	96
6.6. Influencia del WWR en el día frío, Oeste . . . . .	97
6.7. Influencia del WWR en el día promedio, Norte . . . . .	97
6.8. Influencia del WWR en el día promedio, Sur . . . . .	98
6.9. Influencia del WWR en el día promedio, Este . . . . .	99
6.10. Influencia del WWR en el día promedio, Oeste . . . . .	100
6.11. Influencia de la Orientación y (WWR) en el consumo energético anual . . .	100

6.12. Influencia del factor U en el consumo energético anual, comparación vidrio simple y doble. Pt 1 . . . . .	101
6.13. Influencia del factor U en el consumo energético anual, comparación vidrio simple y doble. Pt2 . . . . .	101

## Introducción

La necesidad de hacer uso de recursos energéticos en el mundo va aumentando con el pasar de los años. Esto se debe entre otros factores al crecimiento poblacional, el desarrollo de la industria y el transporte. Por tal motivo, una de las acciones fundamentales dentro de las industrias, en especial de la construcción, es mitigar las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Pues esta es la primera causa del calentamiento global y el cambio climático.

Como respuesta ante los problemas climáticos de la actualidad surge la arquitectura bioclimática. Dentro de este ámbito se busca levantar edificaciones tomando acciones responsables con el medio ambiente. Estas acciones tienen como uno de sus objetivos proveer de confort a la edificación mediante estrategias bioclimáticas pasivas. El uso de estas permite disminuir el consumo energético y a su vez reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Tanto en el Ecuador como en varios países de América Latina, los conceptos de confort térmico o lumínico son considerados irrelevantes. Este hecho se ve reflejado en el incremento de construcciones modernas donde lo que se busca es netamente lo estético. Además, de la pérdida de adaptabilidad de la vivienda en un sitio, dejando de lado las potencialidades climáticas que este ofrece. Tal es el caso de la ciudad de Cuenca en donde su forma de arquitectura tradicional se ha visto expuesta a una serie de cambios. Estos cambios involucran tanto a materiales y formas como a procesos constructivos. Siendo más evidente el hecho de sustituir un tipo de arquitectura adaptada climáticamente al sitio por nuevas tendencias arquitectónicas. Una de estas, el cambio de la proporción de la ventana con respecto a la fachada.

Por tal motivo, el presente trabajo tiene un enfoque encaminado hacia el confort térmico del interior de la vivienda basado en la proporción de la ventana-fachada. Para ello se parte del análisis del comportamiento de este elemento, pues éste como parte de la envoltura es responsable del 30 % al 50 % de pérdidas y ganancias térmicas en el ambiente.

Por otra parte, es importante mencionar que, en el país no se ha visto reflejado un estudio o normativa que rijan a la ventana como estrategia bioclimática enfocada al confort térmico. La ventana es considerada una herramienta dirigida a satisfacer las necesidades de iluminación y ventilación natural de un ambiente.

Ante todo lo mencionado, el objetivo principal del presente es definir criterios numéricos sobre la proporción ventana-fachada en diferentes orientaciones. Esto, para reducir el desconfort térmico en espacios interiores en la zona climática Z3 del Ecuador. Para ello, el presente estudio se desarrolló en base a cuatro fases.

En la primera se recopiló información bibliográfica. Esto con el fin de obtener los respectivos conceptos básicos sobre arquitectura bioclimática y más específicamente sobre los factores que intervienen en el confort térmico de la vivienda. En la segunda fase se estudió el funcionamiento térmico de la ventana dentro de la vivienda, así como las características físicas de su materialidad común el vidrio. En la tercera fase se definió un modelo de estudio en base a las características morfológicas de la ciudad de Cuenca, donde se llevó a cabo una serie de simulaciones digitales mediante software con el fin de obtener datos numéricos de las condiciones térmicas en el interior de la vivienda. Este proceso se llevó a cabo mediante la variación de proporción, orientación y materialidad de la ventana. Finalmente, se realizó una comparación de resultados obtenidos a través del software. Esto permitió obtener el lineamiento planteado como objetivo principal.

### Planteamiento del problema

En la era moderna el sector de la construcción ha tenido alta influencia dentro del desarrollo de las naciones, ante esto, la necesidad de levantar nuevas edificaciones ha crecido a pasos acelerados. Sin embargo, a medida que crece esta demanda, también crece la necesidad de implementar nuevas tecnologías y recursos que permitan innovar los procesos constructivos, no obstante, este hecho requiere de un alto consumo de recursos naturales y energéticos.

Al presente, del total del consumo energético mundial, el sector de la construcción abarca al menos un 50 %, puesto que el proceso de edificación emite anualmente cerca de 20 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Mientras que el consumo energético de estos durante su vida útil es el causante de la producción de más del 80 % de gas invernadero (Rendón, 2009).

Dentro de este contexto, es importante reconocer que el sector de la construcción es una gran fuente emisora de impactos ambientales como la generación de gases y residuos, la extracción ilimitada de materias primas, el consumo de recursos fósiles, entre otros. Por tal motivo, en las últimas décadas, se ha hablado de la importancia de reducir el consumo energético dentro de la vivienda u otra edificación. El ahorro energético reduce los costos derivados de este consumo y limita las emisiones de gases de efecto invernadero.

Debido a la evidente crisis ambiental, en los últimos años se han venido desarrollando técnicas que permitan mitigar el alto consumo energético en una edificación. Para ello, se habla mucho la incorporación de estrategias bioclimáticas, mismas que permiten reducir el empleo de recursos durante el proceso de construcción y vida útil de la edificación. Dichas estrategias pretenden hacer uso de materiales de construcción necesarios para que la edificación satisfaga sus necesidades de confort sin necesidad de sistemas activos consumidores de energía, además de incorporar medidas que permitan un consumo de energías no renovables mínimo y mantener un estado de confort dentro del ambiente (Cruz Soria y Navarro Navarro, 2012).

Se entiende como confort ambiental a la condición de factores ambientales considerados aceptables dentro de un espacio habitable. La ausencia de esta condición produce una sensación de incomodidad o molestia al usuario del espacio. El estado de confort puede deberse tanto a factores internos como externos a la edificación (Rendón, 2009).

A este hecho se suma el notable cambio climático en el planeta. Es por esto, entre otras razones, que surge la necesidad de construir edificaciones haciendo uso de estrategias

pasivas enfocadas al confort del usuario. Específicamente dentro del confort térmico es importante diseñar con el fin de reducir o eliminar el uso de fuentes energéticas extras (Calle Rebollo, 2020).

Finalmente, dentro de esta problemática el trabajo de titulación se orienta a definir estrategias bioclimáticas pasivas enfocadas a reducir el desconfort térmico al interior de la vivienda, y de este modo aportar en el diseño de espacios confortables reduciendo el uso de tecnologías para calefacción al interior de las edificaciones en la zona de estudio que es la ciudad de Cuenca.

## Objetivos

### **General:**

Definir criterios numéricos sobre la proporción ventana-fachada en diferentes orientaciones para reducir el desconfort térmico en espacios interiores en la zona climática Z3 del Ecuador.

### **Específicos:**

1. Recopilar información bibliográfica sobre los factores que intervienen en el confort térmico de una vivienda.
2. Definir un modelo de estudio de acuerdo a las características morfológicas y de materiales de las viviendas de la ciudad de Cuenca.
3. Analizar mediante simulaciones energéticas el impacto de la proporción de la ventana-fachada sobre la temperatura interior y la demanda energética del modelo de estudio.

## Justificación

La importancia de implementar criterios de diseño de acuerdo a un conocimiento en aspectos ecológicos es ineludible. Este hecho radica en el efecto que produce un manejo adecuado de energías a la sociedad y ambiente. A su vez, el conocimiento de estrategias bioclimáticas, permite consumir la energía necesaria dentro de la edificación. Al igual que un correcto manejo de tecnologías aplicadas para satisfacer las necesidades de confortabilidad térmica del usuario.

La búsqueda de nuevas ideologías aporta a la creación de edificaciones responsables con el medio ambiente. Por lo tanto, es necesario un estudio de estrategias bioclimáticas pasivas para solucionar la pérdida de energía de la vivienda, evitando así, el requerimiento de fuentes activas que permitan conseguir el confort térmico del espacio. Normalmente estos requerimientos parten de un diseño y uso de materiales inadecuados.

Tanto en América latina como en el país, el uso del diseño sustentable no se ha considerado como un factor importante. Sin embargo, la eficiencia energética es tema primordial en una nueva generación de edificios verdes. El estudio a realizarse, busca favorecer la tarea de diseño de edificios energéticamente eficientes.

Actualmente, la ciudad de Cuenca emite 2.42 toneladas anuales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Esta emisión está ligada directamente con el efecto producido por gases de efecto invernadero en los suelos y agua. Por otra parte, el INEC en 2014 reveló que el consumo promedio de energía eléctrica en la zona urbana de Cuenca es de 243.7 kWh por vivienda. De este modo, en zonas residenciales se presenta un 37.76 %, seguido el industrial con el 32.47 %, el comercial con el 15.68 %, público 8.58 % y otros con el 5.51 % ([Centrosur, 2015](#)).

En el estudio de 2016 “Eficiencia energética en el sector residencial de la Ciudad de Cuenca, Ecuador” ([Baquero y Quesada, 2016](#)), se realizó una serie de encuestas a familias de diferentes viviendas, donde se consultó a los habitantes acerca de la sensación de confortabilidad dentro del hogar. Este reveló que el 65 % de los encuestados consideran su vivienda confortable, mientras que, el 35 % restante reveló usar algún sistema de calefacción. De estos últimos, el 80 % utiliza calefactor eléctrico portátil y el 20 % calefactor a gas. Los meses en que estos dispositivos son requeridos son julio, agosto y diciembre. Por tal motivo se considera importante el estudio dentro de la zona climatológica Z3 (Cuenca) del Ecuador. Esto permitió tener conocimiento de un balance numérico en cuanto a sensación de confort térmico en la zona. Debido a que la ciudad de Cuenca tiene presencia de un clima estándar de la serranía ecuatoriana los resultados podrían ser aplicados en ciudades con similares condiciones.

## Delimitación del problema

Con el pasar de los años varias industrias dedicadas a la construcción han buscado levantar edificaciones de carácter ecológico. Los estudios enfocados en bioclimática desempeñan un papel importante dentro de este nuevo diseño de bienes. Hoy en día es posible identificar varios tipos de estrategias sustentables para lograr el confort del espacio (Rendón, 2009).

Aunque existen varias estrategias bioclimáticas pasivas, el presente estudio se enfocará en analizar el impacto de la proporción de ventana-fachada con fines de reducir el desconfort térmico dentro de la vivienda. Esto con el fin de evitar un intercambio de energía interior-externo de la vivienda a grandes rasgos. El motivo es estudiar a la ventana como fuente de este intercambio, así como destacar recomendaciones generales de orientación con el fin de mejorar la captación solar.

La ventana como elemento clave de la modernidad se ha visto modificada. El punto cuatro, de Los Cinco Puntos de la Arquitectura Moderna de Le Corbusier, sugiere el uso de la ventana horizontal. Esto invita a expandir este elemento a todo el largo de la fachada garantizando el nivel de iluminación en el interior (Iturriaga Torres, 2008). A partir de entonces es común observar edificaciones que siguen esta premisa. Si se observa edificaciones vernáculas en la ciudad de Cuenca, se puede notar como la ventana pequeña fue adaptada a las condiciones climáticas. Sin embargo, edificios modernos se levantan con un crecimiento desproporcionado de estos elementos, sin tener en cuenta como su tamaño incide en el confort térmico dentro de estos.

Ante todo, lo expuesto se plantea la necesidad de realizar un estudio enfocado en las características morfológicas de la ventana y su proporción con la fachada. Específicamente en la ciudad de Cuenca, en donde se presenta un clima frío durante todo el año. Siendo los meses considerados con las temperaturas más bajas junio, julio y agosto (Cordero y Guillén, 2013).

## Metodología

El desarrollo del presente estudio se abordó en cuatro fases.

Dentro de la primera fase se ha realizado la lectura de documentación bibliográfica referida a temas de arquitectura bioclimática, confort, factores que inciden en el confort, condiciones climáticas, comportamiento térmico de la vivienda, concepto de la ventana en la arquitectura y los flujos de calor a través de la misma. Seguidamente, con datos obtenidos del Aeropuerto Mariscal Lamar y el estudio realizado por [Cordero y Guillén \(2013\)](#) se han elaborado gráficas que representan las condiciones climáticas de la ciudad de Cuenca mediante programa Excel. Luego, a través de observación directa se ha realizado un estudio de la morfología de varios tipos de viviendas y la evolución de las mismas a través de la ventana, para ello la herramienta utilizada fue la fotografía y el redibujo mediante el programa Revit. Donde, para el desarrollo de este último, se insertó la fotografía, se ajustó a una escala manejable y se levantaron líneas conformes a las propias de las fachadas. Posteriormente se realizó un cálculo del área total de la fachada y de las aperturas de los vanos para conocer con exactitud la relación numérica existente entre la proporción de ventana y pared.

En la segunda etapa se analizó mediante una recopilación bibliográfica, el funcionamiento térmico de la ventana, así como la existencia de estrategias planteadas para reducir el desconfort térmico al interior de la vivienda a través de este elemento, para ello se ha dado lectura a varios artículos y experimentos realizados en todo el mundo para deducir las variables que deben ser aplicadas cuando se realice el presente estudio. Del mismo modo se revisó la norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) para la Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales (EE) y la normativa local para poder determinar la condición en que se regulan las dimensiones de las ventanas en la zona de estudio.

En la tercera fase se ha definido un modelo de estudio basado en la morfología de las edificaciones de la ciudad de Cuenca, para dimensionar cada espacio se tomó como eje la normativa expedida por el Concejo Cantonal de la ciudad de Cuenca (2003) donde se han extraído las dimensiones mínimas que debe tener un espacio habitable, en este caso un dormitorio, y para modelarlo se utilizó la herramienta software Revit. Además, se plantearon las variables a analizar en base a los criterios extraídos del capítulo anterior y sobre las cuales se desarrolló el análisis del confort térmico basado en la temperatura interior. Seguidamente, se llevó a cabo una serie de simulaciones digitales a través del software Desing Builder, donde, el motor de cálculo fue configurado con las condiciones climatológicas del sitio y con las propiedades específicas de los materiales, además de la configuración del archivo climático con el formato EPW (Energy Plus Weather) del clima de la ciudad de Cuenca obtenidos del sitio [Climate.OneBuilding.Org \(2020\)](#), para

la obtención de datos más precisos.

En la cuarta y última etapa se realizó un análisis comparativo entre los resultados obtenidos a través de las simulaciones digitales. Para ello han sido introducidos estos datos en la herramienta Excel, donde se realizaron gráficas que muestran la variación de los datos obtenidos. Esta comparación permitió discernir la orientación, proporción y calidad de vidrio para ventana más factible para las condiciones climáticas de la zona Z3 del Ecuador. Finalmente, se planteó una serie de tipologías de fachada donde se manifiesta la proporción de ventana que puede ser aplicada de diversas maneras cumpliendo con el porcentaje requerido, para ello se utilizó la herramienta de modelado *Revit*.

## Arquitectura bioclimática y ventana

### 1.1. Arquitectura bioclimática

La arquitectura bioclimática es aquella que busca construir aprovechando las condiciones naturales del sitio, las cuales pueden definirse como: clima, suelo y entorno. Uno de sus objetivos es lograr un estado de confort en el interior del espacio. La arquitectura bioclimática busca llegar a este confort a través del diseño (Garzón, 2021). Esta disciplina implica prescindir de sistemas mecánicos que requieran el uso de energías no renovables y optimizar el rendimiento de sistemas constructivos. Además, es importante considerar que, dentro del término bioclimática se toma en cuenta todo el proceso constructivo que conlleva levantar una edificación, es decir, elaboración y obtención de materiales, transporte e incluso el impacto que generarán sus residuos cuando culmine su vida útil (Matute Oleas, 2014).

El concepto de arquitectura bioclimática se maneja desde hace décadas, aunque su nombre como tal parezca relativamente nuevo (Matute Oleas, 2014). Un claro ejemplo de esto se ve presente en la arquitectura tradicional. Este tipo de edificaciones tradicionales son una verdadera definición de adaptabilidad al entorno y clima. Así mismo del aprovechamiento de recursos locales y mínima generación de residuos.

Dentro del confort térmico lo que se busca es maximizar o minimizar las ganancias de energía según las condiciones climáticas lo demanden. Además de proveer al ambiente las cualidades necesarias de temperatura, humedad, movimiento y calidad del aire.

Por lo tanto, para diseñar una edificación bioclimática no es prescindible el uso de herramientas o sistemas complejos. Este diseño se obtiene implementando estrategias pasivas, que no incorporen fuentes de energías no renovables, desde la génesis del proyecto.

#### 1.1.1. Momentos de la Arquitectura bioclimática

Desde el inicio de la historia las formas de arquitectura correspondían a criterios bioclimáticos. El ser humano levantó sus edificaciones, templos, monumentos, entre otros, con materiales predominantes o técnicas constructivas empíricas pero acordes a las necesidades de aquel entonces. Un claro ejemplo de esto se encuentra plasmado en la construcción

megalítica Stonehenge (3100 a. C), el cual guarda una relación directa con el movimiento del sol. (Ver figura 1.1)

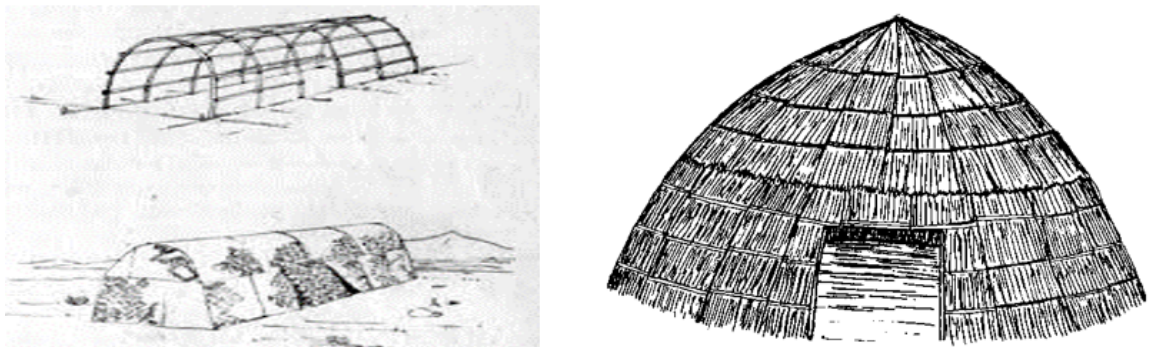
FIG. 1.1: Vista aérea de Stonehenge



Fuente: [López-Romero \(2010\)](#)

El hombre, en todo su proceso de evolución, tuvo la necesidad de protegerse de las agresiones del clima y medio ambiente. Es así como desde los inicios de la historia, el ser humano desarrolló un modelo de vivienda manteniendo un equilibrio e integración con el contexto. Los primeros vestigios de vivienda bioclimática que se conocen son justamente aquellos modelos de refugios como cavernas y tiendas en donde la materia prima utilizada fue aquella que se encontraba en la naturaleza, tales como: madera, piedras, hojas, pieles de animales, entre otros ([Simancas, 2003](#)). (Ver figura 1.2)

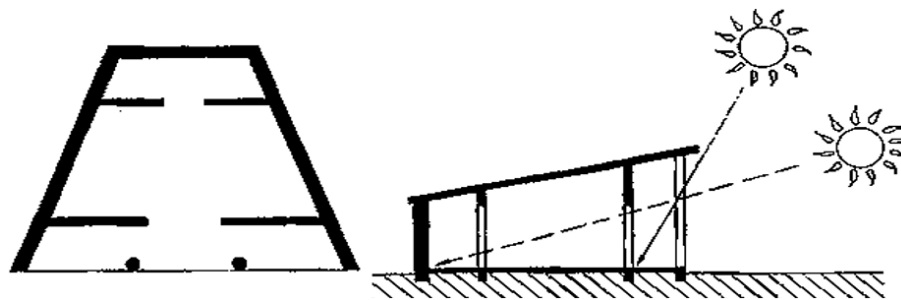
FIG. 1.2: Vivienda sobre el suelo Nigeria (izquierda) Vivienda cultura Las Vegas (derecha)



Fuente: [Simancas \(2003\)](#) & Enciclopedia del Ecuador, 2021

Años más tarde, Sócrates (470 a 399 a. C.) propuso conceptos que marcaron un precedente en la antigua arquitectura griega. Estos conceptos definían que en las casas con fachada al sur el sol ingresaba por los pórticos durante el invierno. Por el contrario, en el verano el sol se elevaba sobre los tejados creando así diversas sombras ([García de Frutos y Guervós Sánchez, 2014](#)). (Ver figura 1.3)

FIG. 1.3: Fundamentos de arquitectura pasiva y eficiente



Fuente: [Fundamenta](#) (2020).

Por otra parte, en el siglo I a. C, Vitruvio, en su tratado “Diez libros de arquitectura” señaló, entre otros aspectos, que conocer el país y clima donde se va a construir es indispensable, además que un edificio no debe ser un elemento creador de sombras, concluyendo así que elementos como el sol y el clima constituyen un modo de arquitectura solar pasiva cuya relación se refleja a lo largo de la historia ([Vazquez-Illá Muñoz, 2019](#)).

Con el paso del tiempo la arquitectura ha evolucionado, y con ello, también las necesidades confortables del hombre y el desarrollo de materiales y técnicas que pudiesen lograr este confort.

En momentos más recientes de la historia es posible encontrar edificaciones correspondientes a lo que se conoce como arquitectura popular o vernácula, cuya principal característica es levantar las estructuras haciendo uso de componentes provenientes de la zona (ver figura 1.4). Este hecho pretende generar un escaso impacto ambiental pues se estima que al terminar su tiempo de vida los materiales podrán ser regresados al propio entorno de donde se obtuvieron sin riesgo de contaminación. La finalidad de este tipo de viviendas fue crear microclimas internos hasta conseguir una sensación de confort térmico, minimizando los efectos de las inclemencias del clima ([Tillería González, 2010](#)).

FIG. 1.4: Vivienda vernácula. Cojitambo, Ecuador

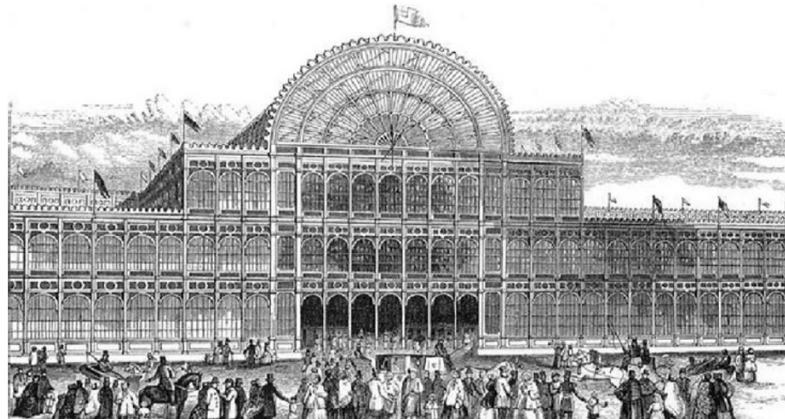


Fuente: [Simancas](#) (2003) & Enciclopedia del Ecuador, 2021

En años posteriores, la nueva tipología de edificaciones abrió paso a una nueva configuración de construcciones a manera de “grandes invernaderos”, tal es el caso de la construcción Londinense de Paxton el Palacio de Cristal en el año de 1851 (ver figura 1.5). Su sistema constructivo reemplazó el material generalizado en ese entonces (ladrillo,

bloque, entre otros) por elementos novedosos como el metal y cristal, generando así una modificación en la morfología de la arquitectura a nivel mundial, ya que posteriormente se incluyeron estos componentes en las nuevas edificaciones promoviendo de esta manera una solución a temas de iluminación y durabilidad gracias al implemento de cristal y metal, respectivamente (Castelló-Joubert, 2019).

FIG. 1.5: Palacio de Cristal, Londres



Fuente: Lahuerta (1988)

Ya en el siglo XVIII, la construcción del palacio de Cristal marcó un punto de inflexión de la arquitectura donde la tecnología supera al confort. En este momento la producción del hierro forjado alcanzó una gran relevancia gracias a la invención del laminador universal para posteriormente elaborar grandes vigas. El auge de este elemento tuvo mucho que ver con la sensación de novedoso y extraño que podían alcanzar los diseños. En este momento se han dejado de lado aquellas conformadas con líneas rectas y carentes de aperturas amplias para dar lugar a formas curvas y grandes vanos.

A pesar de los beneficios alcanzados por la inclusión del hierro en la arquitectura, años más tarde este material fue sustituido por el acero cuya composición es más resistente y elástica. (Ver figura 1.6)

FIG. 1.6: Biblioteca de Santa Genoveva, 1840

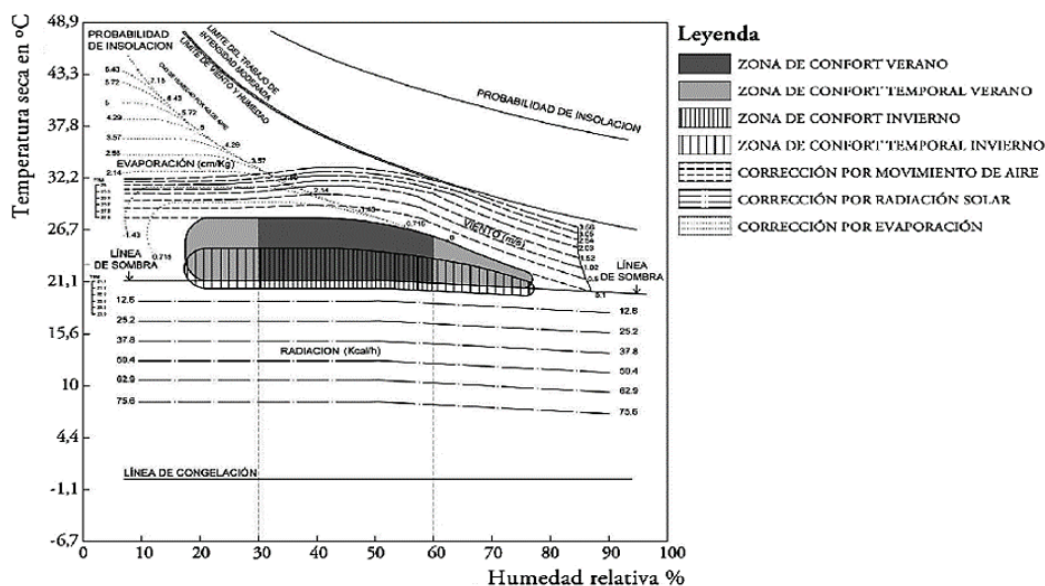


Fuente: Cirici (1945)

El impacto de la Revolución Industrial generó en la sociedad la inquietud de una problemática ambiental, la cual suponía la existencia de un alto contenido de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en el ambiente emitido por los inventos desarrollados durante la industrialización (Conforme-Zambrano y Castro-Mero, 2020). Este hecho dio origen al formalismo de la arquitectura bioclimática como disciplina, misma que tuvo auge en la década de 1950 por el arquitecto húngaro Víctor Olgyay (Conforme-Zambrano y Castro-Mero, 2020).

En 1963, Olgyay publica la obra “Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para Arquitectos y Urbanistas”, mismo que plantea el régimen general para que un edificio trabaje con las fuerzas de la naturaleza y no contra ellas. Además de proponer la carta bioclimática de parámetros de comodidad térmica (ver figura 1.7). Basada en datos climáticos de 1925, su fin fue implantar una zona de comodidad relacionando la temperatura y humedad del aire.

FIG. 1.7: Diagrama bioclimático de Olgyay

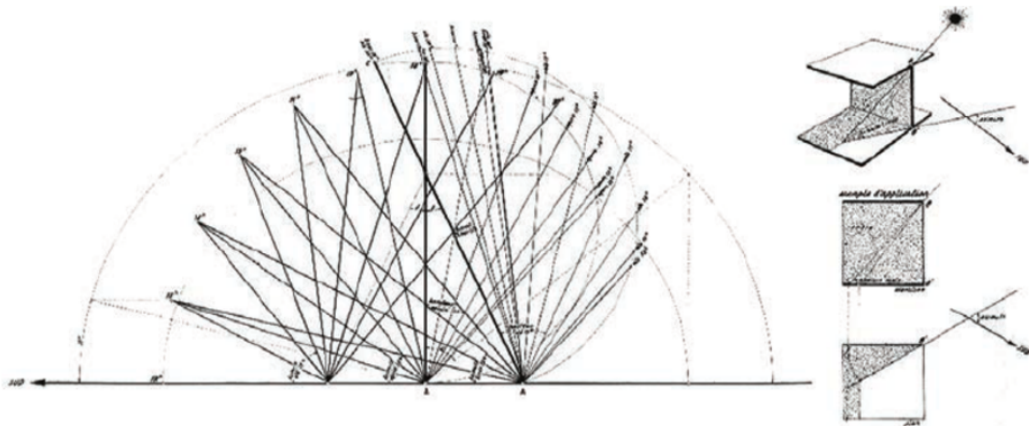


Fuente: Ellessor (2019)

De igual manera, en el siglo XX el nombre de Le Corbusier ganó relevancia en la construcción moderna por establecer los cimientos de la arquitectura bioclimática, los cuales afirman que el producto básico del urbanismo está conformado por elementos naturales como la flora, el sol y entorno.

Además de su investigación de los efectos de la luz solar “Epure du soleil”. Un ábaco de diseño con el cual se podría obtener el azimut (ángulo medido desde el Norte a favor de las manecillas del reloj) y altura del sol sobre plantas o secciones tras fijar sobre una fachada su propio azimut, fecha y hora. Aunque el método resultó impreciso, esta deducción fue válida desde un punto de vista práctico, ya que la orientación, profundidad y separación de los elementos de las envolventes de edificaciones fueron fijadas bajo este argumento técnico. (Ver figura 1.8)

FIG. 1.8: Ábaco Epure du soleil



Fuente: [Requena Ruiz \(2012\)](#)

Por otra parte, en este mismo siglo XX, la arquitectura de Frank Lloyd Wright destaca por su modelo de construcción bioclimática y adaptación al entorno. Un claro ejemplo lo constituye la obra el “Hemiciclo Solar” (1944), compuesta por una planta en forma semicircular cuya fachada norte fue configurada por un muro curvo protegido por un terraplén. Mientras que la fachada sur albergó un gran ventanal y un voladizo cuyas dimensiones se dedujeron en función del curso elíptico del sol. De este modo, el vidrio se mantuvo en la sombra durante el verano y expuesto al sol durante el invierno ([Fernández, 2017](#)). (Ver figura 1.9)

FIG. 1.9: Hemiciclo Solar



Fuente: [Fernández \(2017\)](#)

Ya en la década de 1990, la preocupación frente al tema de sostenibilidad involucra a la arquitectura a definir nuevamente la forma en que las construcciones se levantan haciendo uso de sistemas pasivos y activos. En esta línea de pensamiento, se descubre la afinidad existente entre: la introducción de una nueva tipología de edificaciones y la evolución de la técnica como respuesta a la adaptabilidad al entorno bioclimática ([Rendón, 2009](#)).

En este contexto, la responsabilidad de la arquitectura con la sustentabilidad se logra a partir de la conciencia ambiental enfocada a la conservación y mejora del medio ambiente

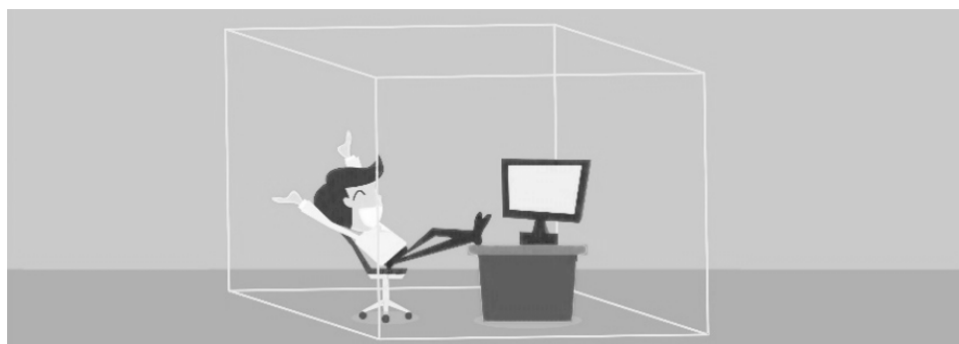
con el fin de proteger los recursos naturales y ecosistemas teniendo en cuenta satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras ([World Commission of environment Development, 1987](#)). Por lo tanto, se comprende como Arquitectura Bioclimática y Sustentable al ejercicio de las buenas prácticas que se pueden realizar a través de la disciplina de la arquitectura ([Castaño Duque y Osorio Valencia, 2013](#)).

Al contrario de los siglos XVII, XVIII y XIX donde el confort fue relacionado con el comportamiento de los elementos mecánicos, en el siglo XX el concepto de confort fue relacionado directamente con las sensaciones percibidas por el ser humano dentro de un ambiente ([Simancas, 2003](#)).

## 1.2. Confort

El confort es definido como el rango de condiciones consideradas aceptables en un espacio habitable ([Simancas, 2003](#)). Este estado propicia el desarrollo normal de las actividades del ser humano. A su vez, la ausencia de esta condición genera sensaciones de molestia o incomodidad ([Bustamante, 2009](#)). El confort que presenta un usuario en un ambiente puede definirse como: térmico, lumínico o auditivo. En este trabajo de titulación nos enfocaremos en el confort térmico. (Ver figura 1.10)

FIG. 1.10: Zona de confort / aceptación del usuario

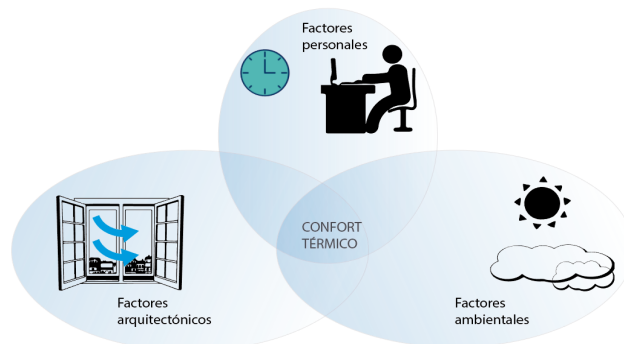


Fuente: [Ferrero \(2015\)](#)

El confort térmico se define como el estado de aceptación, conformidad o satisfacción que el usuario percibe al ambiente que lo rodea. En otras palabras, el estado de confort térmico o sensación neutra se registra en el usuario cuando éste no siente frío ni calor ([Bustamante, 2009](#)).

La sensación de confortabilidad térmica depende de factores exteriores (clima, geografía, entre otros) y factores internos (envolvente, distribución y relación de ambientes). Una vez que el ser humano se adapta a los efectos de estos factores y los relaciona con constituyentes físicos propios (físico, biológico-fisiológico, sociológico y psicológico) se puede decir que el individuo se encuentra en su zona de confort ([Castillo Quimis, Mite Pezo, y Pérez Arévalo, 2019](#)). (Ver figura 1.11)

FIG. 1.11: Estado de confort térmico



Fuente: Elaboración propia

Los parámetros que intervienen en el confort térmico son principios que precisan las particularidades físicas del ambiente. De acuerdo a [Castillo Quimis et al. \(2019\)](#), el cuerpo humano experimenta la pérdida de energía del cuerpo, mas no la temperatura del ambiente. Entonces lo cuantificable deben ser aquellos factores que provocan esta pérdida. Entre estos se mencionan las condiciones ambientales, personales y arquitectónicas.

### 1.2.1. Factores ambientales

Son variables asociadas directamente con las características físicas del espacio exterior. Es decir, el estado del clima. Los parámetros asociados a estas características son: la temperatura del aire interior, la humedad relativa del aire, la velocidad del aire y la temperatura radiante.

**a) Temperatura del aire:** Es el grado de calor que mantiene el aire en contacto con el individuo e influye en su sensación térmica a través de la piel. La condición de temperatura afecta directamente al estado de calor del cuerpo humano debido a la diferencia existente entre esta y la de la piel, provocando así la compensación de calor entre el individuo y el aire, denominado como “intercambio de calor por convección” ([León Vázquez, 2013](#)). (Ver figura 1.12)

FIG. 1.12: Temperatura del aire cálido y frío



Fuente: [García \(2018\)](#)

**b) Humedad relativa:** Es el máximo porcentaje de humedad que puede contener un ambiente a determinada temperatura y presión. Se entiende por ello que, la saturación de humedad en el aire provoca la pérdida de calor por evaporación. En otras palabras, esta condición influye en la transpiración del cuerpo humano. Cuanto mayor sea la humedad de un ambiente, menor será la transpiración y viceversa (León Vázquez, 2013). (Ver figura 1.13)

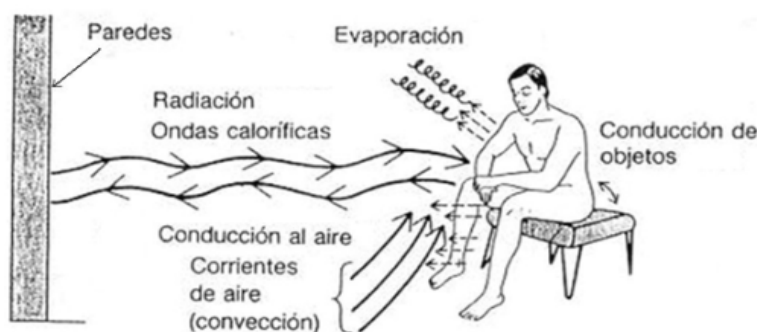
FIG. 1.13: Evaporación en base a HR



Fuente: Jmcprl.net. (2020)

**c) Velocidad del aire:** Interviene directamente en el balance y sensación térmica del cuerpo, aunque no en la temperatura del aire. El movimiento del aire provoca el aceleramiento de los procesos naturales de disipación del calor corporal. Es decir, a mayor velocidad de aire mayores son las pérdidas de calor por convección y mayor transpiración (León Vázquez, 2013). (Ver figura 1.14)

FIG. 1.14: Pérdida de calor (evaporación) por corrientes de aire



Fuente: León Vázquez (2013)

**d) Temperatura radiante:** Hace referencia al calor emitido a manera de radiación por los objetos encontrados en el entorno (maquinas, cristales, paredes, techos, entre otros). Todos estos elementos poseen temperaturas superficiales ponderadas y su valor es similar al de la temperatura del aire. Si la temperatura del cuerpo supera la temperatura de los objetos, el primero cede este calor al ambiente. Por el contrario, si la temperatura corporal es inferior, es el ambiente quien cede el calor al organismo (Blender, 2015). (Ver figura 1.15)

FIG. 1.15: Temperatura radiante de objetos



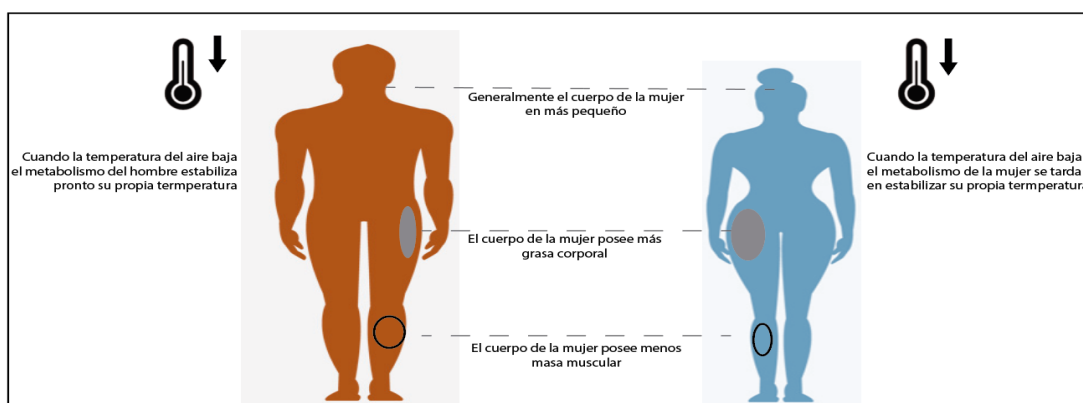
Fuente: Jmcprl.net. (2020)

### 1.2.2. Factores personales

Definen las características del individuo como usuario de un espacio. Están relacionadas con las particularidades físicas del cuerpo al instante de hacer uso del ambiente.

a) **Sexo:** De acuerdo a [Chávez del Valle \(2002\)](#) las mujeres tienen menor capacidad de adaptabilidad a las condiciones climáticas que un hombre. Esto debido a las capacidades cardiovasculares, metabólicas y condiciones de la piel. Por ello, se sugiere que una mujer experimenta un estado de confort térmico en un ambiente a  $1^{\circ}\text{C}$  superior que un hombre. (Ver figura 1.16)

FIG. 1.16: Variación de estado de confort térmico hombre y mujer



Fuente: [Chávez del Valle \(2002\)](#)

b) **Edad:** Conforme la edad de una persona avanza, su metabolismo se reduce generando así la pérdida de producción de calor y a su vez la reducción de sudoración. Es normal que una persona mayor a 40 años experimente un estado confortable con  $1^{\circ}\text{C}$  más en el ambiente que una persona de menor edad ([Chávez del Valle, 2002](#)). (Ver figura 1.17)

FIG. 1.17: Variación de estado de confort térmico de acuerdo a edad

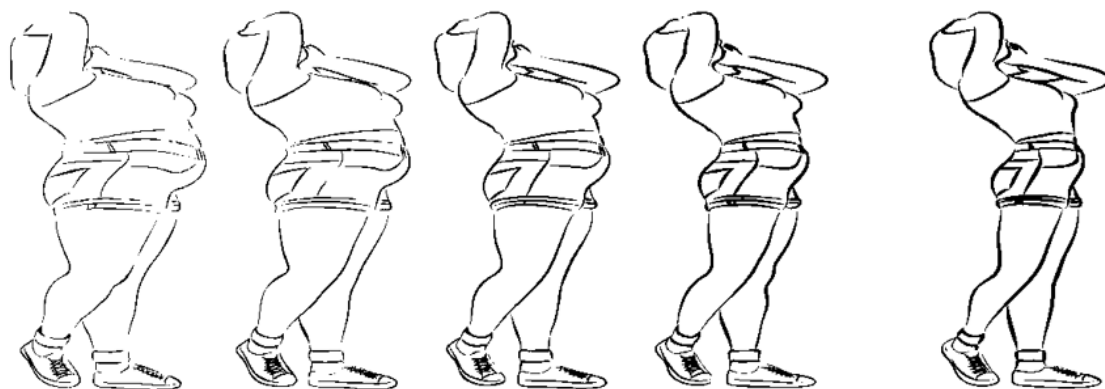


Fuente: Sáez (2014)

**c) Constitución corporal:** Interviene en el estado de confort térmico de una persona en base a dos variables que son: piel (superficie expuesta/envolvente) y volumen (grasa corporal). Entonces, la constitución corporal mide la relación existente entre piel y volumen. Es así que, en una persona corpulenta la relación piel/volumen será menor que la relación que tendría una persona delgada (Chávez del Valle, 2002).

Dicho en otras palabras, una persona obesa tiene mayor capacidad de conservación de calor gracias al volumen (grasa corporal) que posee. Mientras que una persona delgada, cuya relación piel/volumen es mayor, perderá calor corporal con mayor facilidad (Gattini, 2020). (Ver figura 1.18)

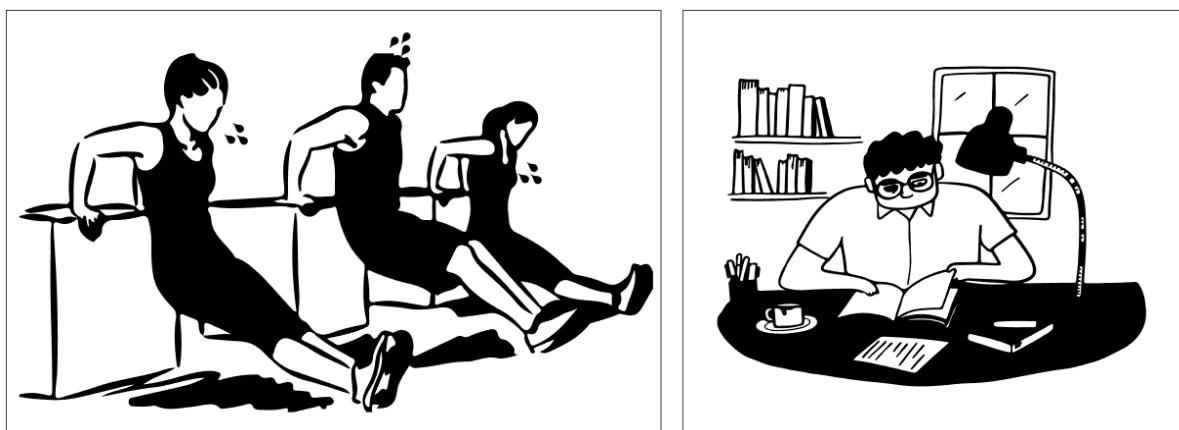
FIG. 1.18: Sensación de confort en base a constitución corporal



Fuente: Gattini (2020)

**d) Actividad:** Definido por el dinamismo del individuo. Es decir, el cuerpo humano genera calor durante el movimiento o esfuerzo físico a través del metabolismo muscular. Entonces si el cuerpo humano produce más calor del que necesita y del que intercambia con el ambiente, éste percibirá una sensación de calor. Por el contrario, si una persona en su actividad produce menos calor del que necesita y del que intercambia con el ambiente, éste experimentará un estado de frío (Chávez del Valle, 2002). El estado de actividad o sedentarismo incide significativamente en la percepción de la sensación de confort térmico (Martínez García, 2016). (Ver figura 1.19)

FIG. 1.19: Estado de calor en base a la actividad



Fuente: Jmcprl.net. (2020)

**e) Vestimenta:** En este sentido, el tipo de material con el cual está elaborada la vestimenta funciona como aislante de las condiciones ambientales. En climas fríos el vestuario evita la transferencia del calor del cuerpo hacia el medio ambiente. Por el contrario, en climas cálidos el vestuario evita la incidencia climática directa en el cuerpo y reduce la evaporación del sudor hacia el ambiente (Martínez García, 2016). (Ver figura 1.20)

FIG. 1.20: Estado de calor en base a cantidad de vestimenta



Fuente: Martínez García (2016)

### 1.2.3. Arquitectónicos

Referidos a las características del espacio construido. Influyen directamente en la percepción confortable del usuario y pueden provocar alteraciones en el microclima interior ya que éstos pueden ser modificados en cualquier momento (Chávez del Valle, 2002).

a) **Reflectividad:** Referido a la capacidad que tiene la materialidad y color de un cuerpo para absorber o reflejar la radiación. Por lo general, los objetos negros absorben toda la radiación que les llega, mientras que los blancos la reflejan. (Ver figura 1.21)

FIG. 1.21: Viviendas de Capadocia, Turquía



Fuente: Tucker y Conill (2002)

b) **Emisividad:** Es una propiedad que poseen las superficies de los cuerpos y determinan la cantidad de calor que transfiere un cuerpo encontrado a cierta temperatura. El cálculo de la emisividad permite conocer la temperatura infrarroja de un ambiente. En otros términos, la emisividad es una propiedad que tienen los objetos y que muestra que tan eficaz es la superficie de estos para emitir radiación térmica (Martínez García, 2016). (Ver figura 1.22)

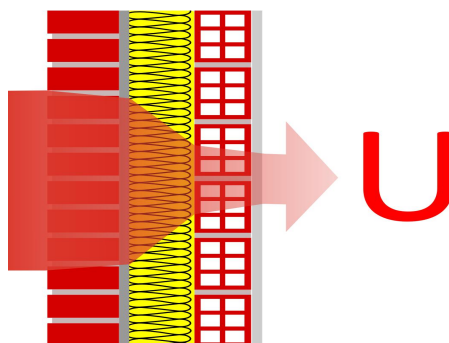
FIG. 1.22: Vidrio polarizado (baja emisividad) para climas muy cálidos



Fuente: Morn (2019)

c) **Transmitancia térmica:** Expresa la cantidad de calor en forma de energía que recorre a lo largo de un cuerpo por cada unidad de tiempo ( $U$ ). Es importante tener presente este concepto cuando se requiere hacer cálculos para la colocación de aislamientos térmicos, así como también para deducir las pérdidas de energía (Castillo Quimis et al., 2019). (Ver figura 1.23)

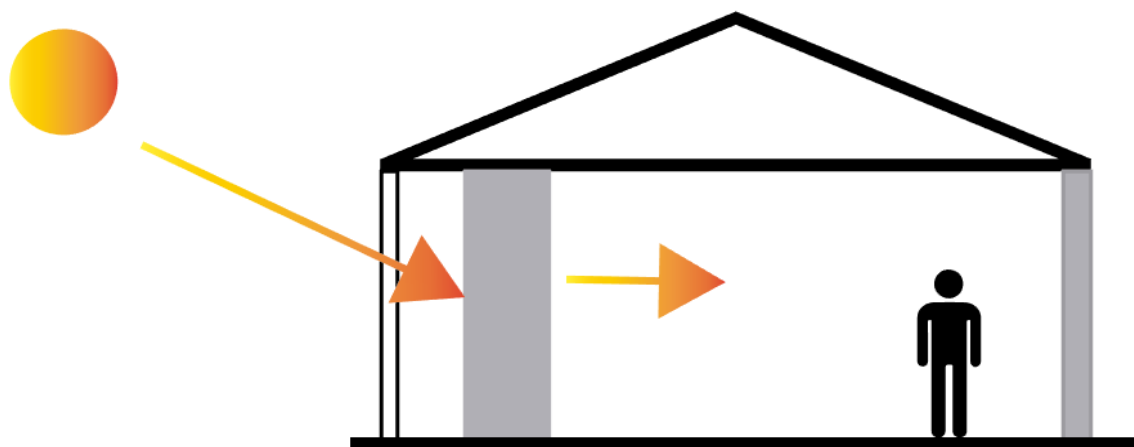
FIG. 1.23: Transmitancia térmica



Fuente: Marincic Lovriha, Ochoa De la Torre, y Alpuche Cruz (2019)

d) **Masa térmica:** Es la capacidad de almacenamiento de calor que tiene un cuerpo. Está relacionada con la propiedad del material que indica la cantidad de calor que puede conservar y con qué velocidad lo transfiere o absorbe (inercia térmica). Por lo general, los materiales constructivos pesados poseen alta inercia térmica y son recomendados para climas fríos. Por el contrario, los materiales de baja masa son más apropiados para climas cálidos y húmedos. Los edificios de gran masa acumulan el calor en el día se enfrían lentamente durante la noche. Por lo tanto, para lograr un microclima interior aceptable, es recomendable considerar tanto la masa como el aislamiento térmico (Marincic Lovriha et al., 2019). (Ver figura 1.24)

FIG. 1.24: Masa térmica



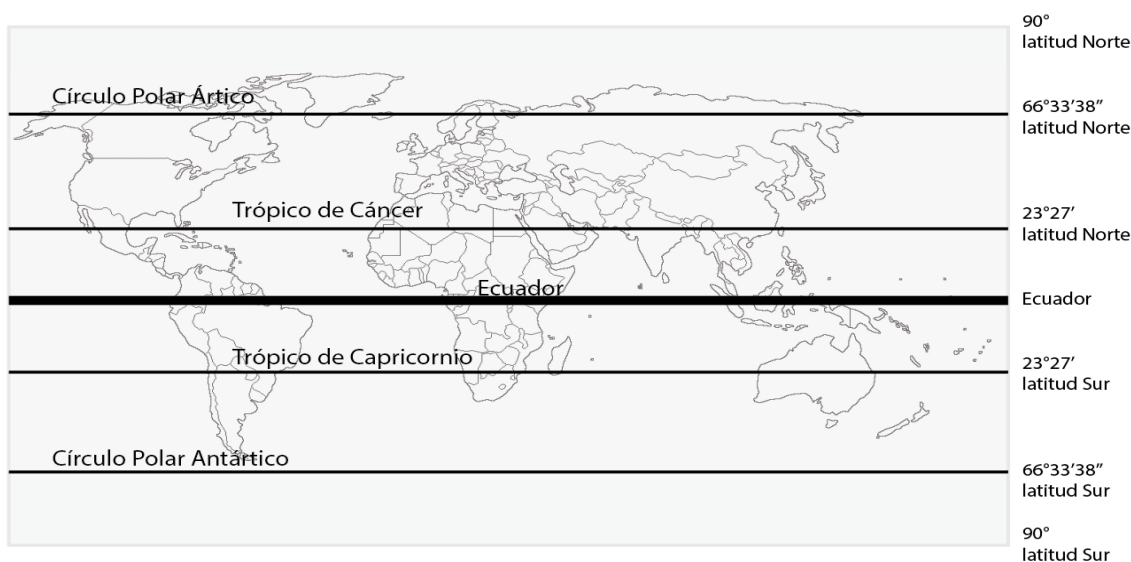
Fuente: Propia

### 1.3. El clima

Es la suma de contextos meteorológicos que condicionan un espacio, y que además regulan el sistema natural. La fusión de temperatura, humedad, vientos y precipitación son modificadores de la naturaleza, de tal forma que, si varía uno de ellos, variará la sensación o confort térmico que tenga el usuario (Matute Oleas, 2014).

Dentro de la arquitectura sostenible o bioclimática, el clima representa una variable fundamental al momento de tomar decisiones en cuanto al diseño de una vivienda puesto que este es variable en todo el globo terráqueo. Estas variaciones climáticas permiten generar una subdivisión general de la tierra, originando Trópicos, Árticos y Ecuador. (Ver figura 1.25)

FIG. 1.25: División paralela del globo terráqueo



Fuente: Propia

**Trópico de Cáncer:** Latitud 23°5'. Es un paralelo situado en el hemisferio norte del planeta en donde los rayos de Sol caen mayormente de manera oblicua, aunque existe una variación periódica del ángulo de incidencia de la radiación solar. El 20 o 21 de junio los rayos del sol caen de manera perpendicular.

Esta zona se caracteriza por presentar un clima cálido isotérmico ya a que no hay grandes variaciones en la temperatura media anual, que es superior a los 18 °C, sin embargo, el factor climático más determinante es la lluvia, que genera una estación lluviosa y seca bien diferenciadas (Aguilar Rodríguez, 2004). (Ver figura 1.26)

FIG. 1.26: Características climáticas del Trópico de Cáncer



Fuente: Aguilar Rodríguez (2004)

**Trópico de Capricornio** Latitud  $23^{\circ}5'$ . Es un paralelo situado en el hemisferio sur en donde dan los rayos de Sol perpendicularmente el primer día del solsticio de invierno (21 o 22 de diciembre). Con un clima árido seco y condiciones muy similares a las del trópico de Cáncer (Aguilar Rodríguez, 2004). (Ver figura 1.27)

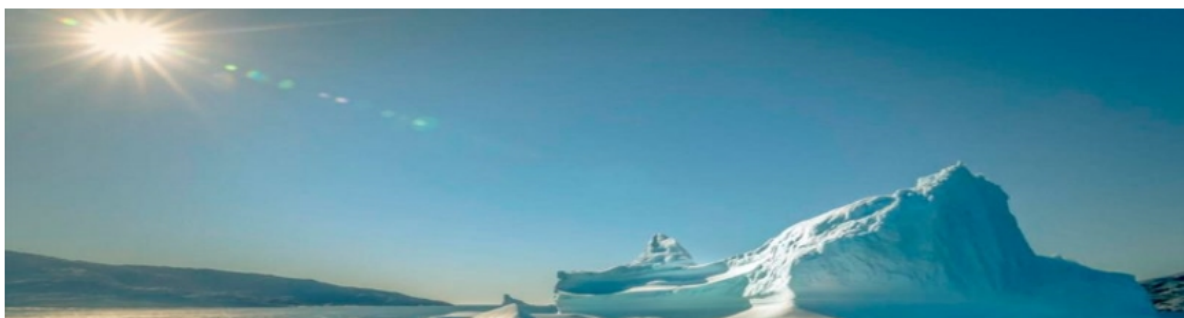
FIG. 1.27: Características climáticas del Trópico de Capricornio



Fuente: Aguilar Rodríguez (2004)

**Círculo Polar Ártico:** Latitud  $66^{\circ}5'$ . Es un paralelo situado en el hemisferio norte y que separa la zona de los climas templados de los fríos (Gómez de Ágreda, 2014). (Ver figura 1.28)

FIG. 1.28: Condiciones climáticas en el Círculo Polar Ártico



Fuente: Gómez de Ágreda (2014)

**Círculo Polar Antártico:** Latitud  $66^{\circ}5'$ . Es un paralelo situado en el hemisferio sur y que separa la zona de los climas templados de los fríos (Aguilar Rodríguez, 2004). (Ver figura 1.29)

FIG. 1.29: Condiciones climáticas en el Círculo Polar Antártica



Fuente: Gómez de Ágreda (2014)

**Ecuador:** Latitud  $0^{\circ}$ . Es la línea imaginaria que divide a la Tierra en dos hemisferios y en la cual se referencias las demás líneas. Es la de mayor circunferencia y donde los rayos del Sol caen perpendicularmente (Aguilar Rodríguez, 2004). Esta zona está caracterizada por poseer climas cálido-húmedos. (Ver figura 1.30)

FIG. 1.30: Características del clima ecuatorial.



Fuente: Aguilar Rodríguez (2004)

Es importante señalar que, aunque el predominio de climas cálidos húmedos se extiende tanto en la línea ecuatorial como en los trópicos existen varios factores geográficos que alteran las características climáticas del sitio. Un claro ejemplo lo constituyen las cadenas montañosas como los Andes, modificando así el clima a fríos extremos (Aguilar Rodríguez, 2004).

Estas características climáticas influyen directamente en el comportamiento y condiciones ambientales dentro de la vivienda, además de condicionar la morfología de la envolvente de las mismas, por este motivo, la arquitectura de cada lugar responde a características específicas (Matute Oleas, 2014).

## 1.4. Comportamiento térmico de la vivienda

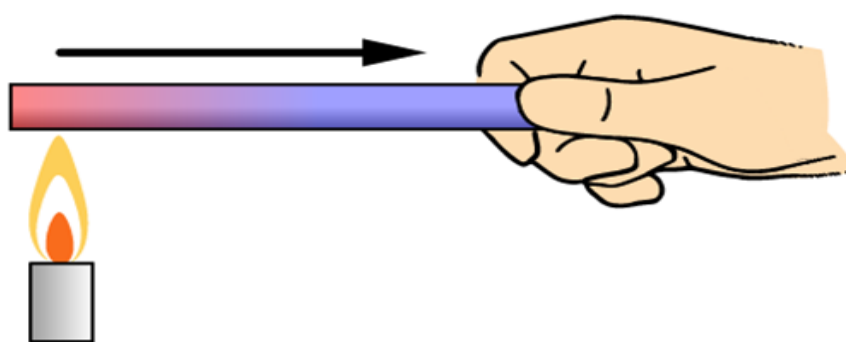
Los edificios son objetos contruidos a modo de barreras protectoras contra las precipitaciones, viento y demás fenómenos meteorológicos como luz y calor. Su entorno cambia durante el día y la noche, ante las situaciones propias del clima del medio convirtiéndose en refugios de condiciones artificiales (Serra, 2000).

En el año 1970, la terminología envolvente se introdujo para describir el espacio delimitado por el ambiente exterior y el interior de una edificación. La envolvente, como parte de un módulo construido, desempeña un papel importante en la ganancia y pérdida de calor. Es entonces que, para comprender el comportamiento térmico de los edificios es fundamental tener conocimiento de los mecanismos de transferencia de los materiales a través de su envolvente puesto que este elemento constituye un filtro selectivo que permite generar microclimas internos brindando así de confort al ocupante (Mercado, Esteves, y Filippín, 2010).

El intercambio de energía interior y exterior, a través de la envolvente, ocurre gracias a la diferencia calórica existente en ambos ambientes. Debido a la manera en que el calor es transportado entre estos, la compensación o intercambio térmico se divide en 3 tipos, Conducción, Convección y Radiación.

**a) Conducción:** o también conocida como Ley de Newton, consiste en la transmisión del calor en forma directa mediante el contacto directo entre cuerpos. Se lleva a cabo en todas direcciones. El calor fluye desde el cuerpo con mayor temperatura hacia el de menor hasta que ambos alcancen la misma temperatura (Marincic Lovriha et al., 2019). (Ver figura 1.31)

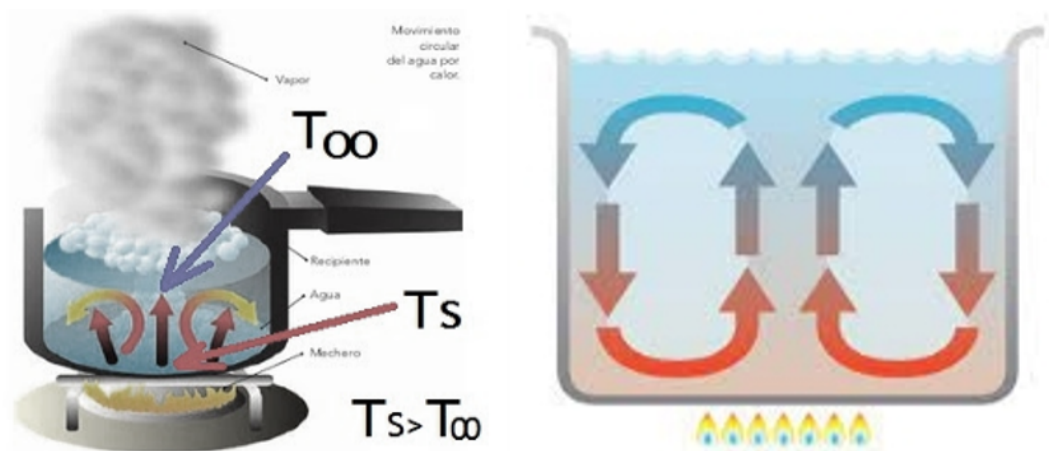
FIG. 1.31: Conducción del calor.



Fuente: Molina Fuertes (2016)

**b) Convección:** o ley de Fourier, es la transmisión de calor a través de los fluidos (gases o líquidos). El calor se transmite al fluido por conducción, la densidad del fluido se reduce, éste se dilata y sube, su lugar es ocupado por moléculas frías (Marincic Lovriha et al., 2019). (Ver figura 1.32)

FIG. 1.32: Convección del calor.



Fuente: Molina Fuertes (2016)

c) **Radiación:** o ley de Stefan Boltzmann es la propagación del calor en forma de radiaciones o de ondas electromagnéticas. Se propaga en línea recta a través de todos los medios. No es necesario que los cuerpos estén en contacto directo. Un cuerpo de mayor temperatura puede calentar a otro de temperatura más baja a través de la propagación de ondas. (Ver figura 1.33)

FIG. 1.33: Radiación del calor.



Fuente: Molina Fuertes (2016)

#### 1.4.1. Flujos de calor en la vivienda

El flujo de calor en la vivienda expresa los aspectos cuantificables que revelan los motivos que producen la energía y porqué se intercambia con el exterior, así como las maneras en que esta se transforma o se consume. En una vivienda, estos fenómenos energéticos se producen de tres maneras que son: paredes/techo, puertas/ventanas y ventilación.

Cuando hay equivalencia entre ganancias y pérdidas (la vivienda produce la misma cantidad de energía que consume), se denomina balance energético nulo. Este balance, además, se encuentra en un contexto confortable, es decir alrededor de 20°C, con humedad relativa de 50 % y velocidad del aire inferior a 1m/s (Macari Urra, 2013).

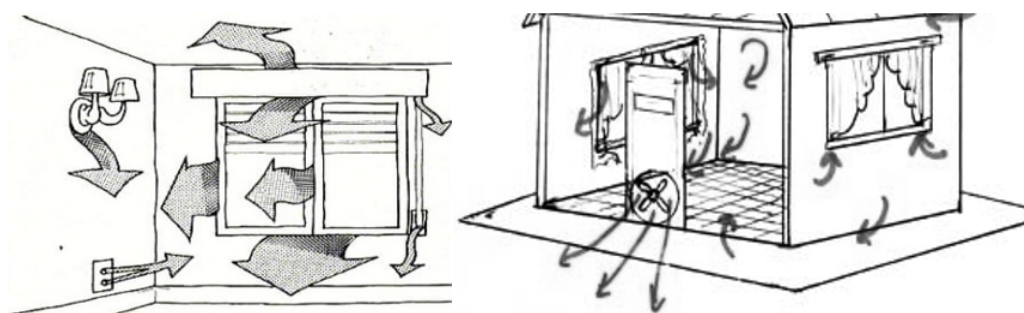
Los flujos de calor que influyen en el comportamiento térmico de la vivienda se pueden dividir de acuerdo a: Infiltraciones, Aportes Internos, Transmisión y Aportes Solares.

### 1.4.2. Flujo de calor por infiltraciones

Se refiere a las fugas de aire mediante elementos de la envolvente de un edificio. Estas son:

a) **Paredes:** Del total de aire que se escapa por la envolvente de la vivienda, al menos un valor entre 18 % y 50 % se da por las paredes (Macari Urra, 2013). Esto ocurre frecuentemente en las esquinas, carpinterías, y ductos de instalaciones. (Ver figura 1.34)

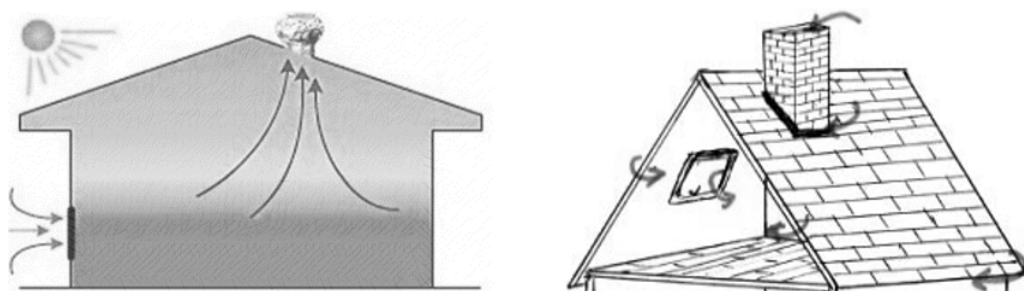
FIG. 1.34: Infiltración de aire a través de las paredes.



Fuente: Del Toro (2015)

b) **Techo:** Es posible que hasta un 30 % de las fugas ocurran por este medio, ocasionando la disminución de temperatura y haciendo inefectivo el aislamiento. Igualmente, las chimeneas pueden suponer el 30 % de las pérdidas. Ya que si no están siendo usadas crean un conducto por el cual el calor es liberado (Macari Urra, 2013). (Ver figura 1.35)

FIG. 1.35: Infiltración de aire a través de la cubierta.



Fuente: Del Toro (2015)

c) **Sistema de ventilación:** Del total de las fugas de aire por unidades de tratamiento hasta un 28 % ocurre mediante sistemas de conducto de aire, rejillas de ventilación, entre otros (Castillo Quimis et al., 2019). (Ver figura 1.36)

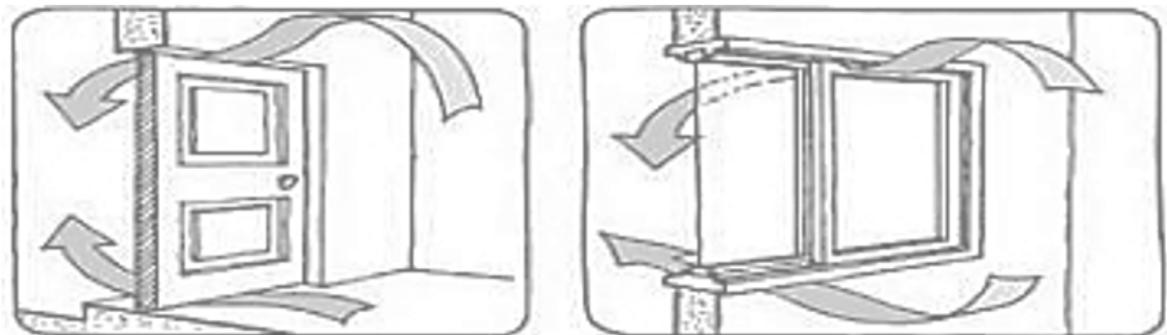
FIG. 1.36: Rejilla de ventilación.



Fuente: Del Toro (2015)

d) **Puertas y ventanas:** De acuerdo al tipo de ventanas y puertas, la cantidad de aire que pudiera escaparse sería de hasta el 25 % del total (Castillo Quimis et al., 2019). (Ver figura 1.37)

FIG. 1.37: Flujo de calor mediante ventana y puerta



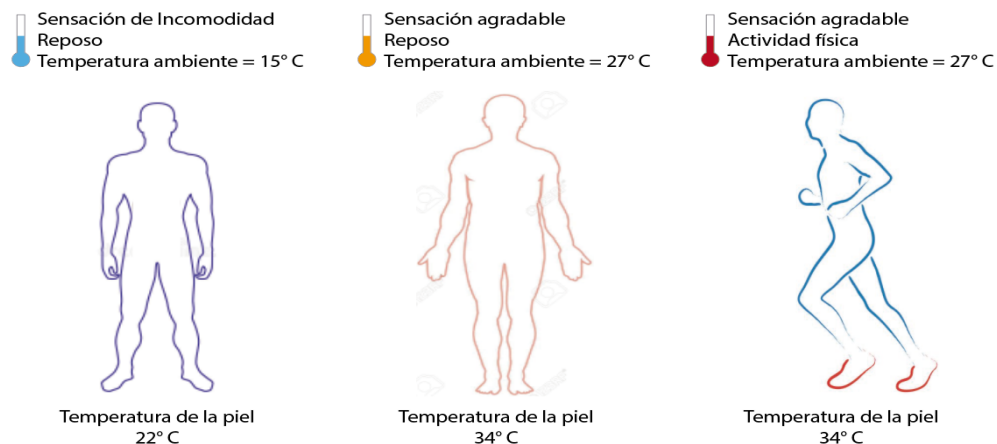
Fuente: Del Toro (2015)

### 1.4.3. Flujo de calor por aportes internos

Referido a todos aquellos cuerpos dentro del ambiente que emiten cierto tipo de calor, entre los cuales se encuentran:

a) **Personas:** La unidad que mide la producción de calor del ser humano es el Met ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), mismo que equivale a 58 watts por cada metro cuadrado de piel en el cuerpo. Esta unidad de medida expresa el nivel de trabajo que tiene una persona en reposo. Cuando una persona duerme produce apenas 0.7 Met. Por el contrario, una persona en actividad intensa puede llegar a producir hasta 10 Met (Turégano, Hernández, y García, 2003). (Ver figura 1.38)

FIG. 1.38: Cuerpo humano emisor de calor.



Fuente: Elaboración propia

**b) Electrodomésticos:** Tal como la presencia del ser humano en el espacio habitable, los electrodomésticos emiten importantes cargas térmicas. Su valor se incrementa cuando éstos están en uso. (Ver figura 1.39)

FIG. 1.39: Electrodomésticos.



Fuente: Market (2020)

**c) Luces:** del mismo modo, el clima interior de un ambiente puede variar ante el uso o desuso de sistemas de iluminación. Una bombilla encendida genera calor y altera el microclima interior. (Ver figura 1.40)

FIG. 1.40: Espacios dotados de iluminación artificial.



Fuente: Lirola (2020)

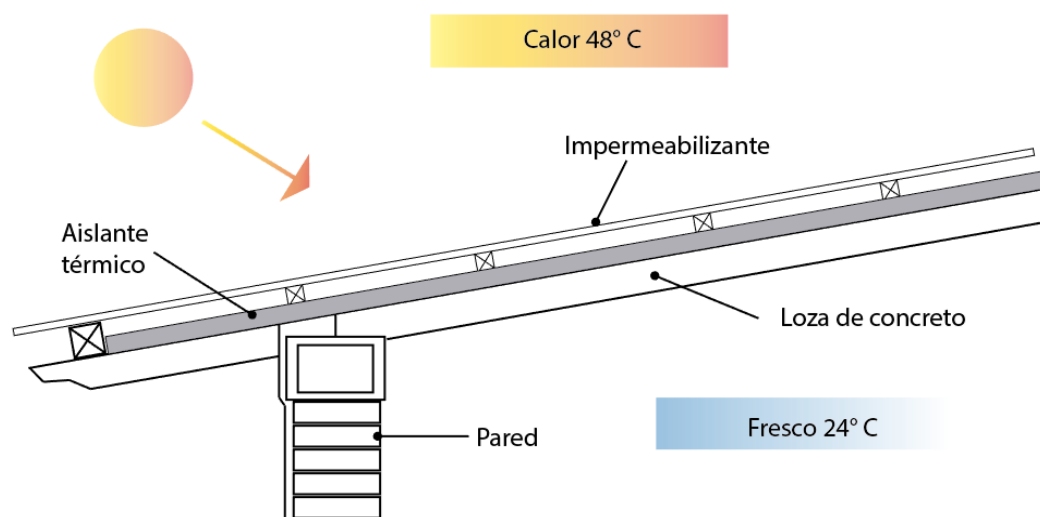
#### 1.4.4. Flujo de calor por transmisión

La temperatura interior de un recinto depende, entre otros, del nivel de resistencia que tiene el cerramiento ante los flujos de calor existentes. Para ello es importante considerar variables como la conductividad y a su vez la transmisión.

El coeficiente de conductividad ( $K$ ) representa la cantidad de energía que cruza un cuerpo cuyo espesor es  $1\text{m}$  y su área es de  $1\text{m}^2$  cuando la temperatura de un lado es mayor que la del otro con  $1\text{ }^\circ\text{C}$  (Turégano et al., 2003).

El coeficiente de transmisión térmica ( $U$ ) expresa la rapidez con que el calor atraviesa  $1\text{m}^2$  del cuerpo o cerramiento teniendo en cuenta que las temperaturas a cada uno de los extremos varían en  $1\text{ }^\circ\text{C}$  ( $\text{W}/\text{m}^2\text{ K}$ ). Es así que, cuanto mayor sea el valor de  $U$  más rápido ocurrirá esta transferencia de calor. (Ver figura 1.41)

FIG. 1.41: Cubierta con aislante térmico



Fuente: Propia

El símil que recoge la figura 1.41 expresa como una cubierta delimita el ambiente exterior ( $48\text{ }^\circ\text{C}$ ) del interior ( $24\text{ }^\circ\text{C}$ ). Consecuentemente,  $U$  refleja la prontitud con que la energía en forma de calor es transferida entre estos dos ambientes haciendo que en un momento dado estas dos temperaturas sean iguales. Dicho en otras palabras, sea cual sea el valor de  $U$  los dos lados alcanzarán la misma temperatura, lo que la  $U$  determina es qué tiempo tomará para que esto ocurra.

No obstante, como se refleja en la figura 1.41, existe una fuente auxiliar como un material aislante que aporta en el valor  $U$  del material haciendo que el proceso de transmisión de calor sea mucho más lento.

### 1.4.5. Flujo de calor por aportes solares

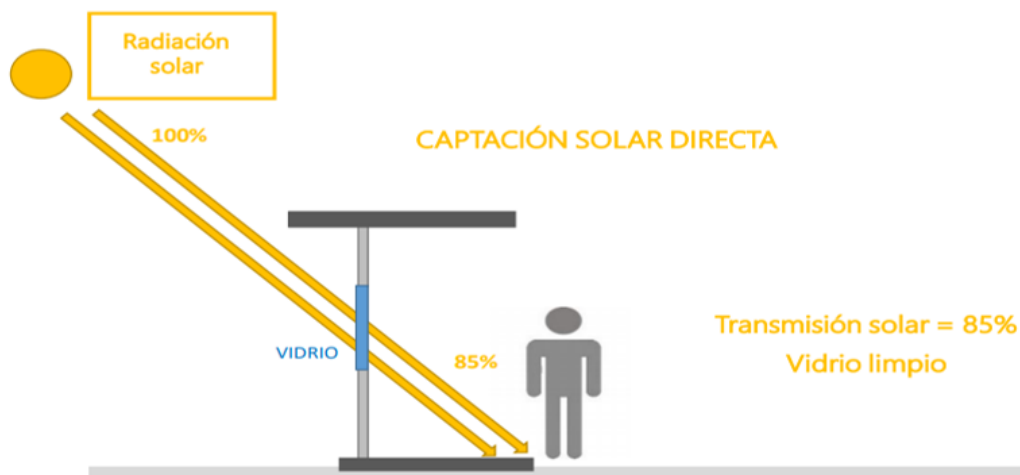
El aporte solar en una vivienda se puede definir como la energía solar captada por los elementos de la edificación, misma que es capaz de acondicionar térmicamente el espacio interior. Estos aportes se pueden lograr por medios como las paredes y las ventanas, a lo que podemos llamar captación indirecta y captación directa respectivamente. A continuación se detalla el flujo por captación indirecta.

Cuando un cerramiento es sometido a las condiciones climáticas con oscilaciones de la radiación solar, el comportamiento térmico interior de la vivienda se modifica y adapta a las condiciones ambientales exteriores, en este sentido el muro constituye un agente que actúa como operador térmico (Turégano et al., 2003).

La incidencia de radiación solar sobre el cerramiento produce el incremento de la temperatura en la fachada exterior, generando así una onda energética de gran amplitud. Una vez que esta onda de temperatura recorre el muro de extremo a extremo, la temperatura interior de la vivienda se va incrementando puesto que, el calor exterior ya ha sido transportado hacia el interior del muro.

Un factor importante a considerar es la materialidad o características físicas con que esté constituida la pared de una vivienda. En este sentido, un muro de alta inercia estará conformado por un gran espesor y un material bastante denso. Y cuanto mayor sea la inercia mayor será el amortiguamiento de la onda, haciendo del intercambio térmico un proceso lento. (Ver figura 1.42)

FIG. 1.42: Aporte solar directo.



Fuente: Elaboración Propia

Por el contrario, la captación solar es directa cuando la radiación incide inmediatamente sobre la estancia destinada a calefactar, es decir sin presencia de algún obstáculo. Para ello, es necesario que la radiación solar penetre a través de los huecos localizados en el cerramiento como puertas y superficies vidriadas de ventanas, siendo estas últimas motivo del siguiente apartado.

## 1.5. La ventana en la arquitectura

Se llama ventana al vano o hueco que se abre en una pared. Sin embargo, también se la puede denominar como el conjunto de partes que se utiliza para cerrar ese vano o apertura. De cualquier modo, la finalidad de este elemento arquitectónico es proporcionar luz y ventilación a una estancia (Iturriaga Torres, 2008). Así mismo, la forma y posición definirán la calidad de luz, aire, sonidos y forma de eliminar la contaminación interior de la vivienda (Corrado, 2017).

La evolución de la ventana data desde la aparición de pequeñas aperturas en las fachadas de las edificaciones hasta la monumentalidad de las superficies acristaladas que es posible apreciar hoy en día. Inclusive los procesos productivos que permitieron que el tamaño del cristal creciera hasta formar superficies cada vez más grandes y elegantes denotaron la prosperidad de la edificación (Corrado, 2017). Del mismo modo, la materialidad con que los vanos fueron cubiertos progresó del uso de láminas impermeables, pieles de animales hasta la utilización de paneles de vidrio. No obstante, desde sus inicios la funcionalidad de este elemento fue la de dotar de ventilación e iluminación al edificio.

En el ámbito de la ventilación, la ventana permite el intercambio del aire interior de la estancia con el del exterior. De acuerdo a Corrado (2017), este elemento fue concebido inicialmente con la intención de dotar de ventilación al recinto y protegerlo de las condiciones climáticas externas.

En muchas ocasiones los elementos de cierre del vano son de materiales no traslúcidos como madera, zinc, entre otros (Iturriaga Torres, 2008). Sin embargo, con objeto de dotar al espacio de iluminación natural, la mayor parte de huecos de ventana permiten el paso de la luz a su través gracias a la materialidad de sus hojas que en su mayoría son acristaladas. Y es así como, gracias a la materialidad del cierre del vano, diversos flujos de calor ocurren en el interior del recinto. Puesto que las características propias del vidrio actúan como una barrera frágil ante el paso de la radiación solar al interior del espacio haciendo que éste se caliente y enfríe rápidamente.

### 1.5.1. Flujos de calor por la ventana

Como se ha explicado previamente, la ventana constituye una de las partes más importantes dentro de la envolvente de una edificación. Debido a la materialidad de cierre (vidrio) este elemento es sensible a las variaciones climáticas del entorno y bastante propenso al intercambio térmico con el exterior, tanto por transmisión (U) como por captación solar directa (Iturriaga Torres, 2008).

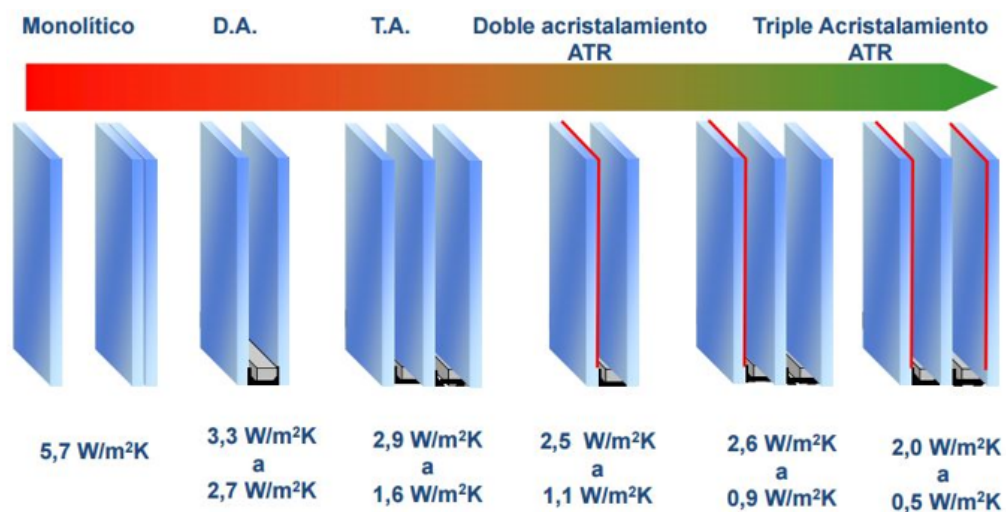
#### a) Transmisión

Consiste en la cantidad de energía que intercambia con el exterior a través de la envolvente, ya sea pared, cubierta o superficie vidriada. En el ámbito de la construcción, la capacidad de transmisión o U refleja el nivel del aislamiento que posee un material. En este sentido, la captación energética, así como las pérdidas de la misma dependerán

directamente del valor U que presente el material de la ventana como tal. Cuanto menor sea el coeficiente de transmisión térmica, menor será la pérdida de energía calorífica del edificio por la superficie acristalada (Corrado, 2017).

Con el pasar de los años el material acristalado que cubre las aperturas de vanos se ha visto modificado. Si se considera que el valor de U determina la calidad del vidrio, se entiende el porqué de la variación de este valor entre un vidrio y otro. En la figura 1.43 se muestra como varía la calidad del vidrio en base a los valores de U.

FIG. 1.43: Valores de U para varios tipos de acristalamientos.



Fuente: Seguí (2015)

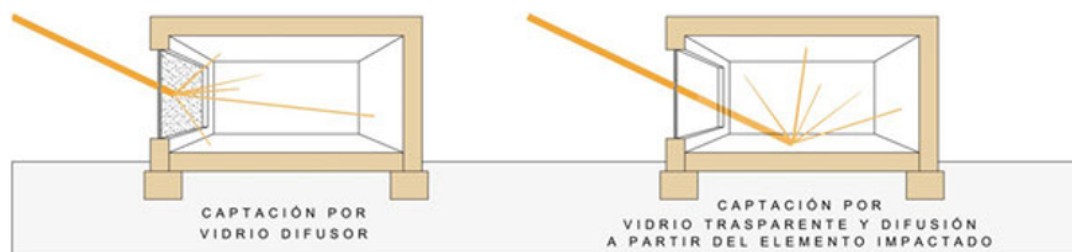
### b) Captación solar directa

La captación solar directa consiste en la utilización de la radiación solar que entra directamente por los huecos de fachada o ventanas, esta energía ganada sirve para iluminar y calentar las estancias.

De acuerdo a Mazria (1979), en “The passive solar energy book” el sistema más apropiado es el de las ventanas captoras, con orientación sur a un ángulo 25° hacia las orientaciones este y oeste. De esta manera, esta ligera inclinación podrá captar un 90 % de la radiación solar que incide en la orientación sur.

En esta instancia, el tipo de vidrio también desempeña un papel fundamental. Como se observa en la figura 1.44, la colocación de vidrios difusos genera una luz borrosa que es repartida a los diferentes paramentos. Mientras que los vidrios transparentes necesitan de un paramento de color claro donde la radiación solar pueda reflejarse y cubrir las superficies existentes.

FIG. 1.44: Captación solar mediante vidrios difusos y transparentes.



Fuente: Salamanca (2013)

## 1.6. Evolución de la vivienda en Cuenca a través de la ventana

Las condiciones climáticas de un sitio determinan las características morfológicas de su arquitectura. En este sentido los elementos de la envolvente desempeñan un papel importante dentro de la configuración de las fachadas de la edificación (Matute Oleas, 2014).

Como se mencionó, la ventana constituye un elemento clave dentro de la envolvente de un edificio, pues este permite el intercambio energético entre el interior y exterior del mismo. Por tal motivo, es posible afirmar que, el vano o hueco de la ventana conforma un indicativo acerca de la adaptabilidad de la vivienda a las condiciones climáticas.

En este apartado se revisarán dichas condiciones climáticas, así como la manera en que la arquitectura cuencana ha dado respuesta a estos factores a través de la ventana, y como su morfología ha sufrido un proceso de evolución con la llegada de estilos y movimientos arquitectónicos.

### 1.6.1. Condiciones climáticas de la ciudad

La provincia del Azuay pertenece a la región Interandina o Sierra del Ecuador que ocupa el 27% del área nacional. El clima de esta región se ve influido por la cadena montañosa de los Andes generando tipologías de masas de aire conocidas como: templadas (valles interandinos) y masas de aire frío (mesetas andinas) (Contreras Lojano y Neira Pesántez, 2015).

Con una latitud de 2°53'12" S, longitud 79°09'W y una altitud de 2550msnm, la ciudad de Cuenca se ubica en un valle interandino de la sierra sur ecuatoriana (Barragán y Ochoa, 2014).

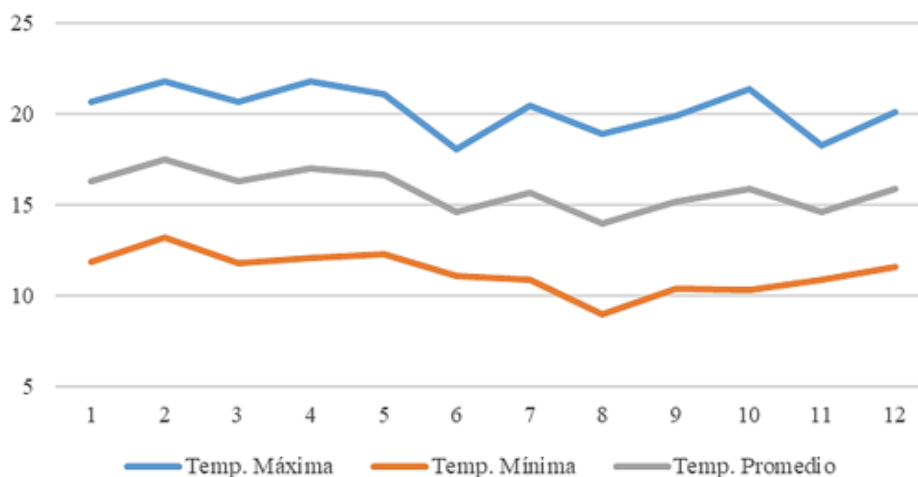
#### a) Temperatura

Al sur de la cordillera andina se localiza la ciudad de Cuenca, en el sector montañoso de la misma. De acuerdo a la escala de Köppen, la ciudad posee temperatura Mesotérmica

semihúmeda.

La temperatura media anual oscila alrededor de 15°C a 16°C. En los meses de junio y septiembre se puede registrar una temperatura media alrededor de los 14°C y una temperatura mínima promedio de 9°C (Barragán y Ochoa, 2014). (Ver figura 1.45)

FIG. 1.45: Diagrama temperatura de la ciudad de Cuenca.

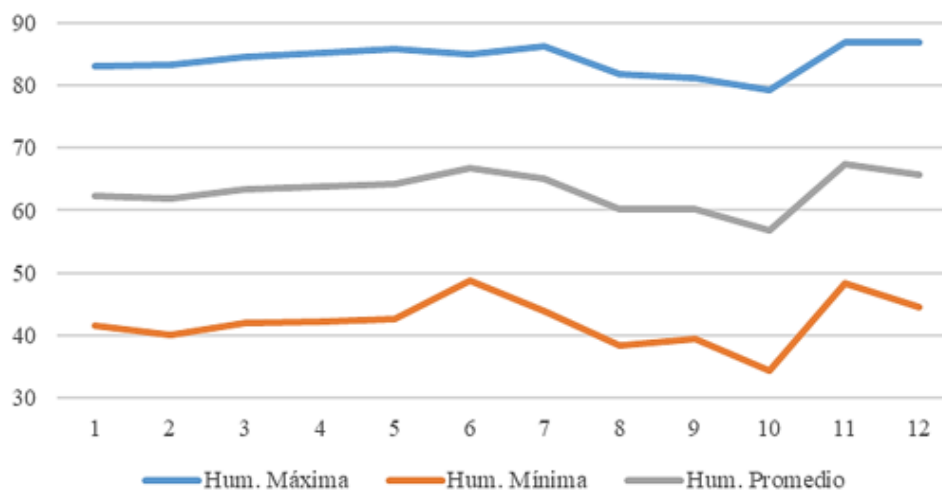


Fuente: Elaboración propia a partir de Cordero y Guillén (2013)

### b) Humedad

La humedad relativa en la ciudad de Cuenca varía entre Los 39,4 y 86,8% (Neira Pesántez, 2015), y el valor promedio anual es de 64,9% (Cordero y Guillén, 2013). (Ver figura 1.46)

FIG. 1.46: Diagrama humedad de la ciudad de Cuenca.

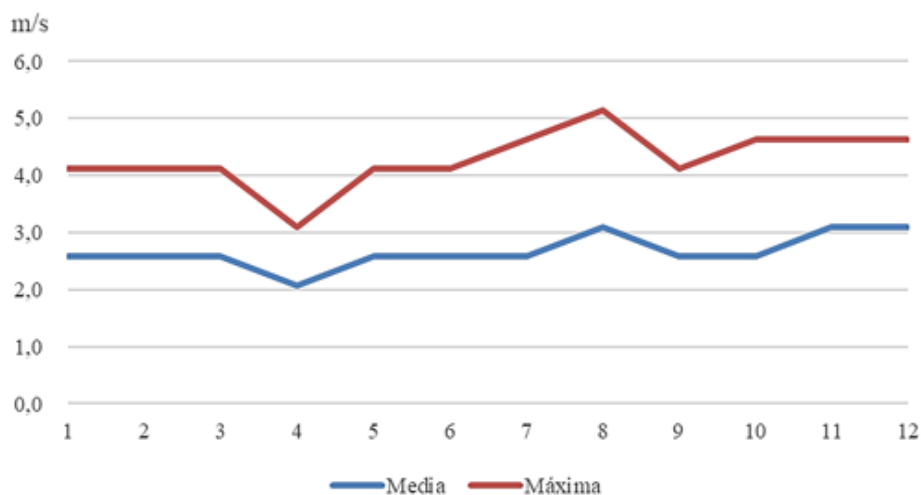


Fuente: Elaboración propia a partir de Cordero y Guillén (2013)

### c) Velocidad del aire

En la ciudad, la presencia de los vientos proviene desde la dirección suroeste, y la velocidad promedio es de 4 a 5 m/s (Cordero y Guillén, 2013). (Ver figura 1.47)

FIG. 1.47: Velocidad del aire de la ciudad de Cuenca.

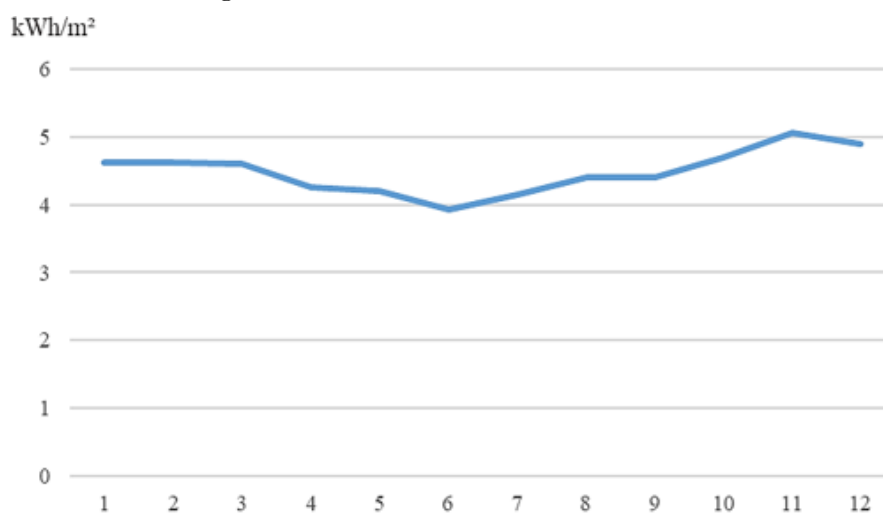


Fuente: Elaboración propia a partir de Cordero y Guillén (2013)

### d) Radiación solar

En Cuenca la radiación solar varía entre los 3,92 y 5,06 kWh/m<sup>2</sup>. Los valores más bajos de radiación solar se registran en junio, que a su vez coincide con la temporada de temperaturas bajas. (Ver figura 1.48)

FIG. 1.48: Diagrama radiación solar de la ciudad de Cuenca.

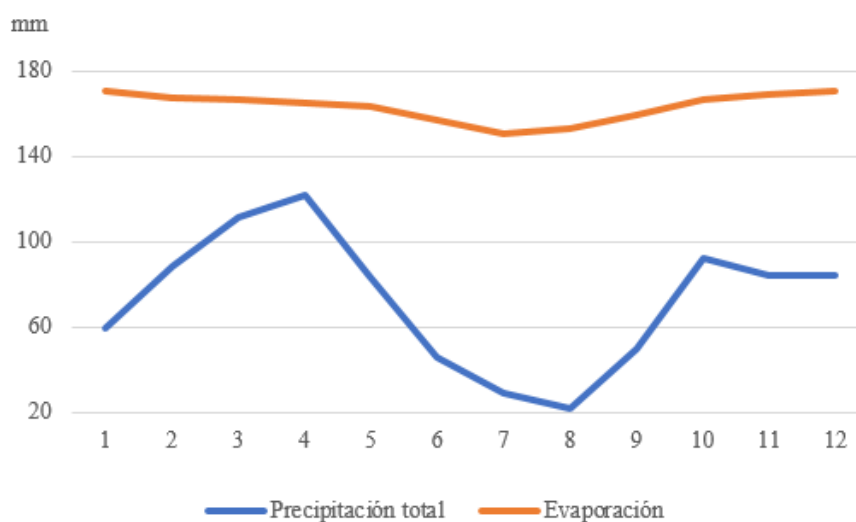


Fuente: Elaboración propia a partir de Cordero y Guillén (2013)

### e) Precipitaciones

Identificables en dos momentos específicos durante el año. El primero y más evidente se ubica en el mes de abril con  $120,13 \text{ mm/m}^2$ . Mientras que el segundo momento, mucho más leve alcanza los  $25,98 \text{ mm/m}^2$  (Cordero y Guillén, 2013). (Ver figura 1.49)

FIG. 1.49: Diagrama de precipitaciones y evaporación de la ciudad de Cuenca.



Fuente: Elaboración propia a partir de Cordero y Guillén (2013)

### 1.6.2. Características de la vivienda cuencana como respuesta al clima

Tal como en el resto del mundo, la vivienda en la ciudad de Cuenca nace como una forma de protección del ser humano ante las condiciones climáticas, que, como se mencionó anteriormente están caracterizadas por una temperatura fuera de una zona de confort y con una sensación térmica generalmente fría. Con el fin de describir el porqué del uso de elementos de la envolvente en condiciones climáticas como las de la ciudad se analizan aspectos a continuación. (Ver figura 1.50)

FIG. 1.50: Ejemplos de viviendas encontradas en la ciudad de Cuenca, de izquierda a derecha: vernácula, colonial, republicana y contemporánea



Fuente: Propia

### a) Cubierta

Se reconoce a la cubierta como el rasgo más primitivo de la arquitectura, puesto que este elemento nació como la respuesta del hombre a la necesidad de protegerse de la radiación solar y las lluvias, mediante el uso de pieles de animales, hojas, pajas, entre otros (Juanes Arnal, 2015). (Ver figura 1.51)

La inclinación de la cubierta responde a un problema funcional, puesto que esta geometría permite la evacuación directa de las aguas provenientes de la lluvia, impidiendo así el estancamiento de las mismas. Consecuentemente, este hecho evita problemas de filtraciones (Juanes Arnal, 2015).

FIG. 1.51: Ejemplos de materialidad de la cubierta en la ciudad de Cuenca. De izquierda a derecha: paja, latón, teja y fibrocemento.



Fuente: Propia

### b) Mampostería

Las primeras evidencias de vivienda cuencana reflejan el uso de la mampostería como elemento de protección cuyo espesor fue determinante en base a las condiciones climáticas de la ciudad. La mampostería o pared constituyó un módulo estructural que actuaba como aislante pues su grosor evitó la liberación del calor acumulado en el día durante la noche. Actualmente, en el Centro Histórico de Cuenca es posible identificar paredes de diversos materiales, cuyo grosor varía desde los 60cm hasta 1,80m.

Según el Inventario de 1582, la vivienda estaba conformada por paredes elaboradas a base de tierra, ya sea mediante la elaboración de bloques de adobe o con la imposición del bahareque (Aguirre, Ávila, y Pesántez, 2015). Posteriormente durante la época republicana la vivienda se edificó a semejanza española. El proceso constructivo de la vivienda se realizó en base al canto, con la colocación de piedras extraídas principalmente de la zona arqueológica de Pumapungo.

A mediados del siglo XVI la técnica constructiva del ladrillo y bloque de hormigón fueron incorporadas al proceso de elaboración de los muros de las viviendas en la ciudad (Pesántez y González, 2011). (Ver figura 1.52)

FIG. 1.52: Ejemplos de materialidad de las paredes en la vivienda cuencana. De izquierda a derecha: tierra, canto, ladrillo y bloque de hormigón



Fuente: [Pesántez y González \(2011\)](#)

### c) Colores oscuros

En épocas previas a la colonia, la vivienda vernácula se distinguió por una metodología de construcción netamente artesanal donde fue muy común distinguir colores oscuros en sus fachadas. El color predominante en la vivienda cuencana fue aquel propio del barro con que se elaboró el adobe ([Achig, Paredes, y Barsallo, 2016](#)). Aunque, no se puede afirmar que el color oscuro fue una elección de los pobladores como respuesta al clima frío de la ciudad, hoy es posible distinguir que su uso favorece en la captación de energía solar, ya que el color negro absorbe la luz.

Sin embargo, a finales del siglo XVIII esto cambiaría puesto que por órdenes de la gobernación las paredes de las edificaciones debían ser blanqueadas, siguiendo la influencia andaluza ([Achig et al., 2016](#)). Este hecho refleja que, la influencia del ornato se implantó en la ciudad dejando de lado los criterios bioclimáticos previos, pues las condiciones climáticas europeas son distintas a las de la ciudad de Cuenca.

### d) Aperturas de vanos

Un elemento importante al momento de mantener las condiciones ambientales interiores dentro de un rango de confort, lo constituyó la apertura de vanos en la fachada de una edificación. En este aspecto, la ventana permitió dotar al espacio de ventilación, en primera instancia. Posteriormente la materialidad de este elemento permitió que los espacios interiores se vieran beneficiados por la iluminación natural. El porcentaje de este elemento sobre la fachada de la edificación ha sufrido un proceso evolutivo que ha marcado la temporalidad de la vivienda, mismo que se detalla en el siguiente apartado.

## 1.6.3. Evolución de la ventana en la vivienda cuencana

A lo largo de los años, tanto en la ciudad de Cuenca como en el resto de la región Andina, la vivienda se ha visto expuesta a diferentes cambios. En un inicio el concepto de vivienda fue otorgado al medio que utilizaba el ser humano como protección a los factores climáticos externos. Sin embargo, con el pasar de los años este medio atravesó por varias

etapas en las que el criterio inicial fue alejándose de la concepción arquitectónica como respuesta al entorno. Contrariamente se puede afirmar que la morada se ha ido adaptando a una sociedad cambiante y evolutiva.

Del mismo modo, la ventana, cuyo fin inicial fue el de proveer de iluminación y ventilación al recinto, sufrió cambios morfológicos que adaptaron la esencia de la fachada al periodo del tiempo en que la vivienda se encontraba. Con el pasar de los años, la ventana, a más de su funcionalidad, se convirtió en un símbolo de modernidad. A partir de aquí realizaremos un repaso superficial de los cambios que ha experimentado la ventana a lo largo de las diferentes épocas en esta región.

### a) Arquitectura vernácula

En la era previa a la llegada de la conquista española, e incluso en años posteriores, la morfología de la vivienda constituyó un método de adaptación a las condiciones climáticas y existencia de materiales locales. Las fachadas formadas por muros de adobe constituyeron una superficie horizontal, plana e íntegra. La carencia de aperturas caracterizó la forma de estas edificaciones. Con vanos suficientes y de escasa dimensión la vivienda estuvo dotada de iluminación y ventilación. Normalmente al este y oeste la apertura de estos vanos impidieron la pérdida del calor almacenado durante el día ([Junta de Andalucía y Municipalidad de Cuenca, 2007](#)).

Como medio artesanal para la protección de estos vanos se utilizó la madera, hojas de zinc, entre otros. Para ello, se trabajó en la colocación de la cerradura a manera de “hojas” abatibles, ya sea simple o doble ([Junta de Andalucía y Municipalidad de Cuenca, 2007](#)). (Ver figura 1.53)

FIG. 1.53: Viviendas vernáculas de la ciudad de Cuenca. A la derecha, vivienda luego del proceso de restauración actualmente los vanos son cubiertos con vidrio



Fuente: Propia

### b) Arquitectura colonial

Entre los siglos XVI y XIX la arquitectura de la ciudad fue sencilla siguiendo el modelo de vivienda andaluza organizada de la siguiente manera: patio, traspatio y huerta y en torno a estos elementos se configuraron las habitaciones (Junta de Andalucía y Municipalidad de Cuenca, 2007).

En cuanto a la fachada, es posible diferenciar hoy por hoy la presencia de características morfológicas que evidencian la escasez de motivos ornamentales en las viviendas que aún se conservan en el centro histórico de la ciudad. Las fachadas exteriores presentan un plano horizontal libre, limpio y carente de aberturas. Por el contrario, las fachadas interiores, que dan hacia el patio interior, presentan vanos de dimensiones suficientes para captar la iluminación (Heras Barros, Lofruscio Velástegui, y Chavez Barriga, 2019). (Ver figura 1.54)

FIG. 1.54: Fachadas exteriores de viviendas coloniales de la ciudad de Cuenca



Fuente: Propia

### c) Arquitectura republicana

Con la llegada de las Misiones Geodésicas en 1736 y a finales del siglo XX, la influencia del estilo arquitectónico francés promovió un cambio en la morfología de las edificaciones de la ciudad. Aunque, con los años este estilo fue evolucionando a un producto de mestizaje entre el europeo y local (Ordóñez Alvarado, Vidal Torres, y Hamilton Córdova, 2017).

A partir de 1830 (época republicana como tal) la forma de la vivienda evoluciona con la introducción de un segundo piso, y motivos ornamentales en las fachadas. Además, la ventana se constituye como elemento que marca el cambio de la morfología arquitectónica de la vivienda cuencana, pasando de ser un elemento interior para conformar parte del ornamento exterior. Estos elementos fueron manufacturados con vidrio de origen belga con medidas estándar de 40x40 cm inicialmente (Heras Barros et al., 2019). Más adelante, la ventana como motivo de decoración, se complementó con el uso de balcones de hierro forjado y molduras en torno al marco. (Ver figura 1.55)

FIG. 1.55: Viviendas estilo Neoclásico de influencia francesa



Fuente: Propia

#### d) Arquitectura moderna

Desde 1940 la arquitectura nacional adquiere un rasgo moderno, traído en su mayoría por arquitectos europeos, como respuesta a la tendencia historicista y ecléctica de la edificación de la era previa. Un aspecto importante en esta era fue la introducción del hierro y el hormigón armado en las construcciones (Rivas, 2019).

En la ciudad de Cuenca se construye la vivienda Vázquez Alcázar entre los años 1960 y 1965 (ver figura 1.56), acatando el estilo establecido por Le Corbusier. Misma que destacó el uso de líneas rectas y ventana corrida (Martínez Roldán, 2020). De este modo, se abre camino hacia la construcción de nuevas edificaciones que fusionan el carácter tradicional con lo moderno.

FIG. 1.56: Edificios de estilo moderno de la ciudad de Cuenca. De izquierda a derecha: casa Vázquez Alcázar, edificio de la Municipalidad de Cuenca y Casa de la Cultura del Azuay



Fuente: Martínez Roldán (2020) & Rivas (2019)

### e) Arquitectura contemporánea

Se puede definir como arquitectura contemporánea, cuencana y nacional, la comprendida desde 1999 hasta la actualidad. Misma que se instaura en el país bajo los principios arquitectónicos delineados por Le Corbusier (Durán Calisto, 2015). En este sentido la morfología arquitectónica vuelve a sufrir un cambio en cuanto a la definición de fachadas y apertura de vanos. La captación de luz natural es la principal búsqueda en este nuevo estilo constructivo. (Ver figura 1.57)

FIG. 1.57: Viviendas de estilo contemporáneo de la ciudad de Cuenca. De izquierda a derecha: casa Mirador del Tablón, Edificio del Banco del Austro y Hotel Zahir

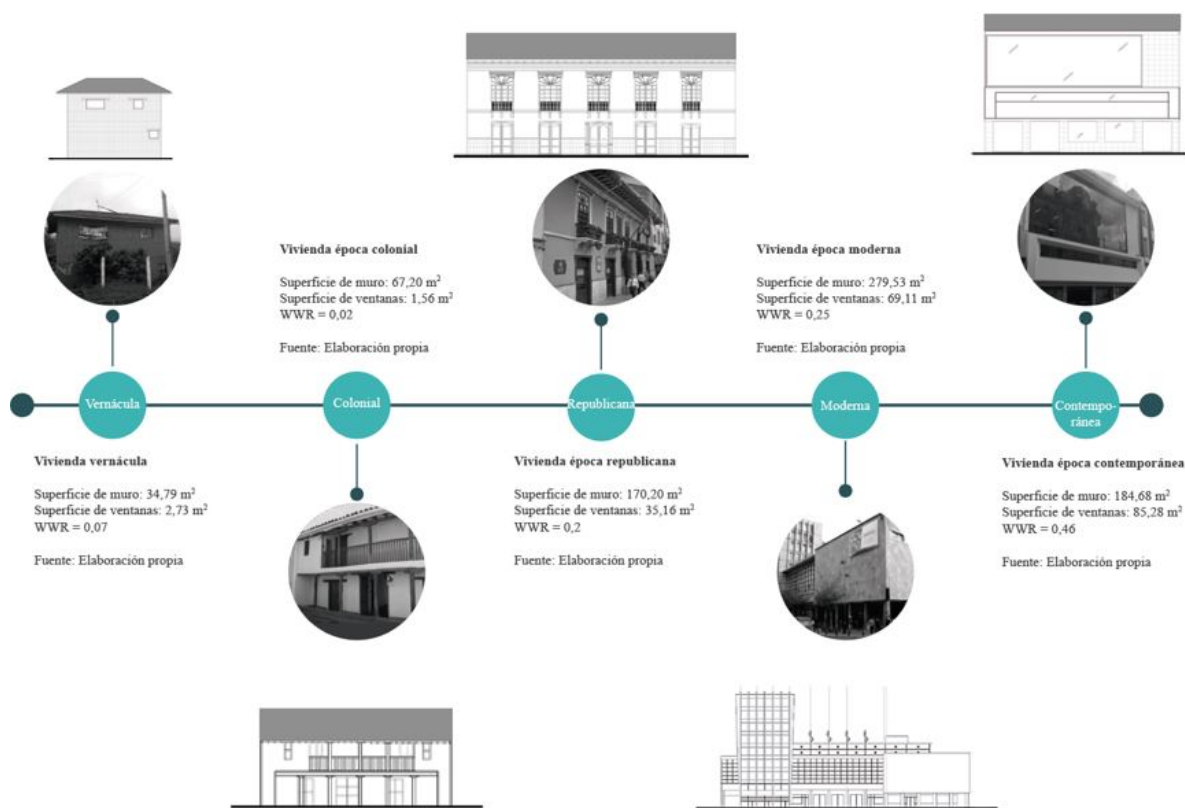


Fuente: Martínez Roldán (2020) & Rivas (2019)

Con el fin de realizar una mirada profunda a la evolución de las fachadas de viviendas cuencanas mediante la ventana, se realiza un cuadro que revela el estudio realizado en las caras de las viviendas de cada una de las épocas señaladas. Para ello, se ha hecho uso de la herramienta de dibujo *Revit* (Autodesk), en donde las imágenes capturadas previamente fueron introducidas y escaladas a un valor cercano a los reales, facilitando así la obtención del área de los vanos. De este modo se obtuvo el valor WWR, mismo que corresponde a la proporción obtenida al dividir la superficie de las ventanas para la superficie del muro ( $S_{\text{Ventanas}}/S_{\text{Muro}}$ ). Con este valor se comparó la evolución de la ventana a lo largo de la historia de esta región.

Con ello, se pudo evidenciar el proceso evolutivo del elemento de la ventana tanto en forma como en materiales y dimensiones. En la figura 1.58 se evidencia que los primeros vestigios de vivienda presentaron escasas aperturas de vanos con las cuales el ingreso de iluminación y ventilación fue mínimo. Del mismo modo, se observa que con el pasar de los años la ventana ganó espacio en la envolvente de la vivienda además el material constituyó una fuente de iluminación, como se observa desde la época colonial en adelante. Durante la época republicana este elemento constituyó una fuente de ornamento pues se ubicó en la fachada de la edificación. Sin embargo, es en las épocas moderna y contemporánea donde la ventana logra convertirse en el elemento principal de la fachada de la vivienda, pues sus dimensiones se extienden en gran parte de la misma.

FIG. 1.58: Cuadro resumen



Fuente: Elaboración propia

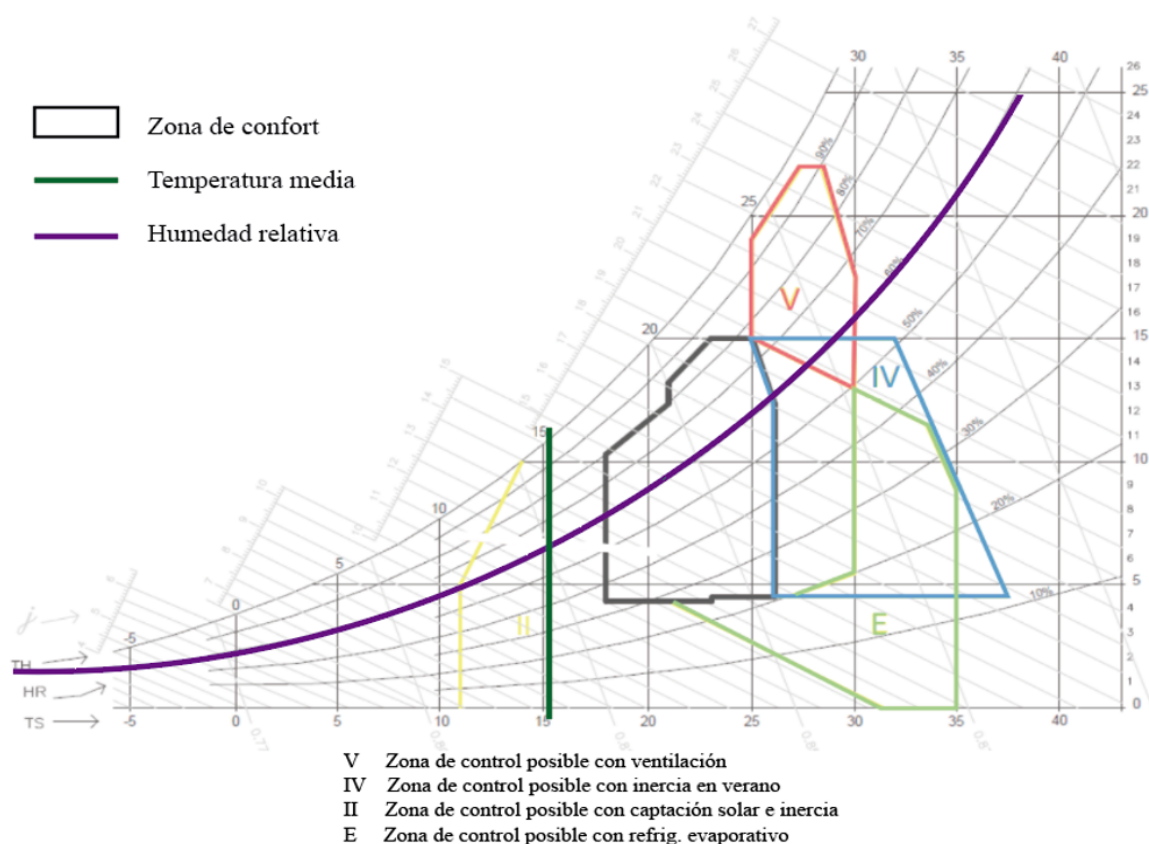
#### 1.6.4. Estrategias pasivas en Cuenca

Con las condiciones climáticas especificadas para la ciudad de Cuenca es necesario el uso de sistemas que aporten al confort térmico dentro de la vivienda, tal como lo señala el estudio realizado por [Baquero y Quesada \(2016\)](#) “Eficiencia energética en el sector residencial de la Ciudad de Cuenca, Ecuador”. El estudio en mención evidencia que el 45 % de los habitantes encuestados en la ciudad consideran su vivienda como inconfortable térmicamente, y requieren el uso de artefactos electrónicos para calentar el aire interior.

De acuerdo a [Marincic, Ochoa, y del Río \(2012\)](#), la temperatura ideal para generar una sensación de confort en el usuario está entre los 21°C y 24°C. No obstante, como se mencionó, la temperatura media de la ciudad es de 15°C, es decir, varios grados por debajo del valor recomendado.

Con el fin de conocer las estrategias a implementar en la ciudad de Cuenca para obtener una sensación de confort, se ha utilizado el ábaco psicrométrico de Givoni. En donde se ha señalado la temperatura media anual de la ciudad en 15,7°C, y una humedad media anual de 62,9%. (Ver figura 1.59)

FIG. 1.59: Ábaco psicrométrico de Givoni para la ciudad de Cuenca



Fuente: [Elleser \(2019\)](#)

A partir de ello se ha obtenido que la zona en la que se encuentra la ciudad de Cuenca corresponde a II. Misma que, de acuerdo al ábaco psicrométrico de Givoni, alcanzaría un estado de confort con captación solar e inercia térmica.

#### a) Forma y orientación

Se prevé que la forma de la edificación sea compacta y regular, ya que esto permite disminuir las pérdidas de calor a través de la envolvente. Mientras que para la orientación es recomendable de Este-Oeste asegurando un soleamiento adecuado durante todo el año ([Ordoñez y Herrera-Terrazas, 2018](#)).

#### b) Ganancia solar directa

Implica la captación de energía solar mediante superficies acristaladas dimensionadas y orientadas en función de las condiciones climáticas de la ciudad (Este-Oeste) además de las necesidades de calor que requiera el local. Por otra parte, esta estrategia aporta a factores como iluminación y ventilación natural y relación con el exterior ([Matute Oleas, 2014](#)).

### c) Muros colectores

Es un método de ganancia solar indirecta que se encuentra en la fachada frontal y posterior de la vivienda (Este-Oeste). Para esto es necesario el uso de materiales con inercia térmica alta puesto que su masa permite acumular la energía captada en el día y distribuirla en el interior de la misma durante la noche (Matute Oleas, 2014). El espesor recomendado en la ciudad de Cuenca es de 24 cm, y de ladrillo macizo de acuerdo a Cordero y Guillén (2013).

## 1.7. Resumen de capítulo

La Arquitectura Bioclimática es considerada como la práctica de edificar racionalmente en apego a las condiciones climáticas propias del sitio. Además de buscar la congruencia entre el espacio construido y el entorno, de una manera amigable y consciente de alterar lo menos posible las condiciones naturales. De este modo es posible garantizar la preservación de los ecosistemas existentes, resguardar recursos naturales y dotar al usuario de una sensación confortable.

Es posible definir el confort como la manifestación subjetiva del ser humano al estado de conformidad con el ambiente en que se encuentra. En cuanto al confort térmico, se puede decir que es relativo, pues depende directamente de la actividad que desarrolla el sujeto en el instante que hace uso del espacio edificado y de la calidad del clima externo. No obstante, se puede definir por los siguientes parámetros: ambientales, personales y arquitectónicos.

Ya que se ha mencionado la importancia del factor clima dentro del confort térmico, se señala también como la alteración de sus agentes condicionan las características atmosféricas en cada región. Por tal motivo es posible concluir como el clima incide dentro del comportamiento de los elementos que componen la envolvente de la vivienda.

Para el desarrollo de este capítulo se han identificado, en primer lugar, las maneras en que el calor es transmitido a través de los cuerpos con diferencia térmica (conducción, convección y radiación) y en segundo, cómo los flujos de calor inciden en las edificaciones. Seguidamente, se destaca al elemento arquitectónico de la ventana como parte de la envolvente de la edificación que determina las condiciones ambientales interiores de la misma, y que a su vez son influenciados por los flujos de calor por transmisión y los aportes solares directos. Por último, se determina que, desde que se tiene conocimiento histórico sobre la vivienda cuencana, ésta siempre respondió a criterios bioclimáticos de adaptación, reflejada en la forma y disposición de superficies acristaladas en las fachadas. No obstante, la llegada de nuevas tendencias en construcción ha hecho que estos elementos se vieran modificados y evolucionaran hasta la ocupación total de este elemento en la fachada como es posible observar hoy en día.

La ventana es un mecanismo arquitectónico bastante sensible a las alteraciones climáticas del sitio. Tal como se discutió en el capítulo anterior, este elemento es de fundamental importancia para el comportamiento térmico interior de un espacio, puesto que constituye una fuente de captación de radiación solar directa y una zona de débil transmisión de energía de la envolvente. El buen o mal manejo de este elemento hará posible disminuir los niveles de calefacción en invierno, o incrementar el nivel de enfriamiento durante el ciclo caliente del verano.

En este capítulo se conceptualizó lo referido al funcionamiento térmico de la ventana y el papel que desempeñan las características intrínsecas del vidrio. Además, se definió como la morfología de este elemento puede incidir en el comportamiento térmico interior. Finalmente, se revisaron las pautas que se están siguiendo en la zona de estudio en base al elemento de la ventana con el fin de garantizar el confort al interior del recinto.

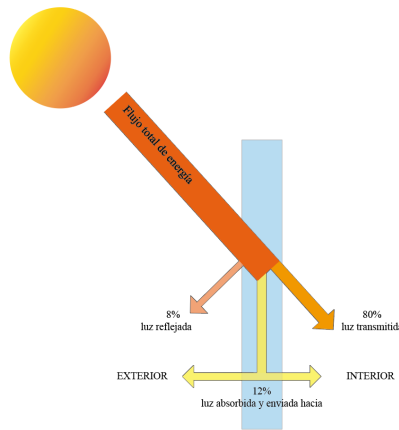
## 2.1. Funcionamiento térmico de la ventana

El funcionamiento térmico de la ventana se puede explicar en base a cada una de las propiedades del vidrio. En este sentido, la superficie permite el paso de una parte de la radiación solar captada, otra parte es reflejada y el resto es absorbida para posteriormente ser reenviada al exterior y al interior según el régimen relativo de temperaturas ([Calvo Busello, 1995](#)).

Considerando como referencia un vidrio sencillo, de acuerdo a [Iturriaga Torres \(2008\)](#) este material tiene la capacidad de transmitir al interior el 80 % de la radiación solar que llega a la superficie, reflejar el 8 % y el 12 % restante es absorbida e irradiada hacia el exterior y hacia el interior.

Cada uno de estos flujos influyen en gran medida en el comportamiento térmico del espacio interior, y a su vez, estos están condicionados por ciertas características de la propia superficie vidriada, como la reflectividad, emisividad y transmitancia solar. (Ver [figura 2.1](#))

FIG. 2.1: Comportamiento térmico de la ventana.



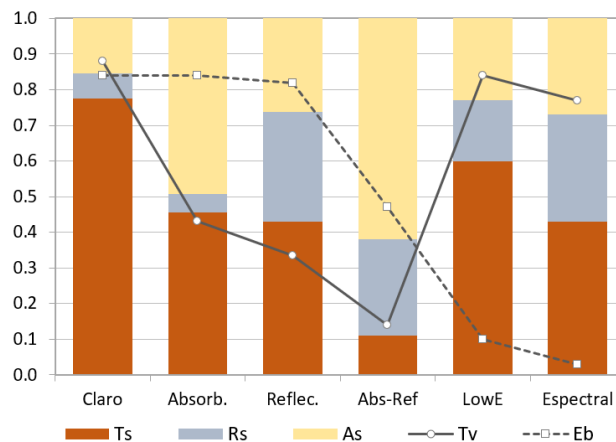
Fuente: Elaboración propia a partir de Calvo Busello (1995)

### 2.1.1. Reflectividad solar

Consiste en el reflejo que tiene la radiación solar captada en base a la opacidad que tiene el material. En la figura 2.1 se mencionó que al menos un 8% de la luz captada es reflejada en un vidrio claro. Por tal motivo, se puede decir que en cuanto más opaco sea un elemento, menos luz atravesará su superficie pues ésta será irradiada hacia el exterior. Es así que, en la figura 2.2 se presentan seis tipos de vidrio existentes en el mercado. El indicador **Rs** representa la cantidad de la radiación solar reflejada, **As** de la absorbida y **Ts** de la transmitida. Por otra parte, las líneas punteada y continua representan el nivel de luz emitida y transmitida, respectivamente.

De ello, se deduce que en cuanto mayor sea el porcentaje de **Rs** menor será el de **Ts**. Esto se ve explícito en la figura 2.2 en la columna de vidrio *Reflec.* y *Abs-Ref* donde sus superficies han sido tratadas específicamente para este fin.

FIG. 2.2: Comparación de tipos de vidrio.

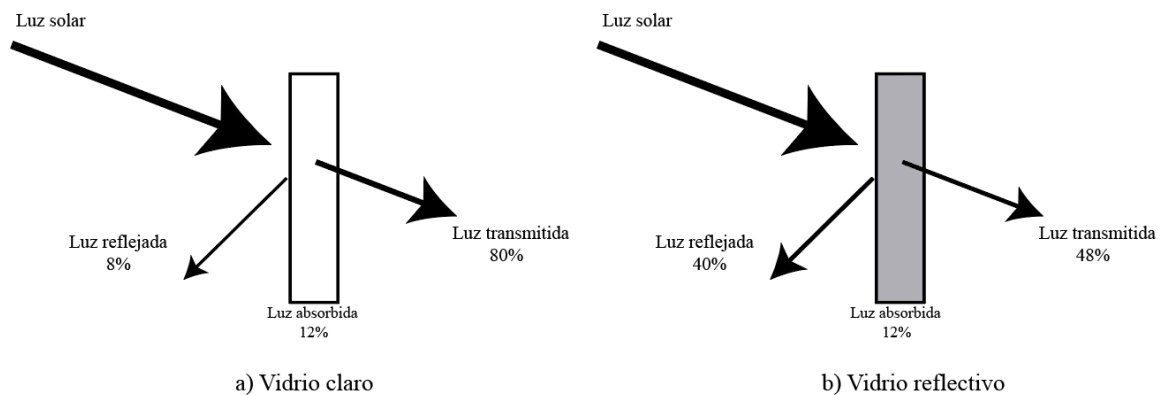


Fuente: Seguí (2015)

Por este motivo, los vidrios reflectivos fueron concebidos con el fin de aumentar la reflectividad de radiación solar hacia el exterior, reduciendo de esa manera la radiación transmitida y absorbida por el propio vidrio.

De este modo, usado como estrategia bioclimática, el vidrio reflectivo permite captar la energía y luz solar al mismo que la refleja para garantizar un estado de confort térmico dentro del recinto. En otras palabras, como se indica en la figura 2.3, un vidrio claro o normal permite que al menos un 80 % de la radiación solar ingrese a la vivienda. Por otra parte, el vidrio reflectivo expulsa parte de la radiación hacia el exterior, dejando ingresar lo necesario para mantener las condiciones confortables dentro de la edificación.

FIG. 2.3: Vidrio claro y reflectivo.



Fuente: Elaboración Propia

### 2.1.2. Transmitancia térmica U

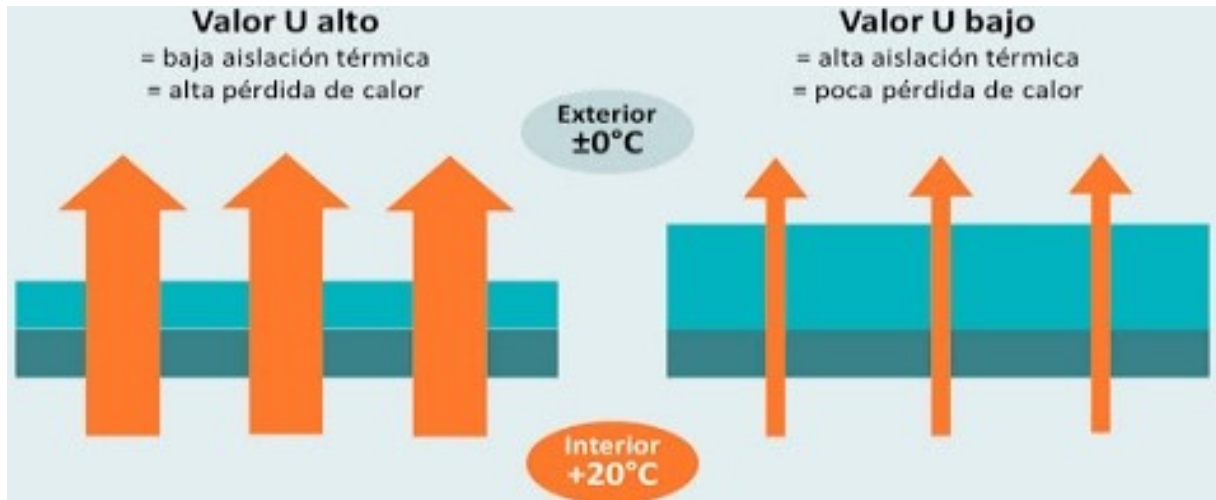
Se refiere al flujo de energía calórica que atraviesa un objeto de lado a lado, medido por unidad de superficie y por la variación de temperaturas entre los extremos del mismo  $W / (m^2 \cdot K)$ , Watt por metro cuadrado por grado Kelvin (Muñoz Gómez, 2017).

La cantidad de energía que pueda pasar de adentro hacia fuera o viceversa dependerá justamente de la transmitancia térmica (U) del vidrio. Ya se explicó que un vidrio claro permite que al menos un 80 % de la luz captada sea transmitida al interior de la vivienda.

En este sentido la transmitancia térmica de una ventana determina la cantidad de calor que se intercambia entre dos ambientes, siempre del lado caliente hacia el frío. Mientras menor transmitancia térmica tenga la ventana menor será este intercambio energético y más eficiente será la ventana. Es por ello que, diversos estudios a lo largo de los años han buscado reducir el intercambio energético existente en la vivienda a través de la modificación del valor U de la ventana. Tal como expresa la figura 2.4, un vidrio sencillo con un valor de U alto no posee un suficiente factor de aislamiento térmico por lo tanto la pérdida

de calor del interior al exterior es alta. Por el contrario, un vidrio de baja transmitancia térmica  $U$  se considera un material aislante y que consecuentemente reducirá las pérdidas de calor (Calvo Busello, 1995).

FIG. 2.4: Diferencias entre Valor  $U$  alto y bajo.



Fuente: Blender (2015)

El valor de  $U$  en el vidrio es de  $5,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  si se refiere a uno monolítico o sencillo. Sin embargo, diferentes tratamientos y modificaciones han conseguido que este valor se vea reducido con el fin de disminuir tanto la captación solar del día, así como el proceso de enfriamiento en la noche. Es así que hoy en día es posible encontrar tipologías de vidrio como:

a) **Doble acristalamiento:** Compuesto por dos láminas o capas de vidrio transparentes y en su interior una cámara de aire seco que funciona como aislante. El uso de dicha cámara reduce el valor de  $U$  a  $3,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  si es que ésta posee al menos un espesor de 10mm.

b) **Vidrio de baja emisividad:** Lámina de vidrio cuya superficie ha sido tratada con la colocación de una capa de óxidos metálicos, de este modo el material incrementará su capacidad aislante (IDAE, 2007). Reduciendo así el valor de  $U$  a  $1,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  con una cámara de aire de 10mm.

### 2.1.3. Emisividad

Es una característica de la superficie de los cuerpos cuya capacidad es emitir calor. En el caso del vidrio, si este se calienta, su alto valor emisivo puede hacer que se enfríe rápidamente. Por el contrario, si el valor emisivo es bajo, el vidrio se enfriará lentamente (Iturriaga Torres, 2008).

Cuanta más baja sea el valor de emisividad, menor será la transferencia de calor por

radiación. Un vidrio sencillo tiene una emisividad normal de 0,89. Por el contrario, si la superficie es tratada con una capa de óxidos metálicos su valor puede alcanzar hasta valores inferiores a 0,10. Por lo tanto, el tratamiento de superficies acristaladas para lograr un factor de baja emisividad aporta a la reducción de pérdidas energéticas al modificar directamente el valor de U de ésta.

## 2.2. Estrategias para reducir el enfriamiento interior mediante la ventana

La tecnología que rodea a las ventanas se ha visto en la necesidad de evolucionar con el fin de conseguir el mayor aislamiento térmico con las mejores propiedades térmicas, económicas y de visibilidad posibles (Muñoz Gómez, 2017).

Dentro de este apartado se mostrarán estrategias por una parte en función a las propiedades del material del vidrio, y por otra parte, a las propiedades morfológicas del mismo. Considerando como finalidad la captación máxima de radiación solar y al mismo tiempo impedir las pérdidas de la misma pues se trabajará posteriormente en un clima frío.

### 2.2.1. Doble acristalamiento o unidad de vidrio aislante (UVA)

Un vidrio sencillo tiene una gran capacidad para transmitir la radiación solar, con un valor de  $U = 5,70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  permite que el calor acumulado por absorción sea cedido fácilmente a la zona fría del exterior (Calvo Busello, 1995).

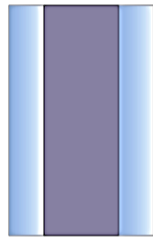
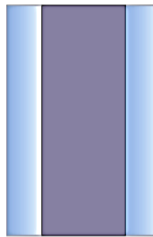
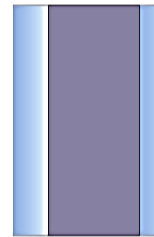
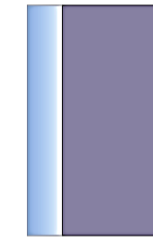
Teniendo en cuenta las características propias del vidrio sencillo, se creó un tipo de cerramiento con el fin de reducir el problema anterior. Aprovechando las propiedades térmicas del aire u otro gas seco y en reposo al estar desecadas y confinadas, y teniendo al vidrio como contenedor de las mismas, apareció el doble acristalamiento (Olivares y Olmo, 1994).

Esta tipología de cerramiento consta de dos superficies de vidrio separadas por una cámara de aire, misma que disminuye fuertemente la transmitancia térmica de la ventana al reducir su valor de U dependiendo del espesor de dicha cámara.

En la figura 2.5 se demuestra como este modelo de acristalamiento sólo puede mejorar sus valores de aislamiento térmico con el aumento del espesor de la cámara de aire. Misma que no puede superar los 12 mm por motivos de efectividad (Marco, Uliaque, y Villuendas, 2001).

Una cámara de aire de 6mm puede reducir el U de  $5,70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  (vidrio simple) a  $3,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Pero si el valor de esta se incrementa a 8, 10 y 12mm la transmitancia térmica se reduce a 3,1; 3 y  $2,9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , respectivamente.

FIG. 2.5: Variación de U en base al espesor de cámara de aire.

Composición	Espesor (mm) Vidrio - Cámara de Aire - Vidrio			
	4 - 6 - 4	4 - 8 - 4	4 - 10 - 4	4 - 12 - 4
				
U (W/m <sup>2</sup> * K)	3,3	3,1	3,0	2,9

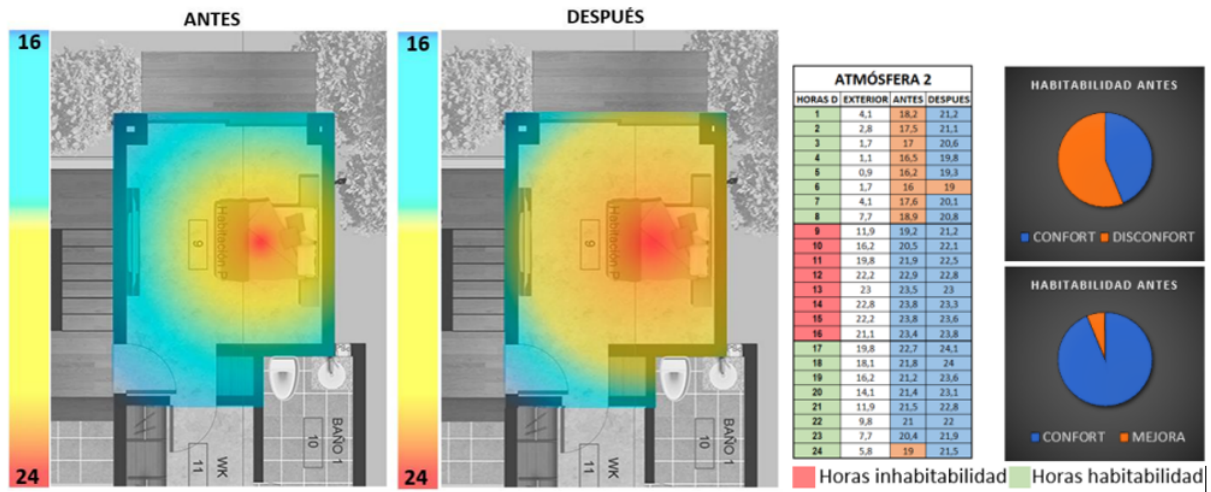
Fuente: Elaboración propia a partir de IDAE (2007)

Existen estudios que muestran como el implemento del doble acristalamiento consigue mejorar las condiciones térmicas al interior de la vivienda en diversos lugares del mundo, los cuales se detallan a continuación:

**a) Estudio en Bogotá:** Este estudio realizado en la sabana de Bogotá-Colombia por Mazutis Forero (2018) reveló que los habitantes perciben una condición de inconformidad con el clima. Este hecho ha conllevado a la utilización de sistemas de calefacción artificial, generando un aumento en el consumo energético al 60%. Este proyecto propuso una alternativa para mejorar el confort térmico en el interior de la vivienda y disminuir el consumo energético a partir del doble acristalamiento.

Para llevar a cabo dicho estudio, Mazutis Forero (2018) ha clasificado horarios de la vivienda como habitables e inhabitables. Siendo las primeras aquellas comprendidas entre las 12h00 hasta las 08h00 y de 17h00 a 24h00. En las simulaciones térmicas se demostró que diferentes espacios de la casa o atmósferas presentan disconfort térmico, previo al implemento del doble acristalamiento. Este estado es perceptible en ocho de las 16 horas promedio habitables es decir el 56,25% del tiempo total. Sin embargo, luego del implemento del doble acristalamiento se logró obtener temperaturas de confort entre 93,75% y 100% del tiempo habitable. Como se muestra en la figura 2.6, la temperatura de una de las atmósferas analizadas logró pasar de 16°C a 24°C en la mayor parte de la superficie habitable.

FIG. 2.6: Gráfico analógico de la mejora térmica una de las atmósferas estudiadas antes y después.



Fuente: Imagen tomada de Mazutis Forero (2018)

b) **Estudio en Madrid:** Por otra parte, en 2017 se señalaron valores promedio de temperaturas en invierno y verano, 4°C y 32°C respectivamente, definiendo así sensaciones de inconformidad térmica en los habitantes de la ciudad de Madrid-España. Motivo por el cual este trabajo buscó la implementación de la estrategia de doble acristalamiento en superficies vidriadas con el fin de alcanzar temperaturas confortables al interior de la vivienda. Dichos valores se estiman entre los 20°C para la temporada de invierno y 26°C en verano (Sánchez, 2017).

Mediante simulación digital se pudo observar como el implemento de la fachada de doble piel o doble acristalamiento pudo estabilizar la temperatura al interior de la vivienda a 20,68°C en la temporada de invierno, mejorando así la sensación térmica de los usuarios y aportando al ahorro energético en un 70 %. Mientras que, para la temporada de verano, el ahorro del consumo por refrigeración es de 65,1 %. Para las dos situaciones el autor recomienda una dimensión de cámara de aire correspondiente a una esbeltez de  $A=30$  ( $A=$  alto de cámara/ancho de cámara) (Sánchez, 2017).

### 2.2.2. Vidrio de baja emisividad

Se conocen como vidrios bajo emisivos a aquellos en que una de sus caras ha experimentado un tipo de tratamiento ya sea con sales, óxidos o metales nobles, proporcionando así mayor aislamiento térmico.

Un vidrio de baja emisividad permite que la radiación solar captada no sea irradiada con tanta facilidad y rapidez. Este tratamiento permite disminuir el coeficiente de emisividad propio del vidrio normal o sencillo (0,9) sin perder la transmisión luminosa (Olivares y Olmo, 1994). (Ver figura 2.7)

La creación de los vidrios de baja emisividad fue posible mediante el procedimiento de pulverización catódica reactiva bajo vacío, mismos que, presentan una emisividad de 0,1 en la cara tratada frente al 0,9 de la cara sin tratar, sin alterar su transparencia ni su transmisión luminosa (Calvo Busello, 1995).

FIG. 2.7: Vidrio de baja emisividad.



Fuente: Morn (2019)

Los siguientes estudios muestran como el implemento del vidrio de baja emisividad consigue mejorar las condiciones térmicas al interior de la vivienda en diversos lugares del mundo.

**a) Estudio en México:** En 2009 se realizó un modelo físico para el cálculo de la temperatura al interior de una estructura para comprobar la eficacia de los vidrios de baja emisividad. Para ellos se utilizaron vidrios Low-e, Sun-e y Normales (Almendárez Méndez, 2009).

Para llevar a cabo la experimentación se realizaron cajas de prueba, mismas que representan un cuarto a escala, y a las que se podrán asignar diferentes tipos de vidrios y orientación a más de la factibilidad exponerlas al aire libre. Con el fin de obtener datos certeros fue necesario tomar varias muestras de un mismo proceso, para ello se generaron tres cajas de prueba y se colocaron tres sensores en una misma caja de manera que los tres arrojen el mismo resultado. Posteriormente, a las 48 horas de medición, fueron retirados y colocados en la segunda caja otras 48 horas. Finalmente, los sensores fueron retirados y colocados en la última caja.

El experimento realizado entre las cajas con vidrios Low-e (1) y Normal (2) reveló que las temperaturas varían en cada una de ellas. En la caja 1 se obtuvo un valor de  $3,7^{\circ}$ , mientras que en la caja 2 se tuvo  $4^{\circ}$  en días parcialmente nublados. Por otra parte, en días soleados se obtuvo una variación de  $4,1^{\circ}$  en la caja 1 y  $4,7^{\circ}$  en la caja 2.

Finalmente se concluyó que, la caja con vidrio normal se calienta más rápido y adquiere una mayor temperatura que la caja del vidrio low-e, sin embargo, al momento de enfriarse, esta también se enfría más rápidamente.

**b) Estudio de Barcelona:** Un caso similar fue realizado por Lymperopoulou (2012), en donde se planteó como objetivo comparar la eficiencia energética entre los vidrios normales, de baja emisividad y los vidrios dinámicos en un edificio de oficinas ubicado en

Barcelona-España. El estudio abordó tres tipologías de vidrios, sin embargo, este resumen recopilará los valores obtenidos únicamente de dos: normales y de baja emisividad. Mediante el programa Ecotect se elaboró el modelo de referencia en tres dimensiones.

Además de dicho modelo, fueron modelados los edificios vecinos para observar el impacto que tienen al edificio de referencia. Seguidamente fueron definidas entre otras, las temperaturas de consigna de la calefacción y de la refrigeración, así como los horarios de ocupación de las zonas, para posteriormente llevar a cabo el proceso de simulación digital a través del programa *Desing Builder*.

Finalmente, los resultados revelaron que la eficiencia del vidrio de baja emisividad es superior en un 18 % ante el vidrio normal ya que con la implementación del primero es posible ahorrar recursos energéticos relacionados con la disminución del uso de iluminación, ventiladores, calefacción en invierno y refrigeración en verano.

### 2.2.3. Proporción ventana pared

El hueco de la ventana, desde el punto de vista bioclimático, ha sido estudiado por varios autores durante muchos años, específicamente se ha partido de la incidencia de esta en la arquitectura vernacular ([Larrumbide y Bedoya, 2015](#)). Es así como este elemento, responsable de la calidad del ambiente interior, pasó de ser un objeto de estudio en base a la orientación, color y materialidad sino más bien a ser discutido en calidad de su tamaño y geometría. El impacto que tiene la configuración geométrica y proporcional del acristalamiento en una pared puede variar en cuanto a aspectos como la distribución y la cantidad.

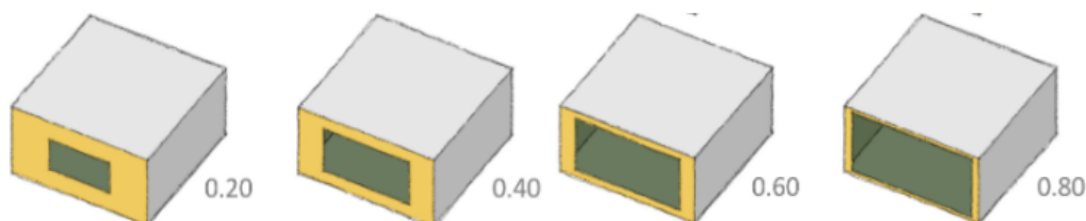
La distribución hace referencia a la repartición de superficie acristalada por cada fachada de la vivienda o edificación. En este aspecto es importante conocer la incidencia de la radiación solar en el lugar de emplazamiento, así como también la calidad del clima interior que se desea. En otras palabras, la orientación de una superficie acristalada varía de acuerdo al entorno exterior y como esperamos que este afecte o no el confort interior ([Olivares y Olmo, 1994](#)).

La cantidad no es más que el total de superficie acristalada en cada fachada de la vivienda. El tamaño de la apertura que acogerá el material acristalado condicionará el ambiente interior en varios aspectos. Es así que: entre mayor sea la superficie acristalada, también será mayor la captación de luz natural. Pero al mismo tiempo serán mayores los sobrecalentamientos en el día y las pérdidas de este calor en las noches ([Olivares y Olmo, 1994](#)). En este trabajo se abordó el aspecto de cantidad.

Si se habla de cantidad de superficie acristalada es importante contextualizarla en base a la cantidad de material opaco o pared. La relación existente entre la superficie de ventana contenida en una pared se conoce como proporción ventana-muro o Window to Wall Ratio (WWR).

La proporción de ventana en una pared se obtiene de dividir el área específica del acristalamiento para el área total del muro. A continuación, la figura 2.8 muestra 4 espacios con un mismo volumen. Sin embargo, el WWR es variable en los cuatro casos.

FIG. 2.8: Proporción ventana-muro.



Fuente: Ordóñez (2021)

Muchos autores han estudiado la proporción ventana/muro consiguiendo algunos resultados que se explican a continuación:

**a) Estudio en Europa central:** En el año 2017 se realizó un estudio encaminado a buscar el tamaño óptimo de la superficie de la ventana, con el fin de obtener un mínimo consumo de energía. Para ello se consideraron variables como el clima, características térmicas de la envolvente del edificio y la potencia eléctrica de iluminación instalada (Marino, Nucara, y Pietrafesa, 2017).

En la búsqueda de la relación existente entre la WWR con el consumo energético en los edificios, se define que: para obtener una fachada altamente aislada en un clima representativo de Europa central, el estado de confort térmico y lumínico se logra cuando la WWR está en el rango de 0,35-0,45, independientemente de la orientación.

**b) Estudio en Ecuador:** en el 2018 han realizado un estudio de confort térmico en edificaciones ecuatorianas, específicamente en Quito y Babahoyo, mismo que, planteó una serie de cualidades térmicas y delimitó la influencia que tienen los elementos de la envolvente en el confort térmico en la edificación (Ledesma Hidalgo y Rivera Lara, 2018).

Encuestas realizadas revelaron que el rango de confort percibido no coincide con los estándares establecidos. Por tal motivo se llevó a cabo una serie de simulaciones dinámicas con el fin de conocer el desempeño energético de las edificaciones y el impacto que tienen las variables arquitectónicas, entre ellas la apertura de los vanos. Los resultados previos a la implementación de estrategias arquitectónicas determinaron que el edificio ubicado en Quito logra un confort térmico del 70 %. Mientras que la edificación de Babahoyo alcanza un valor del 64 %.

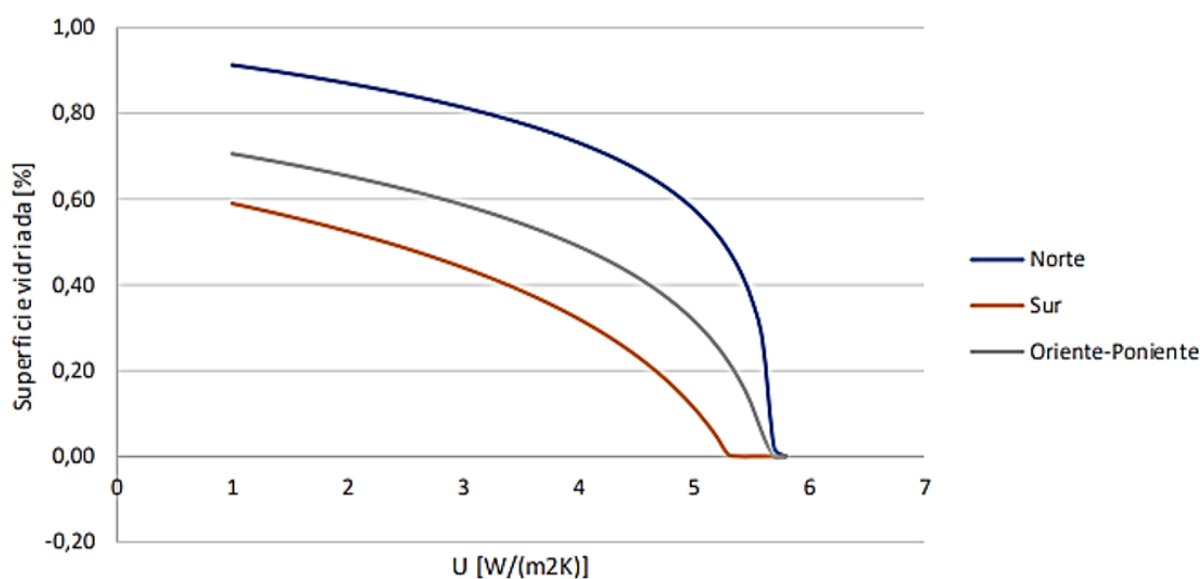
Cabe mencionar que los edificios seleccionados para el estudio son iguales en capacidad de alojamiento, infraestructura y demás. Las ventanas de estos edificios son modulares con un WWR de 0,34 en la fachada exterior. Basado en el número de horas en estado de confort se pudo determinar un índice adecuado de apertura de vanos. En Quito el confort térmico aumenta proporcionalmente de 70 % a 95 % con el área de ventanas. Por ello se recomienda un WWR de 0,65 en ventanas exteriores, con orientación Este-Oeste.

En Babahoyo, con un WWR de 0,26; se consigue elevar el porcentaje de confort térmico de 64 % a 80 %. A su vez la orientación recomendada es Noroeste-Sureste.

**c) Estudio en Chile:** En la zona metropolitana de Chile, Díaz (2017) llevó a cabo un estudio que buscó generar recomendaciones y alternativas que logren disminuir el sobrecalentamiento en las viviendas de la zona. Para ello, se trabajó en la revisión de la reglamentación térmica nacional y en la simulación del comportamiento térmico de un recinto. Para la obtención de resultados certeros, se aplicaron distintas variables entre ellas la orientación y el tamaño de la ventana, con el fin de encontrar la cantidad óptima de superficie acristalada para mantener el confort.

En primera instancia se revisó la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) de Chile, misma que es encargada de reglamentar los requisitos de acondicionamiento térmico en las viviendas y que a su vez subdivide las zonas climáticas del país para posteriormente emitir normativas. La línea de estudio corresponde a la zona climática D, para la cual define los siguientes porcentajes de superficie vidriada. (Ver figura 2.9)

FIG. 2.9: Porcentaje máximo de vidrio para Zona Térmica D.



Fuente: Imagen tomada de NTM 011/2. Citado en Díaz (2017)

Seguidamente se escogió una zona de estudio dentro de una vivienda tipo que presentara un mayor nivel de sobrecalentamiento, en este caso un dormitorio. Para esta tarea se han generado modelos de estudio en donde la orientación y WWR han sido variables para encontrar la superficie de ventana que impida que los valores de temperatura interior superen los 26°C. Es así como posterior a la simulación digital se obtienen los siguientes resultados: para una edificación con muros de ladrillo se recomienda un WWR máximo de 0,1 al Norte, 0,13 al Sur y 0,08 al Este y Oeste, ya que el aumento de temperatura se debe al aumento de la superficie vidriada, pues automáticamente aumentan las ganancias por radiación solar por esta superficie (Díaz, 2017).

**d) Estudio en España:** En la zona mediterránea española, cuyas variaciones climáticas son considerables, se ha realizado un estudio que plantea definir la apertura máxima de huecos de ventana que permitieran alcanzar una amplia incidencia solar en el invierno y una mínima durante verano. Para ello [Larrumbide y Bedoya \(2015\)](#), llevaron a cabo una serie de comparaciones en viviendas vernáculas.

Debido a que el invierno es moderado y el verano es más riguroso, la envolvente arquitectónica posee huecos de ventana amplios, favoreciéndose con ello la captación solar. Obteniendo así valores de WWR máximos de 0,11 para la fachada sur. Desde un punto de vista general, se observó que el tamaño del vano de ventana debe ser más reducido conforme vaya reduciendo el valor de la latitud.

En la figura 2.10 se resumen los valores de WWR recomendados por cada uno de los estudios realizados alrededor del mundo.

FIG. 2.10: Resumen de WWR de los casos mencionados.



Ubicación	Norte	Sur	Este	Oeste
Europa central	0,35 - 0,45	0,35 - 0,45	0,35 - 0,45	0,35 - 0,45
Quito	0,34	0,34	0,65	0,65
Babahoyo	0,34	0,34	0,26	0,26
Chile	0,1	0,13	0,08	0,08
Barcelona	< 0,11	0,11	< 0,11	< 0,11

Fuente: Elaboración Propia

### 2.3. Normas aplicadas a la zona de estudio

Antes de recopilar información de la normativa que rige la tipología y dimensionamiento de superficies vidriadas es importante conocer las condiciones del sitio de estudio. Para ello la norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) para la Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales (EE) ha subdividido las regiones y provincias del país con el fin de asignar a cada una de ellas la zona climática de acuerdo a sus características atmosféricas. De este modo, se ha definido a la ciudad de Cuenca como perteneciente a la zona climática 3 Continental Lluviosa. (Ver figura 2.11)

FIG. 2.11: Zonas climáticas de algunas ciudades del Ecuador

Provincia	Ciudad	Zona climática	ZONA CLIMÁTICA (Ecuador)	ZONA CLIMÁTICA (ASHRAE 90.1)	NOMBRE	CRITERIO TÉRMICO			
<b>REGIÓN COSTA</b>									
El Oro	Machala	Húmeda muy calurosa	1	1A	HÚMEDA MUY CALUROSA	5000 < CDD10°C			
	Zaruma	Húmeda muy calurosa							
	Santa Rosa	Húmeda muy calurosa							
Esmeraldas	Esmeraldas	Húmeda muy calurosa		2			2A	HÚMEDA CALUROSA	3500 < CDD10°Cs 5000
	Quinindé	Húmeda muy calurosa							
Guayas	Guayaquil	Húmeda muy calurosa		3			3C	CONTINENTAL LLUVIOSA	CDD10°Cs 2500 y HDD18°C ≤ 2000
	Balzar	Húmeda muy calurosa							
Los Ríos	Babahoyo	Húmeda muy calurosa	4	4C	CONTINENTAL TEPLADO	2000 < HDD18°Cs 3000			
	Quevedo	Húmeda muy calurosa							
Manabí	Puerto López	Húmeda muy calurosa	5	5C	FRÍA	CDD10°Cs 2500 y HDD18°C ≤ 2000 2000 < HDD18°C ≤ 3000 3000 m < Altura (m) ≤ 5000 m			
	Portoviejo	Húmeda muy calurosa							
	Manta	Húmeda muy calurosa							
	Chone	Húmeda muy calurosa							
Manabí	El Carmen	Húmeda muy calurosa	6	6B	MUY FRÍA	CDD10°Cs 2500 y HDD18°C ≤ 2000 2000 < HDD18°C ≤ 3000 5000 m < Altura (m)			
	Pedernales	Húmeda muy calurosa							
<b>REGIÓN SIERRA</b>									
Azuay	Cuenca	Continental lluviosa							

Fuente: NEC (EE), 2018

Acto seguido, se ha revisado la Norma Ecuatoriana de la Construcción para construcciones con vidrio (NEC-HDVIDRIO) la cual establece que, las ganancias de calor surgen cuando la temperatura interior es más baja que la exterior; caso contrario, cuando la temperatura exterior es más baja que la interior, habrá pérdidas de calor.

Ante ello la, NEC (EE) establece exigencias con requerimientos mínimos en base a los materiales con los que se va a construir la envolvente de la edificación. En ella se detallan las características específicas con las que contarán espacios habitables y no habitables. En este sentido, se determina que los elementos traslucidos o ventanas deben mantener valores de U y coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC) explícitos en la misma. En el caso de la zona climática 3 del Ecuador, la NEC (EE) recomienda que la calidad de la superficie acristalada tenga un valor de (U) menor a 3,69 W/m<sup>2</sup>K para un espacio climatizado, y para un espacio no climatizado menos a 5,78 W/m<sup>2</sup>. (Ver figura 2.12)

FIG. 2.12: Requisitos de envolvente para la 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		
<b>Techos</b>	U-0.273	R-3.5	U-2.9	R-0.89	U-4.7	R-0.21
<b>Paredes, sobre nivel del terreno</b>	U-0.592	R-1.7	U-2.35	R-0.36	U-5.46	NA
<b>Paredes, bajo nivel de terreno</b>	C-6.473	NA	C-6.473	NA	C-6.473	NA
<b>Pisos</b>	U-0.496	R-1.5	U-3.2	R-0.31	U-3.4	NA
<b>Puertas opacas</b>	U-2.839	NA	U-2.6			
<b>Ventanas</b>	<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>
<b>Área translúcida vertical <math>\geq 45^\circ</math></b>	U-3.69	SHGC-0.25	U-5.78	SHGC-0.82	U-6.81	NA
<b>Área translúcida horizontal <math>&lt; 45^\circ</math></b>	U-6.64	SHGC-0.36	U-6.64	SHGC-0.36	U-11.24	NA

Fuente: NEC (EE), 2018

Finalmente, la NEC (EE) establece que, el área total de superficies acristaladas verticales deberá ser menor que el 40 % del área neta del muro, es decir con un valor WWR 0,4. No obstante, este enunciado no diferencia a cada una de las zonas climáticas del país ni a la orientación, por lo que es necesario estudios independientes tanto para las diferentes regiones y los microclimas de cada ciudad. (Ver tabla 2.1)

Tabla 2.1: Adaptación del valor WWR para el Ecuador sin distinción de clima y orientación.

	Norte	Sur	Este	Oeste
<b>Ecuador</b>	0.4	0.4	0.4	0.4

Fuente: NEC (EE), 2018. Elaboración Propia

### 2.3.1. Normativa local

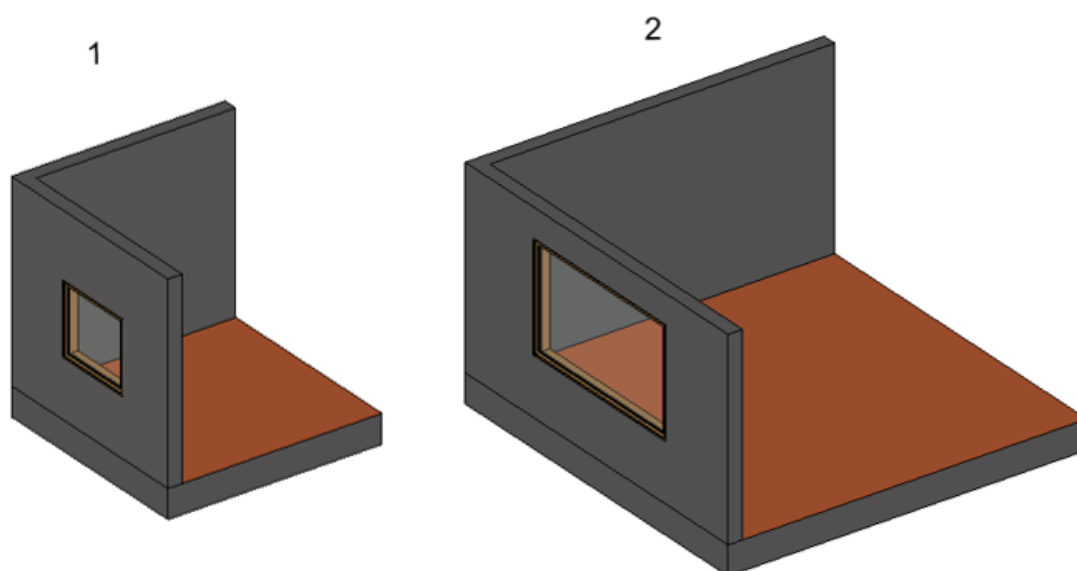
La Ordenanza que aprueba el Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca, en sus normativas para el uso y ocupación del suelo urbano busca avalar las condiciones de habitabilidad, seguridad y confort de los usuarios. Para ello, las normas arquitectónicas establecidas en el Anexo N°11 de la mencionada ordenanza señalan que: toda estancia habitable deberá contar con un sistema de iluminación y ventilación a través de huecos o aperturas que capten aire y luz de forma directa.

Ante esto, dicha normativa dispone que, el tamaño de la ventana para iluminación deberá tener una superficie de al menos un 15 % del total del área del piso de la respectiva habitación. Es decir, si la habitación tiene dimensiones de 9m<sup>2</sup> (3m largo x 3m ancho) la ventana deberá poseer un área mínima de 1,15m<sup>2</sup>.

Con el fin de ejemplificar lo mencionado con anterioridad, se procedió a modelar dos

habitaciones. La primera con un piso de  $9\text{m}^2$  y la segunda con uno de  $25\text{m}^2$ . En los dos casos la superficie vidriada corresponde al 15% del área total del piso. Es decir, la habitación 1 posee una ventana de  $1,15\text{m}^2$ , mientras que la habitación 2 posee una de  $3,75\text{m}^2$ . (Ver figura 2.13)

FIG. 2.13: Porcentaje de ventanas en relación a la superficie del piso



Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que tanto la habitación 1 como la 2 tienen la misma altura,  $2,70\text{m}$ , valor estandarizado para viviendas de la ciudad de Cuenca. De ese modo se obtuvieron valores WWR de  $0,14$  y  $0,27$ , respectivamente. Lo cual señala que, a medida que crece horizontalmente un espacio se incrementará también la dimensión de la ventana. Por ello, se deduce que el incremento de tamaño en la ventana está relacionado con la dimensión de la superficie horizontal de la habitación mas no con la altura de la misma. De igual manera la normativa tampoco contempla la orientación de la misma.

## 2.4. Resumen de capítulo

La ventana constituye un elemento de fundamental importancia para el comportamiento térmico al interior de un espacio, motivo por el cual este capítulo se ha enfocado en conceptualizar los aspectos referidos al funcionamiento térmico de la ventana, así como al papel que desempeñan las características intrínsecas del vidrio.

En primera instancia se ha hecho una revisión a las características del vidrio, así como a la capacidad que posee este material para captar la radiación solar, reflejarla, absorberla y posteriormente expulsarla. En este sentido se han identificado flujos que influyen en gran medida en el comportamiento térmico del espacio interior, definidos por las características propias de la superficie vidriada (reflectividad, transmitancia térmica y emisividad).

Al conocer los flujos de calor que se producen a través de las superficies vidriadas, se han recopilado una serie de investigaciones realizadas alrededor del mundo, en las cuales diversos autores han analizado y definido varias estrategias que buscan mantener el espacio interior dentro de un rango de confort a través de estrategias pasivas, es decir con el aprovechamiento de las cualidades tanto de la materialidad de la ventana, así como de las condiciones climáticas externas.

Dentro de las estrategias analizadas que involucran las propiedades del material se ha identificado el uso de métodos que modifican las características propias de un vidrio simple, con el fin de alterar los flujos existentes convirtiendo al vidrio en un elemento funcional a la hora de mantener el espacio interior confortable.

Por otra parte, las estrategias que comprenden características externas involucran directamente a la proporción existente entre ventana y fachada (WWR) así como la orientación. En este sentido diversos estudios han definido que tanto el WWR como la orientación son variables determinantes dentro del estado de confort en un espacio y cuyos valores son relativos para el lugar del planeta en donde se emplace la vivienda.

Finalmente se ha revisado la manera en que el Ecuador ha venido manejando la normativa que regula las dimensiones óptimas de la ventana, teniendo en cuenta que las condiciones climáticas son diferentes en cada una de las regiones. Para ello se han extraído fragmentos tanto de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) para la Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales (EE) así como de la Ordenanza que sanciona el Plan De Ordenamiento Territorial Del Cantón Cuenca, donde fue posible identificar que las normas explícitas no disponen de un eje que disponga una apertura óptima acorde a las condiciones climáticas ni orientación.

## Modelo de Estudio

Una vez comprendido el funcionamiento de la ventana en la arquitectura, el presente capítulo tiene como propósito comprender el comportamiento térmico de este elemento en la vivienda. Para ello, el estudio se rigió en base al impacto de las variables propuestas frente a las condiciones climáticas de la Región Sierra, específicamente de la ciudad de Cuenca.

Con el fin de realizar una serie de experimentos de simulación, se ha hecho uso del software *Design Builder*. Mismo que permite obtener de manera precisa y detallada aspectos relacionados con la eficiencia energética y comportamiento térmico dentro del edificio. Para esto, se consideraron las condiciones climatológicas del sitio, tales como temperatura del aire y radiación solar, así como las propiedades específicas de los materiales utilizados en edificaciones de la ciudad de Cuenca.

Por otra parte, para la obtención de resultados precisos, el archivo climático del software *Design Builder* fue configurado con el formato EPW (Energy Plus Weather) del clima de la zona de estudio, la ciudad de Cuenca. Para llevar a cabo esta configuración, los datos climáticos de la ciudad han sido obtenidos del sitio [Climate.OneBuilding.Org](http://Climate.OneBuilding.Org) (2020).

### 3.1. Definición del espacio a estudiar

Para llevar a cabo el ejercicio de simulación térmica en el interior de una vivienda, se tuvo en cuenta las características aplicadas en la morfología de la envolvente de la misma. Para esto se ha elegido una tipología de vivienda conformada de una planta única por motivos netamente prácticos a la hora de realizar las simulaciones digitales.

La definición de la morfología de la envolvente consideró el elemento de la ventana como principal medio transmisor de energía, por tal motivo, se llevó a cabo el planteamiento de un modelo de estudio basado en una vivienda tipo cuyas fachadas varían en la orientación, proporción y características de las superficies acristaladas. Con ello se buscó definir la variación de las situaciones térmicas interiores en base a la alteración de las condiciones físicas de la ventana y a la alteración de los contextos térmicos exteriores.

El espacio físico sobre el cual se realizaron las simulaciones digitales fue uno de los dormitorios de la vivienda, puesto que es un ambiente de uso continuo y en el que la permanencia es mayor a comparación con el resto de la vivienda (Cordero y Guillén, 2013). Además, la elección de este espacio permite realizar un análisis del comportamiento térmico interior con ocupación en el periodo nocturno y diurno, lo cual implica poder evaluar la influencia de las ganancias y pérdidas de calor que existen a través de la superficie vidriada, y conjuntamente la influencia de la masa térmica.

Para la definición del modelo de estudio se ha tomado como eje regulador la normativa expedida por el Concejo Cantonal de la ciudad de Cuenca (2003), quien regula las dimensiones mínimas para el dimensionamiento de una habitación. El mismo señala que, la superficie mínima de un dormitorio será de  $8,91\text{m}^2$ , con laterales mínimos de 2,70m y 3,30m, un área mínima de closet  $0,72\text{m}^2$  y una altura de piso a cielo raso no menor a 2,20m. Con el fin de establecer el ejercicio de simulación, en condiciones parecidas a las existentes en la ciudad, se ha propuesto un modelo de estudio con las siguientes dimensiones:

El eje X con 3,30m, donde se dispone de una cama de 1,30m de ancho con circulación lateral de 0,70m a cada lado y adicionalmente un closet de 0,6m. Mientras que el eje Y tiene un dimensionamiento de 2,70m, en donde se ha colocado una cama de 1,90m de largo más 0,80m de circulación. (Ver figura 3.1)

El área total de la habitación es de  $8,91\text{m}^2$ , la cual alberga un espacio anexo de closet de  $0,96\text{m}^2$ . Obteniendo así un área neta de habitación de  $7,95\text{m}^2$  y una altura de piso a cielo raso de 2,40m. (Ver tabla 3.1)

Tabla 3.1: Dimensiones de modelo de simulación.

Modelo de Simulación								
Modelo	Dimensión (m)			Área (m <sup>2</sup> )	Área Closet (m <sup>2</sup> )	Área habitación (m <sup>2</sup> )	Dimensión Ventana (m)	
	X	Y	Z				Y	Z
	3,30	2,70	2,40	8,91	0,96	7,95	1,85	1,4

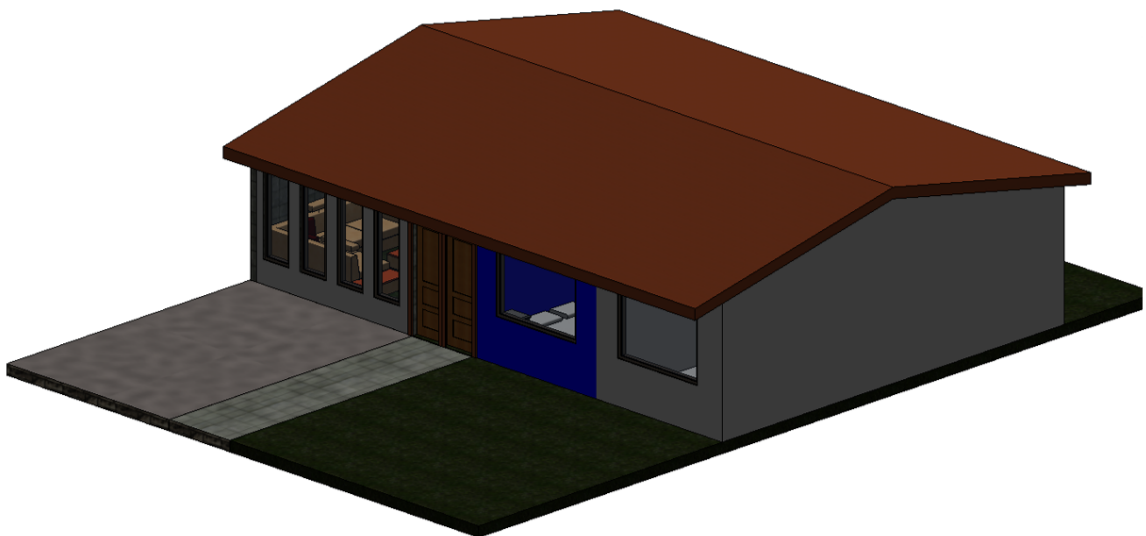
Fuente: Elaboración Propia

FIG. 3.1: Planta de modelo de simulación



Fuente: Elaboración propia

FIG. 3.2: Modelo de estudio 3D



Fuente: Elaboración propia

Los materiales empleados en el modelo mostrado en la figura 3.2 son presentados en la siguiente tabla.

Tabla 3.2: Materialidad de modelo de simulación.

<b>Estructura</b>	<b>Material</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Mampostería</b>	Ladrillo	-Ancho de 12cm -Unido con 2cm de mortero cemento-arena (1:3)
	Enlucido	-Espesor de 1,5 cm -Mortero cemento-arena (1:3)
	Pintura	Espesor 1mm
<b>Cielo raso</b>	Yeso	Espesor 4cm sujetado con alambre galvanizado
<b>Cubierta</b>	Vigas de madera	14 x 7 cm
	Plancha de fibrocemento	Espesor de 5mm
	Teja artesanal	40 x 20 cm
<b>Ventanas</b>	Vidrio	Sencillo de 4mm
	Marcos metálicos	Espesor 4mm
<b>Puertas</b>	Hojas de madera	Madera de pino
	Marcos de madera	Madera de pino
<b>Pisos</b>	Cerámica	Medidas 30x30cm pegadas con 2cm de bondex y 3mm de empuje en las juntas
	Piso flotante	Madera laminada pegada con membrana de telgopor

Fuente: Elaboración propia

## 3.2. Definición de variables

Como se ha mencionado, el clima de Cuenca está caracterizado por las bajas temperaturas, y de acuerdo al ábaco psicométrico de Givonni, la temperatura de la ciudad se encuentra por debajo de la zona denominada como confortable. Por este motivo se destaca la importancia de la configuración de la envolvente de la edificación, en especial la de las zonas acristaladas, puesto que, al ser superficies expuestas directamente con el exterior, son las responsables del intercambio energético afectando el comportamiento térmico interior. En este sentido se relaciona al elemento de la ventana como un factor determinante en la sensación de confort del usuario dentro de la vivienda.

La presente investigación centró su estudio en la definición de las condiciones arquitectónicas de la ventana con el fin de reducir el desconfort térmico interior. Para ello se tomarán parámetros de referencia variables como:

- Orientación de la superficie acristalada
- Proporción ventana – fachada
- Propiedades (U) del vidrio
- Demanda de consumo energético

Con esto se pretende definir la proporción óptima de una ventana con respecto a la orientación de su fachada, con el fin de aportar al aprovechamiento de captación solar durante el día. Y del mismo modo se busca reducir las pérdidas de esta energía durante la noche.

El parámetro que servirá de referencia para evaluar la funcionalidad de cada una de las variables a continuación será la temperatura interior (TI).

### **3.2.1. Orientación**

La primera variable que se tuvo en cuenta hace referencia a la orientación o ubicación de las superficies acristaladas en la fachada de una vivienda, ya sea: Norte, Sur, Este u Oeste. Si bien es cierto, en climas andinos como el de la ciudad de Cuenca es recomendable la disposición de ventanas en fachadas que a lo largo del día reciban la radiación solar directa, es decir, Este y Oeste. No obstante, en la zona de estudio es posible identificar varias edificaciones orientadas de Norte a Sur.

Por este motivo, en este estudio, es fundamental considerar cada una de las orientaciones posibles. Esto permitió determinar condiciones que logren mantener un estado de confort aceptable en la vivienda indistintamente del lugar donde se encuentren ubicadas las superficies acristaladas.

### **3.2.2. Proporción Ventana – Fachada**

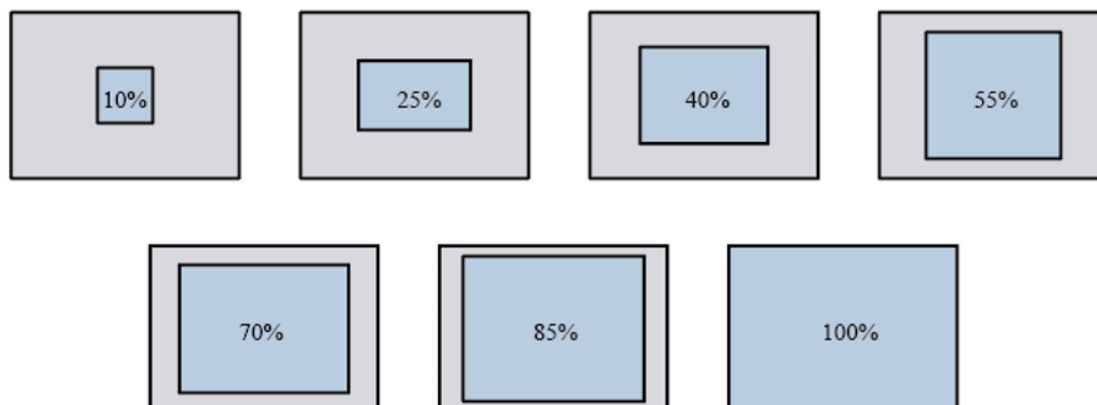
Como se mencionó, se ha estudiado el impacto de la ventana en cada una de las posibles orientaciones. Es por esto que, además de la orientación, un factor importante es la proporción existente entre el hueco de la ventana y la pared.

Como bien se sabe, la ventana es un elemento captador de energía solar y responsable del intercambio térmico entre interior y exterior o viceversa. Por este motivo, entre más amplia sea la superficie acristalada, mayor serán las captaciones de energía y luz solar en el día, pero también será mayor la pérdida de las mismas durante la noche.

En el presente estudio se realizarán pruebas de simulación donde se medirán las alteraciones de la temperatura interior en base a la proporción de las ventanas con respecto a los muros de una vivienda. Para ello, se tomarán proporciones de ventana ubicados en intervalos de 10, 15, 40, 55,70, 85 y 100 %. (Ver figura 3.3)

FIG. 3.3: Proporción Ventana Pared.

### Proporción Ventana-Pared



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3: Proporción variable de ventana fachada.

Área de fachada (m <sup>2</sup> )	Porcentaje de ventana (%)	WWR	Área de ventana (m <sup>2</sup> )	Dimensiones (m) X Y	
(2,7*2,4) = 6,48	10	0,1	0,648	0,8	0,8
	25	0,25	1,62	1,62	1
	40	0,4	2,6	1,85	1,4
	55	0,55	3,56	1,95	1,83
	70	0,7	4,53	2,45	1,85
	85	0,85	5,5	2,62	2,1
	100	1	6,48	2,7	2,4

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3. U del vidrio

La tercera variable a analizar considera las propiedades del vidrio basado en su capacidad de transmitancia térmica. Para ello, las simulaciones digitales se realizaron con distintos tipos de vidrio cuya transmitancia térmica o U corresponda a los valores más comunes en la ciudad de Cuenca. (Ver tabla 3.4)

Tabla 3.4: Proporción variable de ventana fachada.

Tipo de vidrio	Espesor	U (W/m <sup>2</sup> k)
Monolítico o sencillo	4mm	5,70
Doble acristalamiento (cámara de 10 mm)	4mm – 10mm – 4mm	2,80

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.4. Demanda de consumo energético

Finalmente, la cuarta variable a analizar es el consumo energético (CE). Para ello se llevó a cabo una serie de simulaciones digitales con un periodo de tiempo anual con el fin de conocer la cantidad de energía que requiere el espacio para mantener el ambiente interior dentro de un rango de confort. Para esto se analizó el ambiente interior con cada uno de los valores de WWR, descritos previamente, con el fin de determinar qué porcentaje de ventana resulta óptimo. Para el éxito de este estudio se predeterminó el programa de simulaciones *Design Builder* para que éste envíe la orden de activar el aire acondicionado o calefacción cuando la  $T_i$  se encuentre fuera del rango de confort establecido.

## 3.3. Definición de períodos de estudio

Con el fin de observar las alteraciones que presenta la vivienda ante la transición de las variables seleccionadas, se establecen periodos de estudio en los cuales se ha llevado a cabo una serie de simulaciones. Para obtener un resultado acorde a las diferentes situaciones que presenta el clima de la ciudad de Cuenca se ha optado por realizar el experimento en: un día frío y un día promedio. De acuerdo a lo mencionado, el día frío promedio en la ciudad es el 11 de agosto, mientras que el día promedio es el 9 de febrero. Por esta razón, se han definido dos periodos diarios: periodo diurno y periodo nocturno. El periodo diurno corresponde un horario desde 06h00 hasta las 19h00, mientras que en el periodo nocturno se contempla un horario de 19h00 – 06h00. Estos periodos de análisis se utilizaron para analizar la temperatura interior ( $T_i$ ), en base a la morfología variable que representa la ventana en la fachada.

A continuación, se resume en la Tabla 3.5, las variables a estudiar en los períodos de estudio establecidos.

Tabla 3.5: Resumen de variables.

Período de Análisis	Parámetro de Análisis	Modelo de Estudio	Variables				
			Orientación	Proporción	Transmitancia (u)	Consumo energético	
Día frío	Temperatura interior	Acristalamiento en la fachada	Norte	10 %	5,70	Consumo por uso de refrigeración o calefacción	
				25 %			
			Sur	40 %			
				55 %			
			Este	70 %			2,80
				85 %			
Oeste	100 %						
Día promedio	Temperatura interior		Norte	10 %	5,70	Consumo por uso de refrigeración o calefacción	
				25 %			
			Sur	40 %			
				55 %			
			Este	70 %			2,80
		85 %					
Oeste	100 %						

Fuente: Elaboración propia

Tras haber configurado el modelo de trabajo, en esta sección, se muestran los resultados alcanzados después de las simulaciones realizadas en el modelo base. Para ello se han aplicado cada una de las variables explícitas anteriormente. Estos resultados permitieron determinar el comportamiento térmico interior de un recinto habitable, en este caso un dormitorio. La temperatura interior ( $T_i$ ) y el consumo energético (CE) son los parámetros de análisis con los que se evaluó el comportamiento del espacio en cuestión.

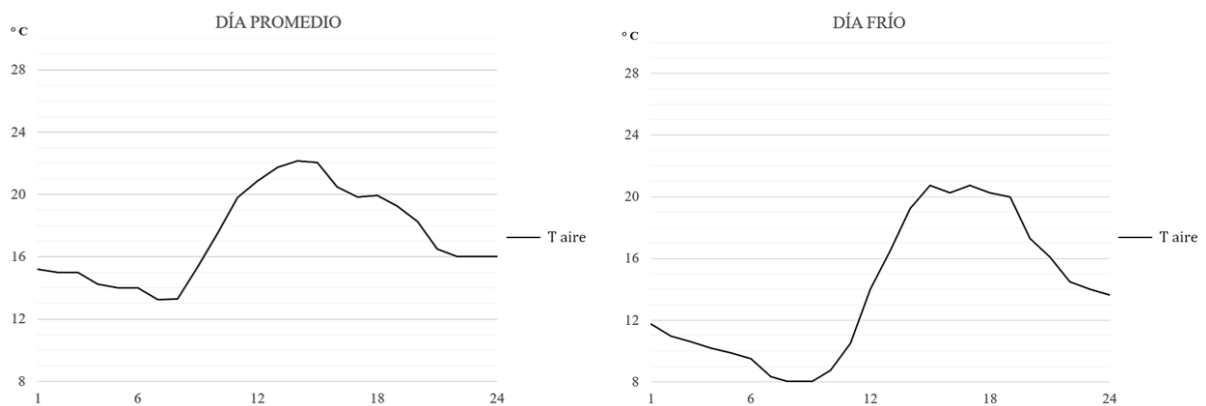
El parámetro TI ha sido evaluado tanto en un periodo diurno como nocturno para cada ambos tipos de clima a analizar: promedio y frío. Por otra parte, el parámetro CE, será evaluado en un periodo anual, con el fin de definir el consumo requerido en el recinto una vez aplicadas cada una de las variables.

## **4.1. Análisis de día promedio y día frío**

Con el fin de estudiar a profundidad las variaciones que experimenta la temperatura interior ( $T_i$ ) de un espacio, en todas las gráficas se toma como referencia el comportamiento de la temperatura del aire exterior ( $T_a$ ).

Mediante los datos recolectados y el archivo EPW se han obtenido las condiciones del día promedio y del día frío. En la figura 4.1 se muestran los valores de temperatura del aire exterior en estos dos días. En donde se identifican temperaturas máximas de 22 °C y 21 °C, y temperaturas mínimas de 13 °C y 8 °C, para el día promedio y el día frío respectivamente.

FIG. 4.1: Temperatura del aire exterior en un día promedio y frío durante 24 horas



Fuente: Elaboración propia, en base a los datos recolectados del EPW de Cuenca

#### 4.1.1. Influencia existente entre la orientación y proporción ventana-fachada (WWR)

En este apartado, se realizó un análisis donde se puso a prueba las variables definidas con anterioridad, la orientación y el WWR. Esto permitió analizar las variaciones térmicas que presenta un dormitorio al alterar cada una de dichas variables.

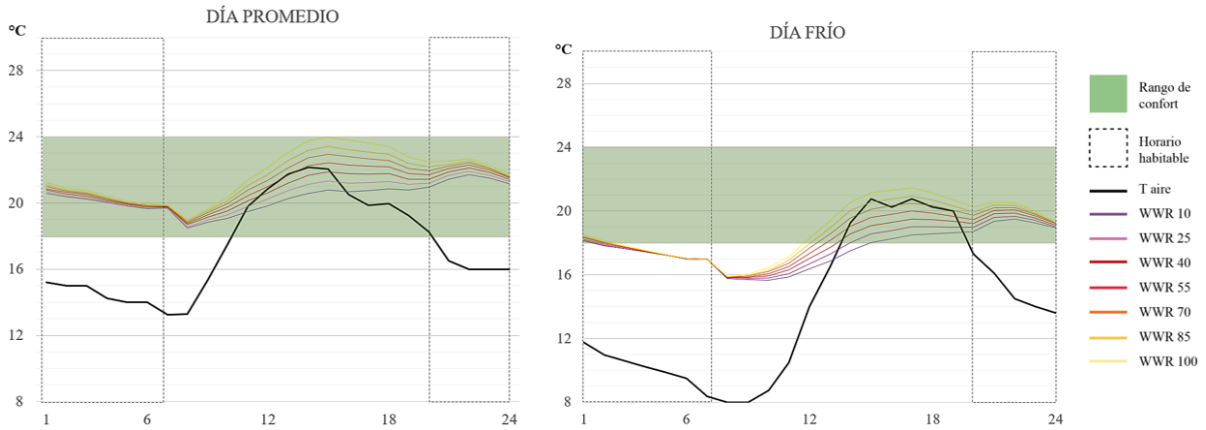
Con el fin de definir resultados óptimos que satisfagan las necesidades de confortabilidad de los usuarios al interior del recinto se ha planteado un rango de temperatura aceptable comprendido entre 18 y 24 °C (Barragán y Ochoa, 2014). Así como un horario definido como habitable, comprendido desde las 20h00 hasta las 07h00.

A continuación, se muestran los resultados en cada una de las orientaciones con los diferentes porcentajes de ventana/pared

##### a) Norte

De acuerdo a los resultados presentados en la figura 4.2, se puede observar que en el día promedio la  $T_i$  se encuentra dentro del rango de confort establecido con cada una de las variables de WWR. Lo contrario ocurre en el día frío, donde se evidencian temperaturas por debajo del límite de confort desde la 1h00 hasta las 7h00, considerando netamente el horario de habitabilidad, con cada uno de los WWR analizados. No obstante, este desconfort continua hasta las 12h00 aproximadamente con todos los WWR. Después de, la temperatura vuelve a estar dentro de la zona de confort hasta las 00h00. Por ello, se puede evidenciar que no existe un comportamiento claro con el que se pueda definir un valor de WWR que sea óptimo tanto para el día promedio como para el día frío.

FIG. 4.2: Resultados de la simulación térmica con WWR del 10, 25, 40, 55, 70, 85 y 100 % con orientación Norte.

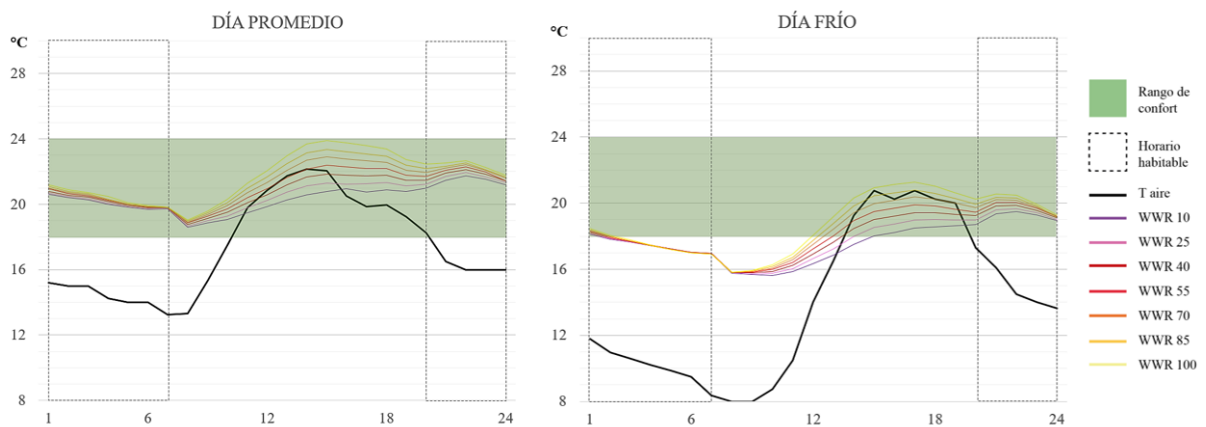


Fuente: Elaboración propia

### b) Sur

La figura 4.3 revela que la  $T_i$  del dormitorio es confortable las 24 horas en el día promedio con cada uno de los valores de WWR. Sin embargo, en el día frío la  $T_i$  presenta valores de temperatura por debajo del rango establecido desde las 2h00 hasta las 7h00, considerando el horario habitable. En este momento la temperatura desciende desde los 18 °C a 15 °C con todos los WWR experimentados. No obstante, este desconfort continúa hasta las 12h00 aproximadamente después de esto, la temperatura vuelve a estar dentro de la zona de confort hasta las 00h00. Ante esto se evidencia que no existe un comportamiento claro que determine un valor de WWR óptimo tanto para el día promedio como para el día frío.

FIG. 4.3: Resultados de la simulación térmica con WWR del 10, 25, 40, 55, 70, 85 y 100 % con orientación Sur.



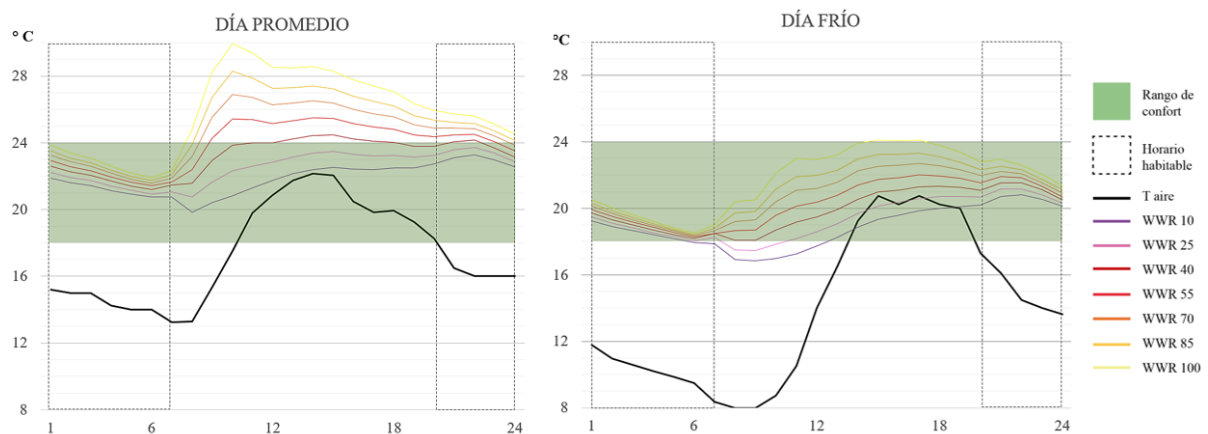
Fuente: Elaboración propia

Del análisis realizado tanto en la orientación norte como sur se puede discernir que, en un día promedio con alta radiación solar, y una temperatura que oscila entre 13,5 y 22 °C, la  $T_i$  no presenta problemas de desconfort. No obstante, el problema radica en los días fríos donde existe escasa radiación solar y una mayor oscilación de temperatura, por lo cual ninguno de los WWR alcanza a calentar el espacio interior durante 24 horas seguidas.

### c) Este

La figura 4.4 muestra los resultados de la simulación térmica realizada en el modelo orientado hacia el este. Los mismos revelan que, en el día promedio a medida que el WWR aumenta también aumenta la  $T_i$  del espacio hasta el punto de superar el rango de confort definido previamente. Es así como se puede observar que, en el día promedio los WWR que mantienen la  $T_i$  en un estado de confort, al no superar los 24°C, son los valores de 10 y 25%. Aunque como se puede evidenciar el WWR de 40% apenas supera el rango de confortabilidad planteado. No obstante, los valores a partir de 55% incrementan la  $T_i$  desde las 8h00, generando así una sensación de desconfort hasta las 00h00. El incremento de la  $T_i$  es más evidente conforme se amplía el WWR, tal es el caso de 100% donde la temperatura alcanza valores cercanos a los 29°C.

FIG. 4.4: Resultados de la simulación térmica con WWR del 10, 25, 40, 55, 70, 85 y 100% con orientación Este.



Fuente: Elaboración propia

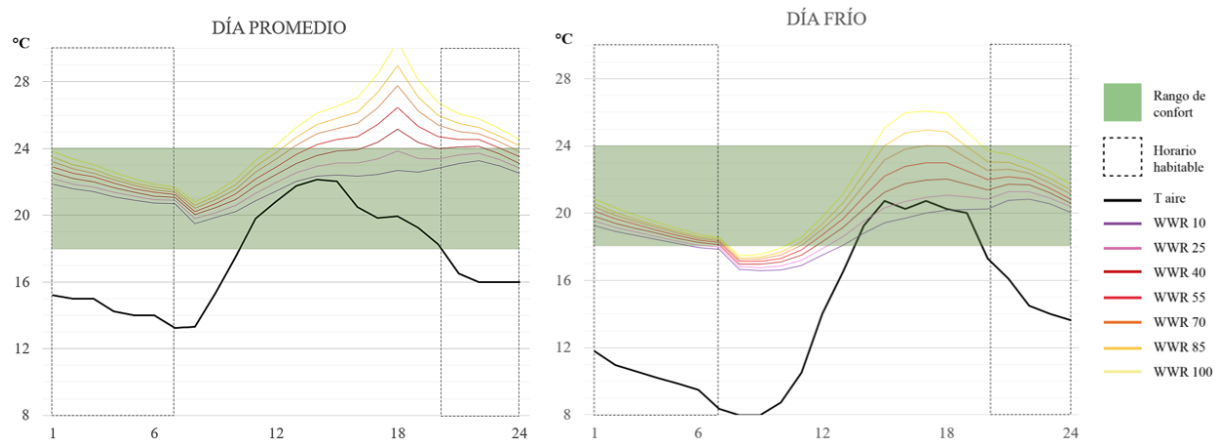
Por el contrario, en el día frío, con excepción de unas horas en la mañana, la  $T_i$  se mantiene dentro del rango de confort con todos los WWR. En este sentido cabe mencionar que los valores de 10 y 25% que mantuvieron la  $T_i$  aceptable las 24 horas en el día promedio, en este caso (día frío) producen una disminución de temperatura por debajo del rango establecido. En este sentido, se puede sugerir que el valor de WWR que mejor comportamiento térmico provee al interior es el del 40%, para la orientación Este.

### d) Oeste

La figura 4.5 muestra los resultados en la orientación oeste, donde se puede evidenciar que en el día promedio los valores de WWR que mantienen el ambiente dentro del rango de confort son los de 10% y 25% aunque el valor de 40% apenas supera el límite de 24°C.

Al igual que en el día promedio del caso anterior (Este) en el periodo no habitable la  $T_i$  supera los límites de confortabilidad a partir del WWR de 40 %, donde se presenta una temperatura cercana a los 30° C con el valor máximo de WWR.

FIG. 4.5: Resultados de la simulación térmica con WWR del 10, 25, 40, 55, 70, 85 y 100 % con orientación Oeste.



Fuente: Elaboración propia

Para el día frío, la figura 4.5 muestra como cada uno de los valores de WWR consiguen mantener la  $T_i$  dentro del rango de confort establecido en los periodos habitables. No obstante, los valores más altos de WWR superan el límite del rango de confort en el periodo diurno, mientras que, en horas de la mañana todos los WWR reducen su temperatura por debajo de este rango. Por este motivo se concluye que valor el de WWR que mantiene la  $T_i$  confortable tanto para el día promedio como para el día frío es el del 40 %, para la orientación oeste.

En estos dos últimos casos (este y oeste) se puede evidenciar como en un día promedio con alta radiación solar, los valores más altos de WWR producen una excesiva captación, alterando el estado de confort interior. Ya que un valor alto de WWR, incluso en un clima frío como el de Cuenca, puede llegar a producir un sobre calentamiento en la vivienda, y por lo tanto requerir refrigeración.

A partir de esto es posible puntualizar que el porcentaje de WWR que resulta óptimo es el de 40 %, pues como se observa en las figuras 4.4 y 4.5 este valor es capaz de mantener la  $T_i$  en el rango de confort por más tiempo tanto en el día promedio como en el día frío. Sin embargo, los resultados presentados en este apartado parten de un análisis térmico de solo dos días puntuales, motivo por el cual en el siguiente apartado se analizó más a profundidad estos resultados en base a la demanda energética del sitio. Con esto se buscó estudiar el comportamiento de la  $T_i$  anual en caso de que en el espacio interior se hiciera uso de sistemas activos.

## 4.2. Análisis anual del consumo energético (CE)

En este apartado se realizó un análisis más detallado con el fin de identificar el valor de WWR apropiado para cada una de las orientaciones en las que se pueda emplazar una vivienda. Para ello se ha tomado en cuenta el factor de demanda energética ya que este definió la cantidad de energía que utilizó la vivienda en caso de que se necesite enfriar o calentar el ambiente con cada uno de los valores de WWR planteados, con lo cual se puede dar una recomendación más clara sobre los valores o rangos de valores que se deben utilizar en la ciudad de estudio, los mismos que puedan extrapolarse a otras ciudades con características climáticas similares.

### 4.2.1. Influencia de la orientación y WWR

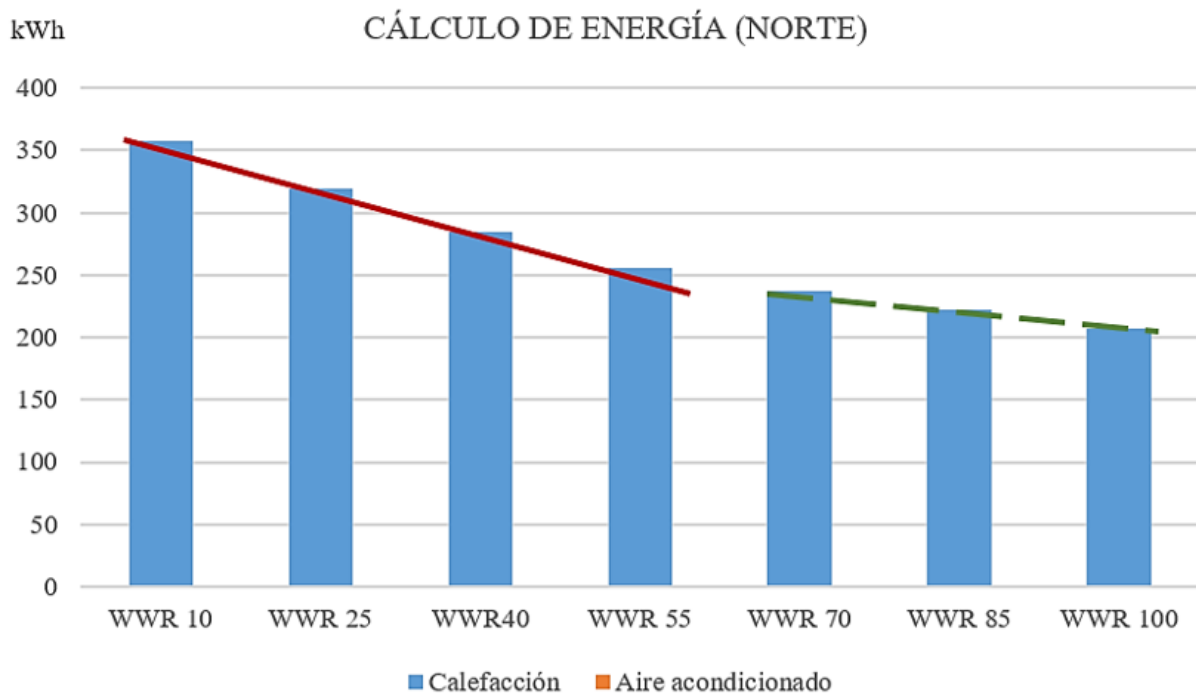
Con el fin de averiguar la demanda del consumo energético (CE) de la vivienda para cada uno de los valores de WWR en las cuatro orientaciones, se ha realizado una serie de simulaciones digitales en el software *Design Builder*. Para esto se ha considerado nuevamente el rango de confort descrito por [Barragán y Ochoa \(2014\)](#), el cual define como temperatura aceptable a la comprendida entre 18 y 24 °C. Es así como el software ha analizado la temperatura al interior del recinto durante todo el año y al mismo tiempo ha activado los sistemas de calefacción y refrigeración cuando la  $T_i$  fue inferior o superior, respectivamente, a los valores de confort establecidos.

#### a) Norte

La figura 4.6 muestra el CE que se generó durante un año con cada uno de los valores de WWR. De acuerdo a estos resultados, en esta orientación todos los valores de WWR necesitarán sistemas activos para calefactar el espacio interior. Además, se muestra que a medida que el WWR se incrementa, el CE del espacio interior se va reduciendo, no obstante, esta reducción no es proporcional a los cambios de WWR. De acuerdo con estos resultados, la reducción muestra una pendiente (línea de rojo) mucho más pronunciada en el rango de WWR de 10 a 55 % que en el tramo de 55 % a 100 % (línea a rayas). En el primer rango (10 %-55 %), el CE pasa de 357 kWh a 256 kWh, con lo cual se reduce el consumo en 101 kWh, mientras que, en el segundo rango (55 %-100 %) el CE pasa de 356 kWh a 206 kWh, lo cual significa una reducción de 50 kWh. En consecuencia, las reducciones más importantes se dan hasta un valor de WWR de 55 %, a partir de aquí las reducciones son poco considerables.

Ante ello se puede inferir que un WWR suficiente para disminuir las condiciones de desconfort para la orientación Norte es de 55 %, el incremento de WWR a partir de este valor sólo significaría un gasto innecesario.

FIG. 4.6: CE anual con WWR 10, 25, 40, 55, 70, 85 y 100 con orientación Norte.



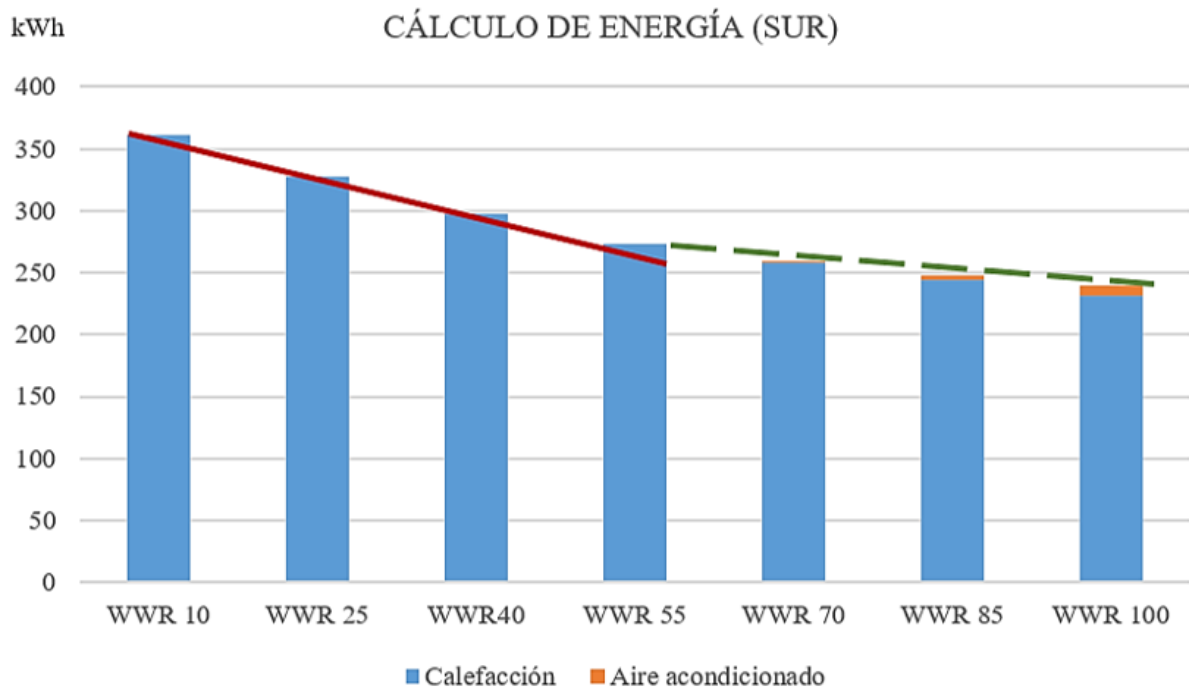
Fuente: Elaboración propia

### b) Sur

La figura 4.7 presenta el CE que ha requerido el recinto a lo largo de un año para mantener la TI dentro del rango de confort planteado. De acuerdo con estos resultados se evidencia que con todos los valores de WWR se necesita el uso de sistemas de calefacción, y en algunos casos, inclusive de sistemas de refrigeración.

Los resultados mostraron la reducción del CE con una pendiente (línea de rojo) mucho más pronunciada en el rango de 10 % a 55 % que en el rango de 55 % a 100 % (línea a rayas). En el primer rango (10 %-55 %), el CE pasa de 360 kWh a 272 kWh, con lo cual se reduce el CE en 82 kWh. Mientras que, en el segundo rango (55 %-100 %) el CE pasa de 272 kWh a 238 kWh, lo cual significa una reducción de 34 kWh. En consecuencia, las reducciones más importantes se dan hasta un valor de WWR de 55 %, a partir de aquí las reducciones son poco considerables. Ante ello, se puede inferir que un WWR suficiente para disminuir las condiciones de desconfort para la orientación Sur es de 55 %. Además, el incremento de WWR a partir de este valor significaría el uso de un sistema de refrigeración.

FIG. 4.7: CE anual con WWR 10, 25, 40, 55, 70, 85 y 100 con orientación Sur.



Fuente: Elaboración propia

Del análisis realizado tanto en la orientación norte como sur se puede concluir que un WWR óptimo es el de 55 %, ya que con este valor se consigue un balance entre ganancias y pérdidas de energía. En otras palabras, se puede decir que los valores superiores al 55 % en estas orientaciones representan un alto nivel de ganancias, pero también implican importantes pérdidas de calor.

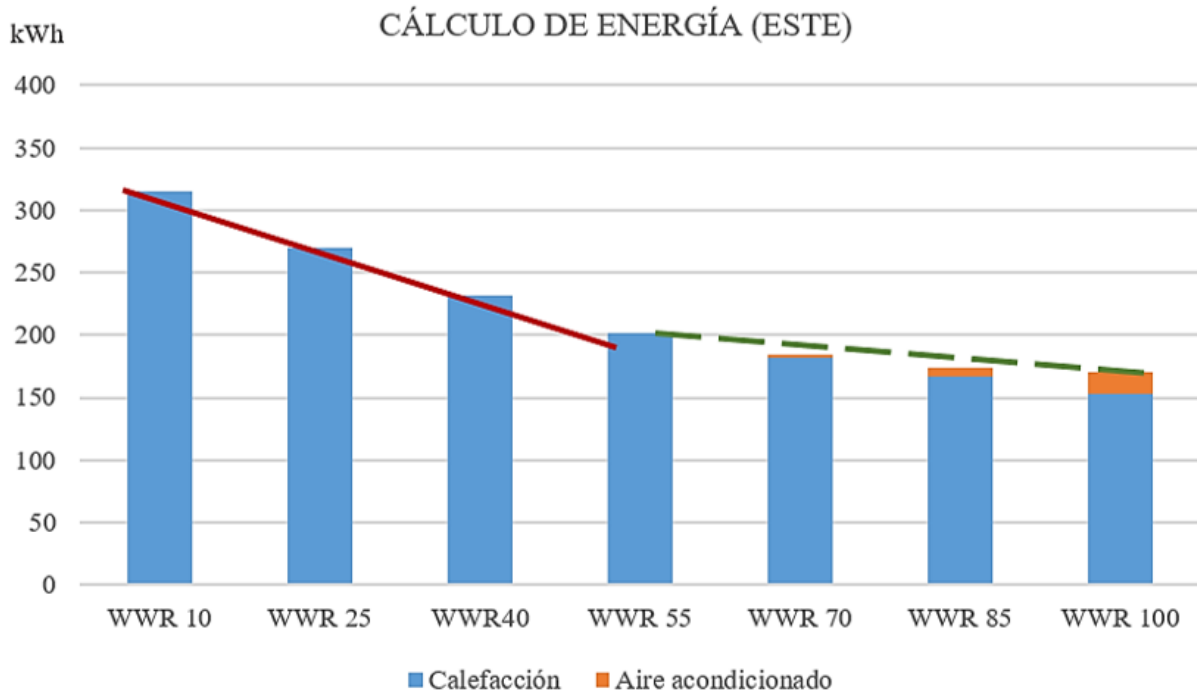
### c) Este

Similar a los casos anteriores, la figura 4.8 presenta como la reducción del CE es evidente entre los WWR de 10 % a 40 %, (línea de rojo). Esta pendiente mucho más pronunciada demuestra como al incrementar el WWR de 10 % a 40 % el CE pasa de 315 kWh a 231 kWh respectivamente, representando un ahorro de 84 kWh. Por otra parte, el rango comprendido entre 40 % y 100 % (línea a rayas) presenta una inclinación menos pronunciada, donde el CE va de 231 kWh a 170 kWh ahorrando así 61 kWh.

Considerando que cada WWR planteado es un salto, en esta orientación a diferencia de los casos anteriores (Norte y Sur), se observa como el rango comprendido de 10 % a 40 %, (línea de rojo) existen dos saltos de WWR. Mientras en el rango comprendido entre 40 % y 100 % (línea a rayas) existen 4 saltos de WWR, y aun así el ahorro en el CE del primer rango es más significativo que el del segundo. Por lo tanto, las reducciones más importantes se dan hasta un valor de WWR de 40 %, a partir de aquí las reducciones son poco considerables. Además, el incremento de captación solar calienta excesivamente el espacio a tal punto de requerir sistemas de refrigeración aumentando así el CE. Ante ello

se puede inferir que un WWR suficiente para mantener las condiciones de confort para la orientación Este es de 40 %.

FIG. 4.8: CE anual con WWR 10, 25, 40, 55, 70, 85 y 100 con orientación Este.



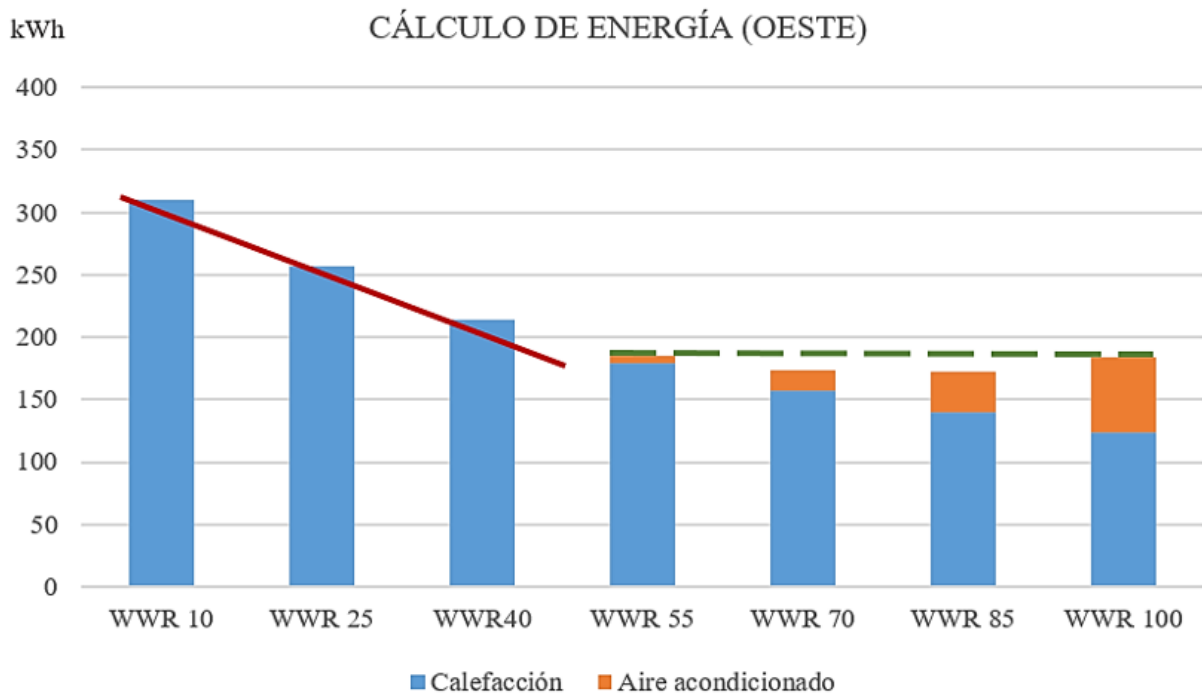
Fuente: Elaboración propia

#### d) Oeste

En la orientación oeste, la figura 4.9 representa el CE que ha requerido el recinto a lo largo de un año para mantener la TI dentro del rango planteado. Es así como la pendiente más pronunciada (línea de rojo) demuestra como el incremento del WWR de 10 % a 40 % produce que el CE pase de 309 kWh a 213 kWh, respectivamente, ahorrando así 96 kWh de CE anual. Por otra parte, el rango comprendido entre 40 % y 100 % (línea a rayas) presenta como el CE va de 213 kWh a 183 kWh ahorrando así 30 kWh.

Al igual que en el Este, se observa como el rango comprendido de 10 % a 40 %, (línea de rojo) existen dos saltos de WWR. Mientras en el rango comprendido entre 40 % y 100 % (línea a rayas) existen 4 saltos de WWR. Sin embargo, el ahorro en el CE del primer rango es más significativo que el del segundo. En consecuencia, las reducciones más importantes se dan hasta un valor de WWR de 40 %, a partir de aquí las reducciones son poco considerables. De hecho, los valores a partir de 55 % calientan excesivamente el espacio a tal punto de requerir de un sistema de refrigeración que incrementan el CE, episodio que no debería suceder en un clima frío como el de la ciudad de Cuenca. Ante ello, se puede inferir que un WWR suficiente para disminuir las condiciones de desconfort para la orientación Oeste es de 40 %.

FIG. 4.9: CE anual con WWR 10, 25, 40, 55, 70, 85 y 100 con orientación Oeste.



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas en la orientación Este y Oeste reflejaron como la incidencia solar produce un calentamiento excesivo al interior de un recinto cuando se tienen valores altos de WWR. En este sentido, se puede concluir que un valor adecuado de WWR es el de 40 %, ya que, con valores superiores además de necesitar sistemas de calefacción, se requerirán de medios de refrigeración produciendo así un incremento en el CE.

#### 4.2.2. Influencia del factor U

Con el fin de optimizar aún más el CE al interior del recinto, se han realizado simulaciones digitales, a lo largo de un año y con un valor U diferente para la superficie vidriada. En otras palabras, se han mantenido las variables analizadas anteriormente (orientación y WWR), pero en estas nuevas simulaciones se ha analizado una variable más, que es el valor U del vidrio, el cual es una de las estrategias más utilizadas en otros países y una solución muy mencionada en nuestro medio, tanto en la academia como en la vida profesional. Para ello, se ha optado por configurar una ventana de doble acristalamiento. Con ello se ha reducido el valor U del vidrio de 5,87 a 2,8 W/m<sup>2</sup>k.

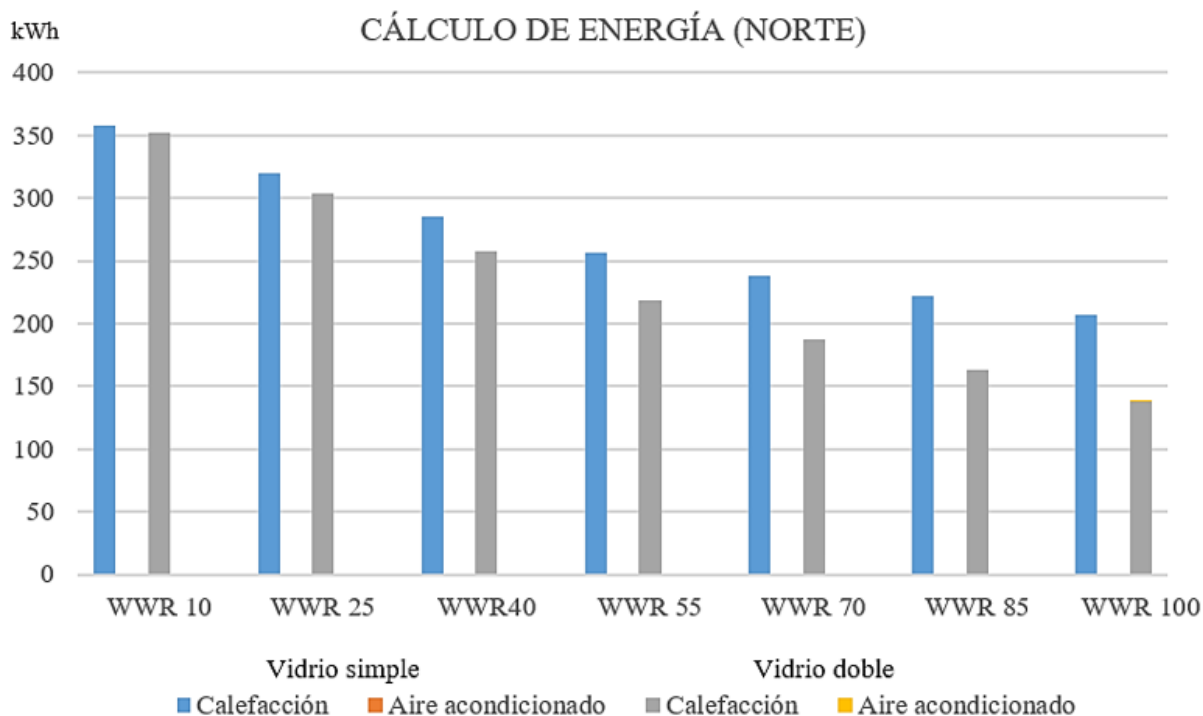
##### a) Norte

En la figura 4.10 se puede evidenciar como el CE anual con el vidrio simple (barras azules) y el vidrio doble (barras grises) no presentan mayor diferencia entre sí cuando el

valor de WWR es pequeño, es decir, cuando la apertura de ventana es de 10, 25, 40 y 55 %. Sin embargo, cuando el WWR es mayor (a partir del 70 %), la diferencia entre CE es más considerable.

En el apartado anterior se ha definido como valor WWR recomendable al del 55 % debido a que a partir de ahí hacia arriba un incremento tiene reducciones poco considerables. En este caso, implementar un vidrio doble con esta proporción de ventana (55 %) no representaría mayor optimización del CE al interior del recinto. La reducción que significa el uso de este vidrio doble en términos de CE significa 38 kWh al año, lo cual significaría una reducción económica de 4,18 dólares anuales (precio de kWh en Ecuador es de 0,11 dólares) (ARCONEL, 2019), mientras que la implementación de un vidrio doble significa un costo adicional por m<sup>2</sup> de 193 dólares (Ventanas Mágicas Cuenca, 2020). En el caso puntual de este ejercicio la implementación de un vidrio doble en el WWR de 55 % significaría un costo adicional de 688,72 dólares, lo cual implicará que el retorno de ese dinero se vería en 181 años, ya que el ahorro anual es de 3,80 dólares anuales como se mencionó previamente.

FIG. 4.10: Comparación de CE anual, vidrio simple y doble con orientación Norte



Fuente: Elaboración propia

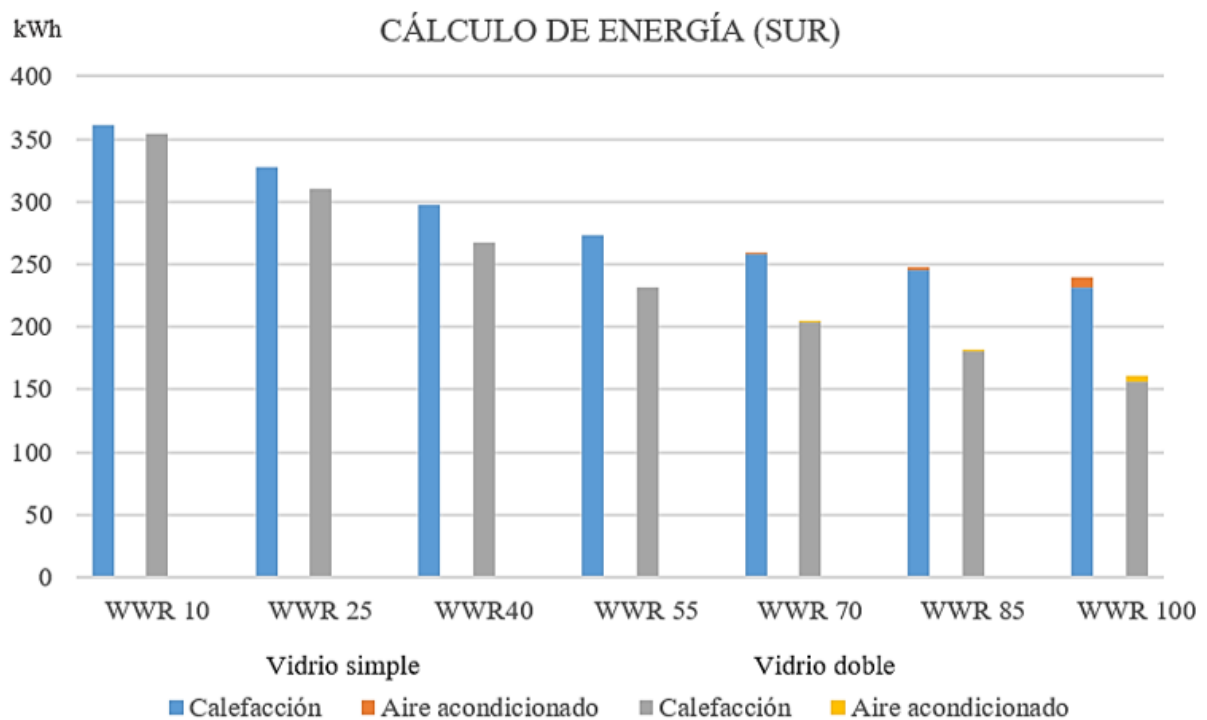
## b) Sur

La figura 4.11 muestra la comparación realizada entre los resultados obtenidos del CE anual con vidrio simple (barras azules) y vidrio doble (barras grises) en la orientación Sur.

Previamente se ha definido como valor WWR recomendable para esta orientación al

de 55 %, sin embargo, implementar un vidrio doble con esta proporción de ventana no representaría mayor optimización del CE al interior del recinto. Pues con ello se lograría un ahorro en el CE de 41 kWh al año, es decir 4,51 dólares al año (precio de kWh en Ecuador es de 0,11 dólares) (ARCONEL, 2019), mientras que la implementación de un vidrio doble costaría 193 dólares por cada m<sup>2</sup> (Ventanas Mágicas Cuenca, 2020). En el caso puntual de este ejercicio la implementación de un vidrio doble en el WWR de 55 % significaría un costo adicional de 688,72 dólares, lo cual implicará que el retorno de ese dinero se vería en 152 años.

FIG. 4.11: Comparación de CE anual, vidrio simple y doble con orientación Sur



Fuente: Elaboración propia

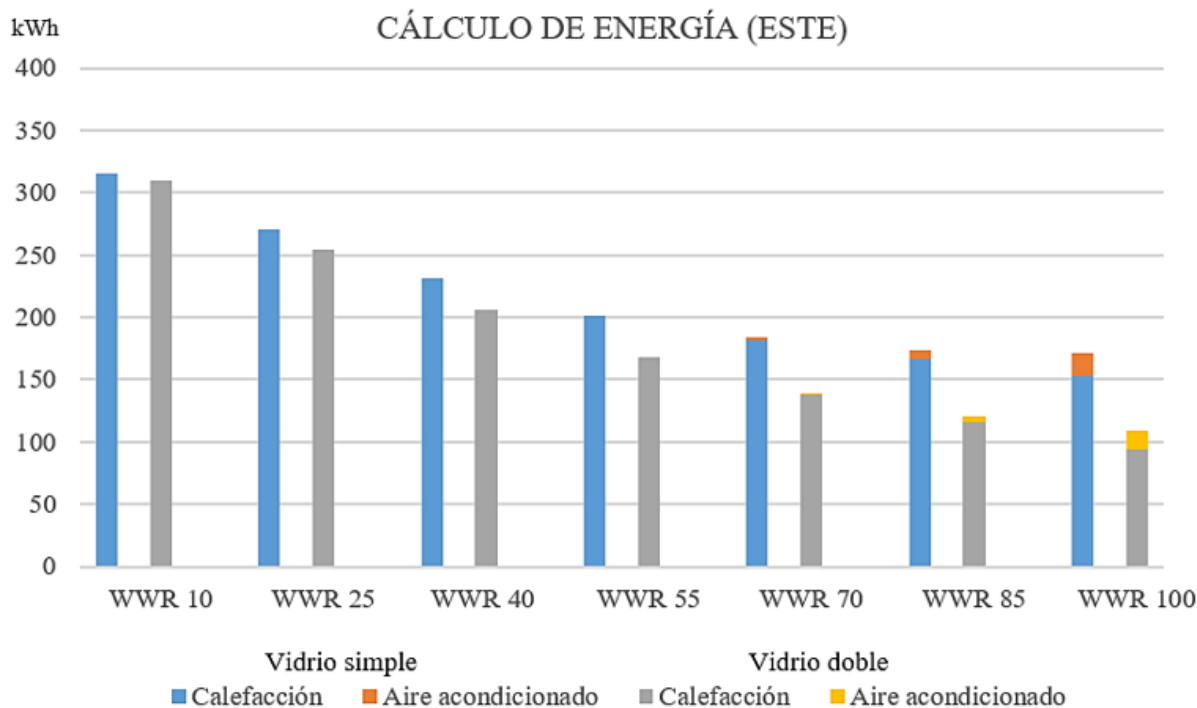
### c) Este

En la figura 4.12 se muestra la comparación realizada entre el CE dentro de un recinto con los distintos valores de WWR con la utilización de vidrio simple (barras azules) y vidrio doble (barras grises).

Anteriormente se ha definido el WWR de 40 % como suficiente para mantener la  $T_i$  dentro del rango de confort establecido, debido a que los valores siguientes presentan un ahorro mínimo en el CE. Sin embargo, el uso de doble acristalamiento sería poco eficiente dado el porcentaje de apertura, pues en términos de CE significaría un ahorro de 25 kWh al año, es decir una reducción económica de 2,75 dólares anuales (precio de kWh en Ecuador es de 0,11 dólares) (ARCONEL, 2019), mientras que la implementación de un vidrio doble significa un costo adicional por m<sup>2</sup> de 193 dólares (Ventanas Mágicas Cuenca, 2020). En el caso puntual de este ejercicio la implementación de un vidrio doble

en el WWR de 40 % significaría un costo adicional de 501,8 dólares, lo cual implicará que el retorno de ese dinero se vería en 182 años.

FIG. 4.12: Comparación de CE anual, vidrio simple y doble con orientación Este



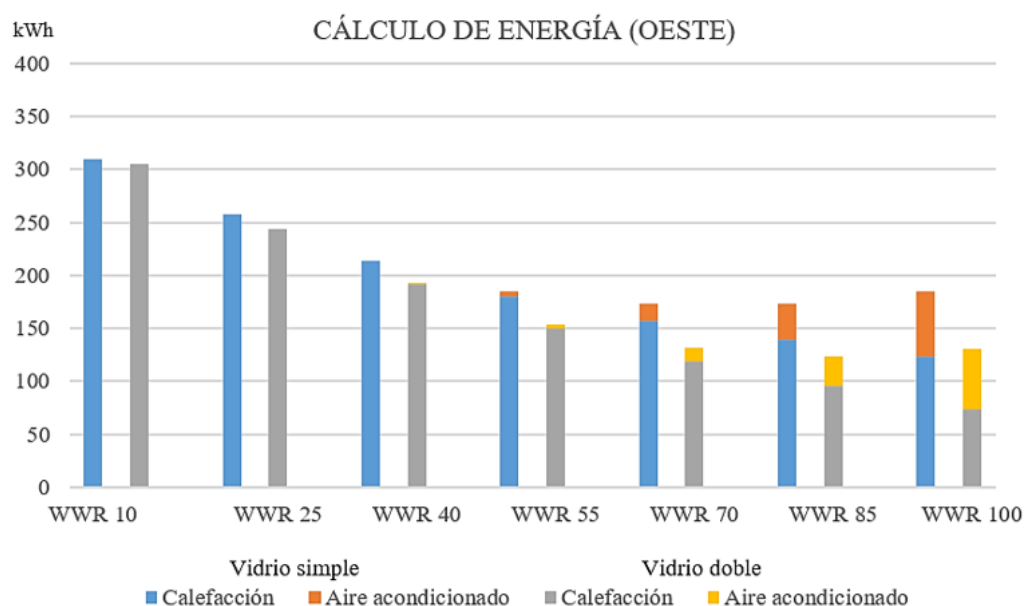
Fuente: Elaboración propia

#### d) Oeste

La figura 4.13 muestra la comparación realizada entre los resultados obtenidos del CE anual con vidrio simple (barras azules) y vidrio doble (barras grises) en la orientación Oeste.

Anteriormente se ha definido el WWR de 40 % como suficiente para mantener la  $T_i$  dentro del rango de confort establecido. Sin embargo, el uso de doble acristalamiento sería poco eficiente dado el porcentaje de apertura, pues en términos de CE significaría un ahorro de 22 kWh al año, es decir una reducción económica de 2,42 dólares anuales (precio de kWh en Ecuador es de 0,11 dólares) (ARCONEL, 2019), mientras que la implementación de un vidrio doble significa un costo adicional por  $m^2$  de 193 dólares (Ventanas Mágicas Cuenca, 2020). En este caso la implementación de un vidrio doble en el WWR de 40 % significaría un costo adicional de 501,8 dólares, lo cual implicará que el retorno de ese dinero se vería en 207 años.

FIG. 4.13: Comparación de CE anual, vidrio simple y doble con orientación Oeste



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra la variación que presenta el valor U total de una pared con cada uno de los valores de WWR y con el uso de vidrios simple y doble.

Tabla 4.1: Comparación de valores U total de una pared con la implementación de vidrio simple y doble.

WWR (%)	U total (U de pared + U de superficie vidriada)		Diferencia de U total
	Vidrio simple	Vidrio doble	Vidrio simple - Vidrio doble
10	2,90	2,60	0,30
25	3,40	2,63	0,77
40	3,89	2,66	1,23
55	4,38	2,7	1,68
70	4,88	2,73	2,15
85	5,37	2,76	2,61
100	5,87	2,8	3,07

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta que, la finalidad del uso del doble acristalamiento es reducir la U de todo el elemento (pared + ventana), se ha realizado una comparación con cada uno de los porcentajes de ventana planteados con el fin de conocer que tanto mejoran las condiciones de este elemento con un vidrio simple frente a un vidrio doble.

De ello se concluye que, cuando los porcentajes de ventana (WWR) son bajos, los valores de U son similares en ambos casos (vidrio simple y vidrio doble) y la U no se reduce significativamente. Sin embargo, cuando el WWR es alto (superior al 70%) la

reducción del valor de U es mucho más evidente, es decir que con valores altos el uso de vidrio doble es efectivo. En los ejercicios realizados se refleja que la reducción del CE no es significativa en ninguno de los casos, ni siquiera con el WWR de 100 % es rentable. Es decir, para el clima de Cuenca un WWR de 100 % al Este en términos de CE significaría un ahorro de 62 kWh al año, es decir una reducción económica de 6,83 dólares anuales (precio de kWh en Ecuador es de 0,11 dólares) (ARCONEL, 2019), y la implementación de un vidrio doble significa un costo adicional de 193 dólares por m<sup>2</sup>, (Ventanas Mágicas Cuenca, 2020). En este caso la implementación de un vidrio doble significaría un costo adicional de 1.250,64 dólares, lo cual implicará que el retorno de ese dinero se vería en 183 años.

Por tanto, contrariamente a lo que siempre se piensa sobre el uso del vidrio doble, este estudio sugiere que no tiene mayor repercusión en la reducción de la demanda energética en la ciudad de estudio, y no presenta una rentabilidad a corto plazo en términos económicos. Por supuesto, lo que se ha analizado ha sido simplemente la reducción de la transmitancia térmica únicamente en la superficie vidriada, y no en toda la envolvente.

### 4.3. Definición de parámetros

En este apartado se recopilamos los resultados obtenidos previamente con el fin de proporcionar los valores de WWR más óptimos para reducir el desconfort interior, y reducir la demanda energética. Finalmente, se diseñaron varias opciones para cada una de las fachadas con la superficie vidriada cuyo valor haya resultado como óptimo en las simulaciones realizadas.

En la Tabla 4.2 se resumen los valores que resultaron eficientes en cada una de las orientaciones, obtenidos anteriormente.

















Tabla 4.2: Resumen de resultados.

Orientación	Mejor comportamiento día promedio	Mejor comportamiento día frío	Mayor eficiencia CE	Uso de vidrio doble	Valor elegido
	WWR (%)				
Norte	10, 25, 40, 55, 70, 85, 100	----	55	----	55
Sur	10, 25, 40, 55, 70, 85, 100	----	55	----	55
Este	10, 25, 40	40, 55, 70, 85, 100	40	----	40
Oeste	10, 25, 40	----	40	----	40

Fuente: Elaboración Propia

En esta instancia es importante recordar los WWR recomendados en el capítulo dos tanto por estudios científicos, así como por las normativas nacional y local. En el caso del estudio realizado por [Ledesma Hidalgo y Rivera Lara \(2018\)](#) en Quito, los WWR sugeridos para las orientaciones Norte, Sur, Este y Oeste fueron de 34 %, 34 %, 65 % y 65 % respectivamente. Mientras que la NEC recomienda valores de 40 % para todas las orientaciones. Y finalmente la normativa local recomienda una superficie de ventana equivalente al 15 % del área del suelo (en este caso un WWR de 20%\*) para todas las orientaciones. La Tabla 4.3 resume los WWR sugeridos y los obtenidos luego del análisis realizado.

Tabla 4.3: Comparación de valores sugeridos frente a valores obtenidos mediante análisis para la ciudad de Cuenca.

Orientación	WWR recomendados (%)			Valor obtenido mediante análisis
	Ledesma & Rivera (Quito)	NEC	Normativa Local	
Norte	34 	40 	20* 	55 
Sur	34 	40 	20* 	55 
Este	65 	40 	20* 	40 
Oeste	65 	40 	20* 	40 

Fuente: Elaboración Propia

Ante ello se puede interpretar que los resultados obtenidos para la ciudad de Cuenca se contraponen a los valores sugeridos, tanto por estudios realizados en condiciones climáticas que de manera general son similares a los de esta ciudad, así como los propuestos por normativas nacionales y locales. Aunque los valores que coinciden tanto en la NEC como en el presente estudio son los obtenidos para las orientaciones Este y Oeste, este estudio demuestra que se debe realizar un estudio pormenorizado por ciudad y por orientación.

## 4.4. Aplicabilidad en la arquitectura

Con el fin de mejorar las condiciones de confort y reducir el consumo energético al interior del dormitorio, se ha elaborado una serie de modelos de fachada, mismas que han sido elaboradas en base a tres aspectos: orientación, WWR y CE.

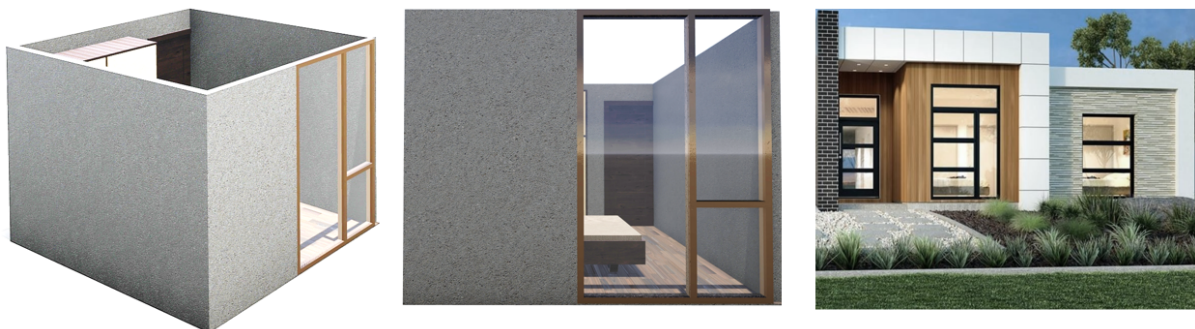
Los resultados obtenidos han permitido determinar que las fachadas con orientación Norte y Sur requieren de una proporción ventana fachada más alta que las que requieren las fachadas orientadas al Este y Oeste. Consecuentemente, el WWR que se ha definido tanto para la orientación Norte y Sur ha sido el de 55 %. Mientras que para las orientaciones Este y Oeste el WWR de 40 % resultó ser eficiente, pues, en lo referente al CE se definió que estos WWR presentan soluciones numéricas capaces de mantener un equilibrio entre la temperatura exterior y la interior.

A continuación, se presentan soluciones arquitectónicas donde se muestran tipologías de fachadas donde la ventana cumple con la proporción establecida (40 % y 55 %).

### 4.4.1. Tipología 1

La figura 4.14 presenta la tipología de ventana piso-techo con un WWR de 55 %, misma que en su proceso constructivo excluye el uso de un dintel, pues se conecta directamente con la vida estructural. Esta propuesta de ventana, debido a la ubicación, provee a la habitación de un tipo de iluminación localizada manteniendo así la zona de descanso oscura y privada.

FIG. 4.14: Ventana piso-techo, WWR 55 %. De izquierda a derecha: perspectiva, alzado y modelo de aplicación.



Fuente: Elaboración propia & modelo de aplicación recuperado de:  
<https://www.pinterest.es/pin/687573068088768741/>

### 4.4.2. Tipología 2

La figura 4.15 presenta un modelo de ventana longitudinal con WWR de 40 %, misma que obedeciendo a los criterios de Le Corbusier, facilita la relación existente entre el

interior y exterior de la vivienda, pudiendo extenderse a lo ancho del muro. Su morfología permite dotar de iluminación natural a lo ancho de toda la habitación.

FIG. 4.15: Ventana longitudinal, WWR 40%. De izquierda a derecha: perspectiva, alzado y modelo de aplicación.

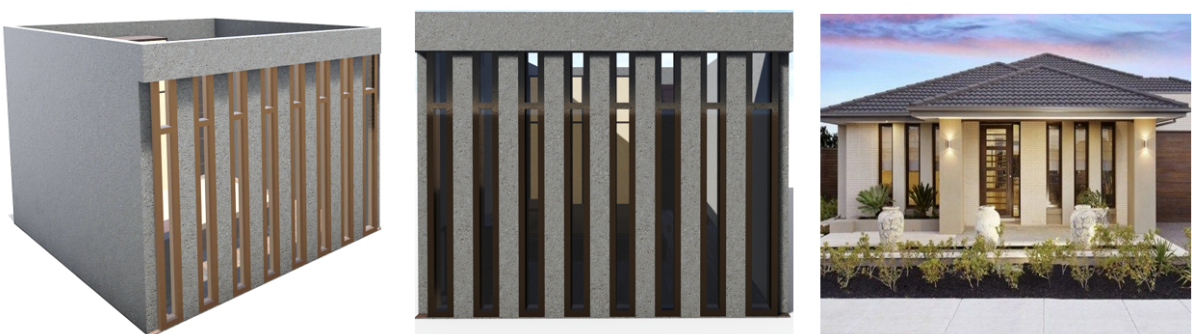


Fuente: Elaboración propia & modelo de aplicación recuperado de:  
<https://www.publico.es/sociedad/decano-educacion-sevilla-dimite-caso.html>

#### 4.4.3. Tipología 3

La figura 4.16 presenta una tipología de ventana alargada con un WWR de 40 %, que constituye un modelo de varias superficies acristaladas de piso a techo. Este tipo de ventana conforma una fachada seriada que provee de iluminación natural al interior del espacio generando juegos de sombras.

FIG. 4.16: Ventana alargada, WWR 40%. De izquierda a derecha: perspectiva, alzado y modelo de aplicación.



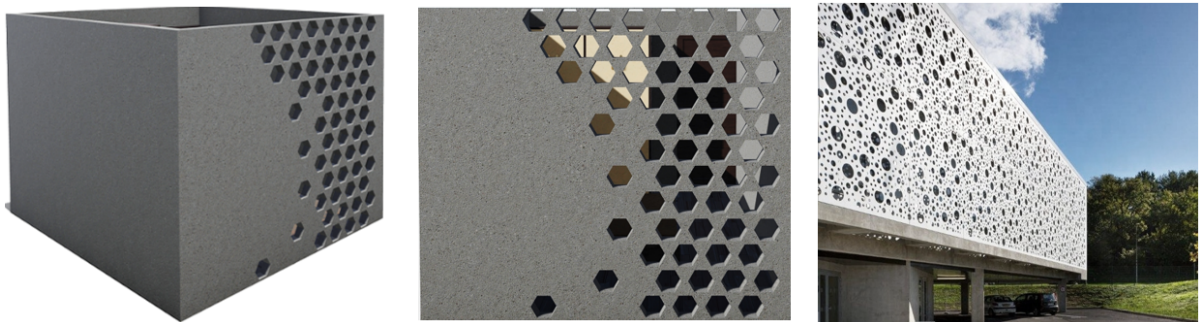
Fuente: Elaboración propia & modelo de aplicación recuperado de:  
<https://www.pinterest.com/pin/447615650446986474/>

#### 4.4.4. Tipología 4

En la figura 4.17 se muestra un modelo de fachada orgánica, donde las superficies vidriadas a manera de figuras y patrones conforman una pared dinámica. A más de dotar

de un sentido estético a la edificación, este tipo de ventanas permite iluminar el espacio interior en sitios estratégicos y proveer sombras interesantes. En el caso a continuación, la superficie vidriada abarca un 55 % del total de la pared (WWR).

FIG. 4.17: Ventana orgánica, WWR 55 %. De izquierda a derecha: perspectiva, alzado y modelo de aplicación.



Fuente: Elaboración propia & modelo de aplicación recuperado de:  
<https://www.pinterest.com/pin/349380883595713135/>

Con estas tipologías de ventana se ha pretendido establecer modelos en los que los WWR, obtenidos anteriormente, puedan ser aplicados en la fachada de una vivienda sin alterar las condiciones térmicas dentro de la misma. Es decir que, para las orientaciones Norte y Sur es posible aplicar varias formas o geometrías de ventana siempre y cuando éstas tengan un WWR aproximado o igual al 55 %. Lo mismo ocurre para las orientaciones Este y Oeste, la morfología de la superficie vidriada no altera las condiciones térmicas interiores siempre que estas bordeen el 40 % del total del muro. Ante ello, se destaca que el diseño de una fachada radica netamente en los criterios de diseño del arquitecto a cargo de una obra. Finalmente es importante mencionar que, al contrario del estilo de fachada usado mayormente en la actualidad, es decir con amplios ventanales, el presente estudio ha demostrado que esta tipología altera el estado de confort térmico interior, pues el exceso de captación solar en días calurosos hace que la edificación requiera de sistemas de refrigeración, acto que no debería ocurrir en una ciudad con un clima frío como lo es la ciudad de Cuenca.

## Conclusiones

Este trabajo de titulación, ha llevado a cabo el estudio del comportamiento térmico interior de cierto espacio habitable a partir de la influencia de la ventana como generador de aportes y pérdidas de calor. En específico se ha estudiado la manera en que la proporción ventana-fachada actúa en la temperatura interior y la demanda energética de una vivienda. De acuerdo al desarrollo de este trabajo y en respuesta a los objetivos planteados se han extraído las siguientes conclusiones:

Los criterios morfológicos de la vivienda actual han reemplazado aquellas perspectivas bioclimáticas propias de la arquitectura tradicional como; orientación, inercia térmica, materialidad y apertura de vanos por el implemento de nuevas técnicas constructivas y materiales, así como reemplazar las proporciones de ventanas moderables, por el uso de ventanas piso-techo que ocupan el 100 % de la fachada.

El estado de confort tiene que ver más con el estado de aceptación que experimenta una persona en un sitio que con los parámetros impuestos edificación. Dicho en otras palabras, lo que es confortable para una persona para otra puede no serlo, por tal motivo el rango de confort planteado ( $18^{\circ}\text{C} - 24^{\circ}\text{C}$ ) trata de abarcar al mayor porcentaje de usuarios.

Teniendo en cuenta las condiciones climáticas de Cuenca, la ventana debe ser tomada en cuenta como medio para favorecer la captación solar y mantener el espacio interior dentro de un rango de confort. En cuanto a la variable de orientación, las fachadas con aperturas al Este y Oeste, como era de esperarse, resultan ser las más adecuadas para reducir el desconfort interior, puesto que la incidencia solar logra calentar el espacio interior en mayor cantidad durante todo el año. En cuanto a la variable WWR, al incrementar el tamaño de la ventana se logra reducir considerablemente el consumo energético por concepto de calefacción, no obstante, la mayor eficiencia se da hasta el 55 % de WWR en la orientación norte y sur, y hasta el 40 % en las orientaciones este y oeste. El incremento por arriba de estas proporciones resulta en reducciones mínimas del consumo energético, y hasta el exceso sobrecalentamiento interior al punto de que se necesite refrigeración. Así, las tipologías de WWR del 100 % quedan descartadas, pues el exceso de captación solar ocasionaría un calentamiento significativo en el interior y consecuentemente el requerimiento de sistemas de refrigeración.

Contrariamente a lo que se cree, el doble acristalamiento no siempre actúa como un

---

aislante térmico efectivo, de acuerdo a los casos analizados, la aplicación de esta estrategia no tiene mayor repercusión en la reducción de la demanda energética, y el uso del mismo significaría en una intervención rentable a un largo plazo. La eficiencia de este recurso depende netamente del tamaño del cristal en el muro, mientras mayor sea este mayor será la efectividad de este aislamiento en ventana.

Consecuentemente y en relación a la interrogante planteada dentro de esta investigación, se sostiene que las proporciones de ventana (WWR) que mayor eficiencia presentan se colocan en 40 % para las orientaciones Este-Oeste y 55 % para el Norte-Sur y que además no se requiere el implemento del doble acristalamiento.

## Recomendaciones

Durante el desarrollo de la presente investigación se ha enfatizado en el valor que tiene el elemento de la ventana dentro del confort interior de las viviendas. Es así que, los resultados y conclusiones obtenidos al finalizar el estudio sugieren plantear lineamientos o normativas para que el profesional de la construcción o usuario pueda ser partícipe de la obra evitando el discomfort térmico, en la Zona Z3 del Ecuador, específicamente de la ciudad de Cuenca. Es por ello que, es preciso mencionar algunas recomendaciones que pueden complementar a la investigación realizada:

Tener en cuenta el costo del material antes de implementarlo en la obra. En el caso del doble acristalamiento, se recomienda realizar una comparación entre el ahorro que se tendría en el CE si se redujera el consumo de calefacción y refrigeración ante el costo del vidrio doble. Y así, posteriormente definir si el implemento traerá consigo algún beneficio.

En contextos cotidianos, se recomienda, antes de recurrir al uso de sistemas de calefacción y refrigeración activos, tener en cuenta recursos que actúan en el dormitorio a manera de aislantes, es decir; cortinas, lanas de vidrio o minerales, espumas entre otros.

Para futuras investigaciones, se recomienda llevar a cabo las simulaciones digitales preferiblemente en fechas coincidentes o cercanas a los equinoccios, es decir los días 21 de marzo y septiembre. Por el contrario, se descartan fechas coincidentes o cercanas a los días 21 de los meses de junio y diciembre, es decir los solsticios, ya que el ángulo de inclinación que presenta el recorrido solar ocasiona alteraciones en las condiciones climáticas internas, arrojando así datos imprecisos.

Finalmente, se recomienda realizar futuras investigaciones acerca de las condiciones del aire interior tomando en cuenta parámetros referidos a la masa térmica y la U de las paredes. Esto puede traer un estudio más amplio, para solventar diferentes vacíos de información en la normativa.

## Referencias

- Achig, M., Paredes, M., y Barsallo, M. (2016). Estudio y propuestas de color para la arquitectura del centro histórico de Cuenca-Ecuador. *Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 5 (8), 81–91.
- Aguilar Rodríguez, A. (2004). *Geografía general* (Segunda ed ed.). Madrid, España: Pearson Educación.
- Aguirre, M., Ávila, M., y Pesántez, J. (2015). Arquitectura tradicional de Cuenca, recuperación y alternativa sustentable en la contemporaneidad. *In Primer Congreso Internacional online Filosofía de la Sustentabilidad de Vivienda Tradicional: Transformando comunidades hacia el desarrollo local*, 48–70.
- Almendárez Méndez, J. (2009). *Desarrollo de un modelo físico para vidrios de baja emisividad* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.
- ARCONEL. (2019). *Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución. Servicio público de energía eléctrica* (Inf. Téc.). Descargado de <https://www.cnelep.gob.ec/pliego-tarifario-2/>
- Baquero, M., y Quesada, F. (2016). Eficiencia energética en el sector residencial de la Ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 7 (2), 147–165. Descargado de <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/1065/934>
- Barragán, A. E., y Ochoa, P. E. (2014). Estudio de caso: Diseño de viviendas ambientales de bajo costo, Cuenca (Ecuador). *Maskana*, 5 (1), 81–98. Descargado de <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/430/370>
- Blender, M. (2015). *El confort térmico*. Descargado de <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/el-confort-termico/>
- Bustamante, W. (2009). *Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social*. Santiago de Chile. Descargado de [http://old.acee.cl/576/articles-61341\\_doc\\_pdf.pdf](http://old.acee.cl/576/articles-61341_doc_pdf.pdf)
- Calle Rebollo, J. (2020). *Una sinergia sin energía: estudio y caracterización de soluciones bioclimáticas: la galería solar* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Politécnica de Catalunya, España.
- Calvo Busello, J. P. (1995). El vidrio y la protección energética. *Re. Revista de Edificación*, 21, 29–32.
- Castaño Duque, S., y Osorio Valencia, J. J. (2013). Sobre la arquitectura bioclimática en el marco de la sustentabilidad. *Arquetipo*, 7, 103–117.
- Castelló-Joubert, V. (2019). Arte y naturaleza en la arquitectura de cristal: Las críticas de Ruskin y Sempe. *In Primer Congreso Internacional de Ciencias Humanas: Humanidades entre pasado y futuro*. San Martín, Argentina.. doi: <https://doi.org/10.36446/be.2019.48.99>
- Castillo Quimis, E., Mite Pezo, J., y Pérez Arévalo, J. (2019). Influencia de los materiales de la envolvente en el confort térmico de las viviendas. Programa Mucho Lote II, Guayaquil. *Revista Universidad y Sociedad*, 11 (4), 303–309.

- 
- Centrosur. (2015). *Energía consumida* (Inf. Téc.). Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. Descargado de <http://www.centrosur.com.ec/?q=energia-consumida>
- Chávez del Valle, F. J. (2002). *Zona variable de confort térmico* (Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya, España). Descargado de <https://www.tesisenred.net/handle/10803/6104#page=1>
- Cirici, A. (1945). Visión retrospectiva de la arquitectura en hierro. *Cuadernos de arquitectura*, 16–26.
- Conforme-Zambrano, G. D. C., y Castro-Mero, J. L. (2020). Arquitectura bioclimática. *Polo del Conocimiento*, 5 (3), 751–779.
- Contreras Lojano, C., y Neira Pesántez, A. P. (2015). *Acondicionamiento térmico en espacios interiores de viviendas, usando la energía solar* (Tesis Doctoral, Universidad del Azuay). Descargado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4709>
- Cordero, X., y Guillén, V. (2013). Diseño y validación de vivienda bioclimática para la ciudad de Cuenca. *ESTOA. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 1 (2), 61–71.
- Corrado, M. (2017). *Consejos y proyectos del arquitecto para las ventanas*. Barcelona, España: Editorial De Vecchi.
- Cruz Soria, P., y Navarro Navarro, E. (2012). *Soluciones Bioclimáticas en Edificación. Análisis y comparativa entre vivienda convencional y su adaptación con criterios bioclimáticos* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Del Toro, A. (2015). *Infiltración, renovación natural y forzada*. Descargado de <https://blog.deltoroantunez.com/2015/09/infiltracion-renovacion-natural-mecanica.html>
- Díaz, J. (2017). *Comportamiento térmico de viviendas por efecto invernadero del vidrio en verano* (Tesis Doctoral, Universidad de Chile). Descargado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/147403>
- Durán Calisto, A. M. (2015). Arquitectura contemporánea de Ecuador (1999-2015): El florecimiento de una crisis. *Rita: Revista Indexada de Textos Académicos*, 3, 40–51. Descargado de <http://ojs.redfundamentos.com/index.php/rita/article/view/55/60>
- Ellessor, S. (2019). *Investigación sobre climatización sostenible para arquitectura bioclimática* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Fernández, Á. (2017). *Análisis constructivo de la obra de Frank Lloyd Wright como referencia de arquitectura bioclimática; transposición a la arquitectura actual* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Ferrero, J. (2015). *Salir de la zona de confort. Incansable aspensor*. Descargado de <https://incansableaspensor.wordpress.com/2021/03/27/redaci-altas-capacidades-salir-de-la-zona-de-confort/>
- Fundamenta. (2020). *Arquitectura pasiva y eficiente. Introducción y principios generales*. Descargado de <https://fundamentarq.es/arquitectura-pasiva-y-eficiente-introduccion/>
- García, N. (2018). *Saudade en cuatro tiempos. Primera página*. Descargado de <https://primerapaginarevista.com/2018/12/05/saudade-en-cuatro>
-

- 
- tiempos-poema-de-nancy-h-garcia/
- García de Frutos, D., y Guervós Sánchez, E. (2014). Un nuevo modelo de arquitectura y tecnología sostenible. Del origen a las nuevas teorías de la arquitectura Moderna. *AXA. Una Revista de Arte y Arquitectura*, 2(6).
- Garzón, B. (2021). *Arquitectura bioclimática* (Inf. Téc.). Buenos Aires, Argentina.
- Gattini, N. (2020). *¿Es cierto que las personas con obesidad sienten más calor?* Descargado de <https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/personas-con-obesidad-sienten-mas-calor/964716/>
- Gómez de Ágreda, Á. (2014). El cambio climático en el ártico: Más allá del círculo polar. *Revista del Instituto Español de Estudios Estratégicos*, 3.
- Heras Barros, V., Lofruscio Velástegui, P. C., y Chavez Barriga, T. C. (2019). *Historia de los estilos arquitectónicos a fines del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX, que han influenciado en el diseño interior con más relevancia en la ciudad de Cuenca* (Tesis Doctoral, Universidad del Azuay). Descargado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9133>
- IDAE. (2007). *Soluciones de aislamiento con vidrios y cerramientos* (Inf. Téc.). Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- Iturriaga Torres, A. (2008). *La Ventana. Análisis y Estrategias respecto a la Energía Solar* (Inf. Téc.). Barcelona: Ediciones UPC.
- Jmcpri.net. (2020). *Estrés térmico*. Descargado de <https://www.jmcpri.net/CALOR/>
- Juanes Arnal, R. (2015). *La cubierta inclinada en la arquitectura contemporánea* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Politécnica de Valencia.
- Junta de Andalucía y Municipalidad de Cuenca. (2007). *Guía de arquitectura*. (Inf. Téc.). Cuenca, Ecuador. Sevilla, España.
- Lahuerta, J. J. (1988). Cathedrale de Metz a Louer. *Arquitectura*, 275–276.
- Larrumbide, E., y Bedoya, C. (2015). El comportamiento del hueco de ventana en la arquitectura vernácula mediterránea española ante las necesidades de acondicionamiento solar. *Informes de la Construcción*, 67 (539). doi: <https://doi.org/10.3989/ic.14.056>
- Ledesma Hidalgo, G., y Rivera Lara, R. (2018). Análisis de confort térmico en escuelas del milenio. Caso: Quito y Babahoyo. *EIDOS. Revista Científica en Arquitectura y Urbanismo*, 11. doi: <https://doi.org/10.29019/eidos.v0i11.408>
- León Vázquez, J. C. (2013). *Parámetros de diseño de la chimenea solar* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Politécnica de Catalunya.
- Lirola, C. (2020). *Iluminación natural y artificial, tipos y sistemas*. Descargado de <https://www.autopromotores.com/como-iluminar-una-casa/>
- López-Romero, E. (2010). *Paisajes Funerarios y Arquitectura Megalítica en la Fachada Atlántica europea*. Madrid, España: CSIC.
- Lymperopoulou, L. (2012). *Vidrios estáticos y dinámicos: estudio comparativo de la eficiencia energética de los edificios de oficina en clima mediterráneo a partir de la utilización de diferentes tipos de acristalamiento* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Politécnica de Catalunya.
- Macari Urrea, B. X. (2013). *Análisis y medición del nivel de infiltración de aire y puentes térmicos en espacios de oficina* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad de Chile.
- Marco, J. M., Uliaque, L., y Villuendas, F. (2001). Diseño y producción de recubrimientos
-

- 
- de control energéticopara su utilización en vidrio laminado. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 40 (2), 113–118. doi: 10.3989/cyv.2001.v40.i2.751
- Marincic, I., Ochoa, J. M., y del Río, J. A. (2012). Confort térmico adaptativo dependiente de la temperatura y la humedad. *ACE: Architecture, City and environment*, 7 (20). doi: 10.5821/ace.v7i20.2572
- Marincic Lovriha, I., Ochoa De la Torre, J. M., y Alpuche Cruz, M. G. (2019). La inercia térmica de la envolvente y su efecto sobre la sensación de confort en clima cálido seco. *Proyecciones en arquitectura y urbanismo: Sol y Arquitectura*, 1, 110–120.
- Marino, C., Nucara, A., y Pietrafesa, M. (2017). Does window-to-wall ratio have a significant effect on the energy consumption of buildings? A parametric analysis in Italian climate conditions. *Journal of Building Engineering*, 13.
- Market. (2020). *Empeña inteligente. Electrodomésticos*. Descargado de <https://empenomarket.com/cotizacion-empenar-electrodomesticos-refrigeradores-lavadoras>
- Martínez García, A. (2016). *Idtipo. Región de Murcia*. Descargado de <http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=160%0AIDTIPO=14ORASTRO=cm120;128>
- Martínez Roldán, P. S. (2020). César Burbano Moscoso: entre la tradición pictórica y la irrupción de la arquitectura moderna en Cuenca a mediados del siglo XX. *Islas. Revista de Humanidades y Ciencias Sociales de la UCLV*, 194, 145–159.
- Matute Oleas, M. J. (2014). *Tecnología sostenible y eficiencia al diseño de una vivienda* (Tesis Doctoral, Universidad de Cuenca). Descargado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5539>
- Mazria, E. (1979). *The passive solar energy book*. Pennsylvania, United States: Rodale Press.
- Mazutis Forero, A. F. (2018). *El doble acristalamiento como alternativa tecnológica para el mejoramiento del confort térmico en la vivienda de la Sabana de Bogotá* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Piloto de Colombia.
- Mercado, M. V., Esteves, A., y Filippín, C. (2010). Comportamiento termico-energético de una vivienda social de la ciudad de Mendoza, Argentina. *Ambient. constr.*, 10 (2), 87–100.
- Molina Fuertes, J. O. (2016). *Mecanismos de transferencia de calor* (Inf. Téc.). Descargado de <http://alternativarenovable.blogspot.com/2016/04/mecanismos-de-transferencia-de-calor.html>
- Morn, T. (2019). *20 Preguntas frecuentes sobre el vidrio de baja emisividad-Orientación del vidrio*. Descargado de <https://www.mornglass.com/es/20-faq-about-low-emissivity-glass-glass-guidance.html>
- Muñoz Gómez, J. (2017). *Estudio y análisis de la transferencia de calor en una ventana con cavidad interior* (Tesis Doctoral, Universidad Carlos III de Madrid). Descargado de [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/28253/TFG\\_Jorge\\_Munoz\\_Gomez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/28253/TFG_Jorge_Munoz_Gomez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Olivares, M., y Olmo, R. (1994). Los vidrios de baja emisividad. *Materiales de construcción*, 44 (236), 31–52.
- Ordóñez Alvarado, P., Vidal Torres, M. D., y Hamilton Córdova, A. (2017). *Diseño interior a partir de los rasgos morfológicos de la arquitectura cuencana durante la época del afrancesamiento* (Tesis Doctoral, Universidad del Azuay). Descargado de
-

- 
- <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7101>
- Ordóñez, A. (2021). *Tipos de vidrio*. Descargado de <https://www.seiscubos.com/conocimiento/tipos-de-vidrio>
- Ordoñez, G., y Herrera-Terrazas, L. (2018). Arquitectura sostenible en el desierto: redescubriendo las técnicas de climatización pasiva. *Cuadernos Fronterizos*, 44.
- Pesántez, M., y González, I. (2011). *Arquitectura tradicional en Azuay y Cañar. Técnicas, creencias, prácticas y saberes*. Cuenca: INPC Regional, 6.
- Rendón, A. (2009). *Aplicación de un diseño bioclimático, con énfasis en eficiencia energética en un edificio de medicina alternativa* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
- Requena Ruiz, I. (2012). Medio ambiente y modernidad en la obra de Le Corbusier a través del dibujo. *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, 17 (20), 246–255.
- Rivas, F. (2019). *Arquitectura Moderna en el Ecuador: Campus Universidad Central del Ecuador y la influencia de Gilberto Gatto Sobral* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Sáez, J. (2014). *Los abuelos y la educación de los nietos*. *Catolicidad*. Descargado de <http://www.catolicidad.com/2014/06/los-abuelos-y-la-educacion-de-los-nietos.html>
- Salamanca, L. (2013). *Certificación energética Salamanca. Calefacción Solar. Sistemas pasivos de calentamiento 2. Captación solar directa*.
- Sánchez, E. (2017). *Optimización de la fachada de doble piel acristalada con ventilación natural. Metodología de diseño para el análisis de la eficiencia energética del sistema* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Politécnica de Madrid.
- Seguí, P. (2015). *Acristalamiento cerramientos; ventanas, balcones, terrazas y cortinas de cristal*. Descargado de <https://ovacen.com/acristalamiento-ventanas-cerramientos/>
- Serra, R. (2000). *Arquitectura y climas*. Barcelona, España: Gili.
- Simancas, Y. (2003). *Reacondicionamiento bioclimático de viviendas de segunda residencia en clima mediterráneo*. (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Politécnica de Catalunya.
- Tillería González, J. (2010). La arquitectura sin arquitectos, algunas reflexiones sobre arquitectura vernácula. *Revista AUS*, 8, 12–15.
- Tucker, H., y Conill, M. (2002). Patrimonio, memoria y experiencia en Capadocia. *Historia, Antropología y Fuentes Orales*, 39–44.
- Turégano, J., Hernández, M., y García, F. (2003). La inercia térmica de los edificios y su incidencia en las condiciones de confort como refuerzo de los aportes solares de carácter pasivo. *Conarquitectura*, 8, 65–80.
- Vazquez-Illá Muñoz, L. (2019). *Determinación de estándares de diseño y construcción que permitan un funcionamiento bioclimático de escuelas infantiles ubicadas en territorios con clima mediterráneo* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Politécnica de Valencia.
- Ventanas Mágicas Cuenca. (2020). *Ventanas Mágicas. Precio del vidrio doble*. Descargado de <https://www.ventanas-magicas.com>
- World Commission of environment Development. (1987). *Report of the World Commission*
-

---

*on Environment and Development: Our Common Future.* (Inf. Téc.). Descargado de <https://digitallibrary.un.org/record/139811>

## 6.1. Definición de los periodos de estudio

### 6.1.1. Determinación del día frío

En base a los datos presentados anteriormente se ha podido establecer que el mes más frío del año es agosto, con una temperatura cercana a los 14°C. A partir de ello se ha realizado una simulación digital para obtener la temperatura promedio de cada uno de los 31 días del mes. La tabla 5.1 muestra los resultados de esta simulación, donde se puede observar que el día en que se alcanza la temperatura más próxima a los 14 °C es el día 11.

Tabla 6.1: Definición de día frío.

Mes de análisis: Agosto			
Día	Ta (°C)	Día	Ta (°C)
1	12,53	17	16,02
2	14,17	18	15,16
3	14,84	19	14,69
4	15,67	20	14,3
5	14,27	21	13,23
6	15,36	22	14,72
7	15,66	23	15,28
8	14,55	24	14,87
9	14,18	25	13,73
10	14,52	26	14,49
11	13,88	27	14,67
12	15,36	28	14,57
13	15,61	29	13,06
14	16,04	30	14,36
15	15,69	31	15,27
16	15,82		

Fuente: Elaboración propia

---

## 6.1.2. Determinación del día promedio

En base a los datos presentados anteriormente se ha podido establecer que el mes con temperaturas más altas del año es febrero, con una temperatura de 17,5°C. A partir de ello se ha realizado una simulación digital para obtener la temperatura promedio de cada uno de los 28 días del mes. La tabla 5.2 muestra los resultados de esta simulación, donde se puede observar que el día en que se alcanza la temperatura más próxima a los 17,5 °C es el día 9.

Tabla 6.2: Definición de día promedio.

Mes de análisis: Febrero			
Día	Ta (°C)	Día	Ta (°C)
1	16,64	15	14,89
2	15,74	16	15,13
3	17,02	17	13,87
4	17,07	18	15,18
5	15,35	19	14,9
6	14,9	20	15,02
7	16,26	21	15,7
8	16,48	22	13,38
9	17,31	23	15,23
10	16,61	24	15,72
11	16,11	25	14,65
12	16,27	26	14,52
13	15,89	27	13,84
14	14,88	28	14,47

Fuente: Elaboración propia

## 6.2. Influencia de la Orientación y Proporción ventana-fachada (WWR

### 6.2.1. Influencia de la Orientación y Proporción ventana-fachada (WWR) en el día frío, Norte

MODELO BASE ORIENTACIÓN NORTE								
Día de análisis: 11 de Agosto								
Hora	Temperatura Exterior °C	Temperatura del aire interior (Ti) con WWR						
		10	25	40	55	70	85	100
1:00	11,7	18,11	18,15	18,24	18,32	18,38	18,44	18,55
2:00	10,97	17,81	17,86	17,92	17,98	18,02	18,06	18,13

Continúa en la siguiente página

Hora	Temperatura Exterior °C	Temperatura del aire interior (Ti) con WWR						
		10	25	40	55	70	85	100
3:00	10,6	17,64	17,66	17,7	17,74	17,76	17,78	17,84
4:00	10,2	17,43	17,44	17,47	17,49	17,49	17,5	17,53
5:00	9,87	17,22	17,22	17,24	17,26	17,25	17,24	17,26
6:00	9,5	17	17,01	17,03	17,04	17,03	17,02	17,03
7:00	8,35	16,95	16,95	16,97	16,98	16,96	16,95	16,96
8:00	7,98	15,77	15,8	15,83	15,86	15,87	15,88	15,91
9:00	7,98	15,68	15,75	15,82	15,88	15,92	15,96	16,03
10:00	8,75	15,65	15,79	15,94	16,07	16,19	16,29	16,44
11:00	10,5	15,86	16,08	16,31	16,53	16,73	16,91	17,13
12:00	14	16,37	16,69	17,03	17,35	17,67	17,95	18,28
13:00	16,5	16,86	17,29	17,72	18,15	18,57	18,95	19,39
14:00	19,25	17,5	18,01	18,56	19,06	19,57	20,03	20,54
15:00	20,75	18,03	18,56	19,09	19,61	20,11	20,57	21,13
16:00	20,25	18,25	18,76	19,29	19,8	20,34	20,75	21,13
17:00	20,75	18,5	19	19,5	19,99	20,48	20,94	21,43
18:00	20,25	18,57	19	19,46	19,88	20,34	20,68	21,13
19:00	20	18,62	18,98	19,34	19,68	20,05	20,32	21,69
20:00	17,3	18,69	18,97	19,23	19,46	19,74	19,94	20,23
21:00	16,1	19,35	19,58	19,82	20,05	20,22	20,39	20,57
22:00	14,5	19,48	19,67	19,87	20,07	20,22	20,35	20,52
23:00	14	19,27	19,42	19,57	19,71	19,8	19,87	19,99
23:59	13,62	18,93	19,03	19,13	19,21	19,24	19,25	19,3

Tabla 6.3: Influencia del WWR en el día frío, Norte

### 6.2.2. Influencia de la Orientación y Proporción ventana-fachada (WWR) en el día frío, Sur

MODELO BASE ORIENTACIÓN SUR								
Día de análisis: 11 de Agosto								
Hora	Temperatura Exterior °C	Temperatura del aire interior (Ti) con WWR						
		10	25	40	55	70	85	100
1:00	11,7	18,11	18,15	18,22	18,29	18,34	18,39	18,48
2:00	10,97	17,82	17,85	17,9	17,95	17,98	18	18,07
3:00	10,6	17,64	17,65	17,68	17,71	17,71	17,72	17,77
4:00	10,2	17,43	17,43	17,45	17,46	17,45	17,44	17,47
5:00	9,87	17,22	17,21	17,22	17,23	17,21	17,19	17,2
6:00	9,5	17	17	17,01	17,03	16,99	16,98	16,98
7:00	8,35	16,95	16,94	16,95	16,95	16,93	16,91	16,91
8:00	7,98	15,77	15,78	15,81	15,82	15,82	15,81	15,84

Continúa en la siguiente página

Hora	Temperatura Exterior °C	Temperatura del aire interior (Ti) con WWR						
		10	25	40	55	70	85	100
9:00	7,98	15,68	15,73	15,78	15,83	15,86	15,88	15,94
10:00	8,75	15,64	15,75	15,87	15,99	16,08	16,16	16,27
11:00	10,5	15,85	16,04	16,23	16,42	16,58	16,73	16,92
12:00	14	16,35	16,64	16,94	17,23	17,51	17,76	18,05
13:00	16,5	16,85	17,24	17,64	18,03	18,42	18,77	19,17
14:00	19,25	17,49	17,97	18,47	18,95	19,43	19,85	20,32
15:00	20,75	18,03	18,52	19	19,5	19,97	20,44	20,93
16:00	20,25	18,24	18,73	19,22	19,71	20,18	20,61	21,12
17:00	20,75	18,5	18,97	19,44	19,91	20,37	20,81	21,26
18:00	20,25	18,58	19	19,42	19,82	20,25	20,59	21,02
19:00	20	18,63	18,97	19,32	19,64	20	20,27	21,61
20:00	17,3	18,7	18,97	19,26	19,45	19,74	19,94	20,23
21:00	16,1	19,36	19,58	19,82	20,04	20,2	20,36	20,56
22:00	14,5	19,5	19,67	19,86	20,04	20,18	20,3	20,47
23:00	14	19,28	19,42	19,56	19,69	19,77	19,84	19,95
23:59	13,62	18,94	19,03	19,12	19,2	19,22	19,16	19,29

Tabla 6.4: Influencia del WWR en el día frío, Sur

### 6.2.3. Influencia de la Orientación y Proporción ventana-fachada (WWR) en el día frío, Este

MODELO BASE ORIENTACIÓN ESTE								
Día de análisis: 11 de Agosto								
Hora	Temperatura Exterior °C	Temperatura del aire interior (Ti) con WWR						
		10	25	40	55	70	85	100
1:00	11,7	19,25	19,47	19,71	19,94	20,12	20,29	20,52
2:00	10,97	18,91	19,1	19,31	19,51	19,68	19,82	20,02
3:00	10,6	18,67	18,83	19,01	19,18	19,32	19,44	19,61
4:00	10,2	18,42	18,53	18,71	18,86	18,97	19,07	19,21
5:00	9,87	18,18	18,31	18,44	18,56	18,65	18,72	18,84
6:00	9,5	17,93	18,05	18,18	18,29	18,37	18,44	18,54
7:00	8,35	17,89	18,26	18,48	18,5	18,67	18,81	19
8:00	7,98	16,91	17,49	18,08	18,66	19,22	19,72	20,04
9:00	7,98	16,84	17,45	18,08	18,69	19,3	19,83	20,5
10:00	8,75	16,97	17,83	18,71	19,58	20,04	21,17	22,13
11:00	10,5	17,25	18,2	19,18	20,15	21,1	21,92	23,01
12:00	14	17,75	18,61	19,49	20,36	21,21	21,97	22,93
13:00	16,5	18,25	19,08	19,93	20,77	21,58	22,3	23,21
14:00	19,25	18,86	19,69	20,55	21,41	22,25	22,99	23,93

Continúa en la siguiente página

Hora	Temperatura Exterior °C	Temperatura del aire interior (Ti) con WWR						
		10	25	40	55	70	85	100
15:00	20,75	19,35	20,13	21	21,75	22,54	23,24	24,12
16:00	20,25	19,58	20,37	21,09	21,85	22,6	23,25	24,08
17:00	20,75	19,87	20,59	21,3	22,01	22,7	23,33	24,1
18:00	20,25	20	20,72	21,32	21,95	22,57	23,11	23,8
19:00	20	20,11	20,7	21,26	21,8	22,32	22,78	23,37
20:00	17,3	20,2	20,67	21,1	21,55	21,98	22,34	22,81
21:00	16,1	20,73	21,16	21,55	21,9	22,23	22,53	22,94
22:00	14,5	20,82	21,17	21,53	21,85	22,09	22,32	22,59
23:00	14	20,54	20,83	21,11	21,34	21,54	21,75	22,05
23:59	13,62	20,12	20,32	20,05	20,69	20,91	21,11	21,38

Tabla 6.5: Influencia del WWR en el día frío, Este

#### 6.2.4. Influencia de la Orientación y Proporción ventana-fachada (WWR) en el día frío, Oeste

MODELO BASE ORIENTACIÓN OESTE								
Día de análisis: 11 de Agosto								
Hora	Temperatura Exterior °C	Temperatura del aire interior (Ti) con WWR						
		10	25	40	55	70	85	100
1:00	11,7	19,27	19,53	19,82	20,01	20,34	20,55	20,84
2:00	10,97	18,92	19,16	19,41	19,66	19,88	20,06	20,32
3:00	10,6	18,68	18,88	19,1	19,32	19,5	19,65	19,88
4:00	10,2	18,43	18,61	18,8	18,99	19,14	19,27	19,46
5:00	9,87	18,19	18,35	18,52	18,68	18,81	18,92	19,08
6:00	9,5	17,94	18,1	18,25	18,4	18,52	18,62	18,76
7:00	8,35	17,85	17,99	18,14	18,28	18,38	18,47	18,59
8:00	7,98	16,66	16,81	16,96	17,12	17,25	17,35	17,49
9:00	7,98	16,59	16,77	16,95	17,13	17,27	17,39	17,56
10:00	8,75	16,61	16,85	17,09	17,32	17,52	17,69	17,91
11:00	10,5	16,9	17,21	17,52	17,81	18,08	18,31	18,59
12:00	14	17,5	17,9	18,31	18,71	19,07	19,37	19,77
13:00	16,5	18,09	18,61	19,14	19,66	20,16	20,59	21,13
14:00	19,25	18,83	19,54	20,25	20,96	21,66	22,3	23,05
15:00	20,75	19,42	20,33	21,25	21,21	23,18	24,02	25,08
16:00	20,25	19,69	20,69	21,75	22,8	23,83	24,78	25,97
17:00	20,75	20	20,95	21,96	23,01	24,03	24,95	26,08
18:00	20,25	20,17	21,08	22,03	23,01	23,98	24,85	25,93
19:00	20	20,23	20,98	21,74	22,5	23,27	23,97	24,83
20:00	17,3	20,25	20,83	21,39	21,99	22,55	23,08	23,73

Continúa en la siguiente página

Hora	Temperatura Exterior °C	Temperatura del aire interior (Ti) con WWR						
		10	25	40	55	70	85	100
21:00	16,1	20,78	21,28	21,73	21,17	22,62	23,02	23,5
22:00	14,5	20,85	21,28	21,7	22,04	22,37	22,63	23,05
23:00	14	20,56	20,91	21,21	21,49	21,81	22,07	22,45
23:59	13,62	20,05	20,4	20,59	20,84	21,14	21,39	21,73

Tabla 6.6: Influencia del WWR en el día frío, Oeste

### 6.2.5. Influencia de la Orientación y Proporción ventana-fachada (WWR) en el día promedio, Norte

MODELO BASE ORIENTACIÓN NORTE								
Día de análisis: 09 de Febrero								
Hora	Temperatura Exterior °C	Temperatura del aire interior (Ti) con WWR						
		10	25	40	55	70	85	100
1:00	15,2	20,59	20,67	20,77	20,84	20,99	21,08	21,22
2:00	15	20,37	20,44	20,54	20,64	20,71	20,79	20,9
3:00	15	20,25	20,32	20,42	20,51	20,58	20,64	20,74
4:00	14,25	20,04	20,05	20,13	20,21	20,26	20,31	20,39
5:00	14	19,81	19,85	19,92	19,97	20	20,04	20,1
6:00	14	19,67	19,72	19,77	19,83	19,85	19,87	19,92
7:00	13,25	19,7	19,73	19,76	19,8	19,81	19,82	19,85
8:00	13,3	18,49	18,55	18,68	18,78	18,84	18,9	18,97
9:00	15,35	18,83	18,98	19,14	19,29	19,41	19,5	19,63
10:00	17,5	19,06	19,29	19,53	19,75	19,95	20,13	20,35
11:00	19,8	19,48	19,8	20,13	20,43	20,77	21,05	21,39
12:00	20,85	19,84	20,24	20,61	21	21,38	21,7	22,12
13:00	21,75	20,27	20,75	21,21	21,67	22,13	22,55	23,05
14:00	22,15	20,58	21,12	21,67	22,24	22,73	23,19	23,76
15:00	22,05	20,77	21,32	21,87	22,41	22,94	23,41	23,98
16:00	22,5	20,68	21,21	21,76	22,29	22,79	23,23	23,79
17:00	19,85	20,74	21,24	21,74	22,21	22,66	23,09	23,62
18:00	19,95	20,86	21,31	21,76	22,19	22,58	22,95	23,43
19:00	19,25	20,77	21,12	21,45	21,77	22,1	22,39	22,77
20:00	18,25	20,95	21,21	21,45	21,71	21,96	22,19	22,49
21:00	16,5	21,45	21,68	21,88	22,09	22,22	22,31	22,54
22:00	16	21,71	21,91	22,11	22,29	22,42	22,53	22,67
23:00	16	21,5	21,66	21,83	21,98	22,07	22,13	22,26
23:59	16	21,16	21,3	21,43	21,53	21,58	21,63	21,77

Tabla 6.7: Influencia del WWR en el día promedio, Norte

### 6.2.6. Influencia de la Orientación y Proporción ventana-fachada (WWR) en el día promedio, Sur

MODELO BASE ORIENTACIÓN SUR								
Día de análisis: 09 de Febrero								
Hora	Temperatura Exterior °C	Temperatura del aire interior (Ti) con WWR						
		10	25	40	55	70	85	100
1:00	15,2	20,61	20,69	20,79	20,94	20,99	21,08	21,21
2:00	15	20,39	20,46	20,55	20,64	20,71	20,78	20,88
3:00	15	20,28	20,34	20,43	20,51	20,58	20,63	20,73
4:00	14,25	20,01	20,07	20,15	20,22	20,27	20,31	20,48
5:00	14	19,82	19,87	19,93	19,98	20,01	20,03	20,09
6:00	14	19,69	19,73	19,78	19,83	19,85	19,87	19,92
7:00	13,25	19,72	19,74	19,78	19,81	19,8	19,81	19,81
8:00	13,3	18,6	18,66	18,77	18,85	18,91	18,96	19,02
9:00	15,35	18,85	18,99	19,14	19,27	19,39	19,49	19,59
10:00	17,5	19,07	19,29	19,52	19,73	19,92	20,08	20,29
11:00	19,8	19,49	19,8	20,11	20,42	20,73	21	21,31
12:00	20,85	19,85	20,23	20,59	20,96	21,33	21,66	22,06
13:00	21,75	20,27	20,74	21,19	21,64	22,08	22,5	22,98
14:00	22,15	20,59	21,12	21,66	22,15	22,69	23,14	23,69
15:00	22,05	20,78	21,31	21,85	22,38	22,9	23,36	23,91
16:00	22,5	20,95	21,24	21,77	22,28	22,77	23,21	23,75
17:00	19,85	20,76	21,25	21,73	22,2	22,65	23,06	23,58
18:00	19,95	20,89	21,32	21,76	22,18	22,57	22,93	23,39
19:00	19,25	20,79	21,13	21,47	21,78	22,09	22,38	22,75
20:00	18,25	20,98	21,24	21,48	21,72	21,96	22,18	22,47
21:00	16,5	21,48	21,71	21,9	22,08	22,22	22,33	22,53
22:00	16	21,75	21,94	22,13	22,3	22,44	22,54	22,68
23:00	16	21,53	21,68	21,84	21,98	22,07	22,13	22,25
23:59	16	21,19	21,32	21,44	21,44	21,61	21,66	21,77

Tabla 6.8: Influencia del WWR en el día promedio, Sur

### 6.2.7. Influencia de la Orientación y Proporción ventana-fachada (WWR) en el día promedio, Este

MODELO BASE ORIENTACIÓN ESTE								
Día de análisis: 09 de Febrero								
Hora	Temperatura Exterior °C	Temperatura del aire interior (Ti) con WWR						
		10	25	40	55	70	85	100
1:00	15,2	21,88	22,23	22,61	22,95	23,25	23,51	23,85

Continúa en la siguiente página

Hora	Temperatura Exterior °C	Temperatura del aire interior (Ti) con WWR						
		10	25	40	55	70	85	100
2:00	15	21,6	21,92	22,26	22,58	22,86	23,09	23,39
3:00	15	21,43	21,74	22,05	22,34	22,59	22,8	23,08
4:00	14,25	21,14	21,42	21,7	21,96	22,18	22,36	22,61
5:00	14	20,92	21,17	21,42	21,65	21,83	21,99	22,2
6:00	14	20,75	20,92	21,21	21,43	21,59	21,73	21,91
7:00	13,25	20,77	21,07	21,48	21,65	21,88	22,08	22,34
8:00	13,3	19,84	20,76	21,59	22,39	23,17	23,88	24,82
9:00	15,35	20,04	21,64	22,93	24,26	25,54	26,73	28,21
10:00	17,5	20,82	22,32	23,87	25,42	26,91	28,28	29,93
11:00	19,8	21,3	22,61	24,01	25,38	26,71	27,89	29,37
12:00	20,85	21,75	22,84	24	25,16	26,27	27,27	28,54
13:00	21,75	22,15	23,13	24,25	25,33	26,37	27,31	28,49
14:00	22,15	22,4	23,39	24,45	25,5	26,51	27,41	28,55
15:00	22,05	22,54	23,49	24,47	25,45	26,39	27,22	28,28
16:00	22,5	22,42	23,31	24,24	25,15	26	26,78	27,78
17:00	19,85	22,4	23,22	24,09	24,94	25,75	26,47	27,41
18:00	19,95	22,5	23,26	24,04	24,82	25,56	26,21	27,05
19:00	19,25	22,49	23,14	23,79	24,46	25,08	25,63	26,35
20:00	18,25	22,73	23,25	23,8	24,37	24,89	25,35	25,95
21:00	16,5	23,11	23,6	24,06	24,46	24,88	25,24	25,75
22:00	16	23,28	23,74	24,17	24,52	24,85	25,16	25,6
23:00	16	22,98	23,38	23,7	24,05	24,39	24,7	25,11
23:59	16	22,55	22,86	23,14	23,52	23,86	24,14	24,52

Tabla 6.9: Influencia del WWR en el día promedio, Este

### 6.2.8. Influencia de la Orientación y Proporción ventana-fachada (WWR) en el día promedio, Oeste

MODELO BASE ORIENTACIÓN OESTE								
Día de análisis: 09 de Febrero								
Hora	Temperatura Exterior °C	Temperatura del aire interior (Ti) con WWR						
		10	25	40	55	70	85	100
1:00	15,2	21,86	22,2	22,56	22,9	23,21	23,48	23,82
2:00	15	21,58	21,88	22,21	22,53	22,81	23,05	23,37
3:00	15	21,41	21,7	22,01	22,3	22,51	22,77	23,05
4:00	14,25	21,12	21,38	21,66	21,92	22,13	22,32	22,57
5:00	14	20,91	21,13	21,38	21,6	21,79	21,95	22,17
6:00	14	20,73	20,94	21,16	21,37	21,53	21,68	21,87
7:00	13,25	20,71	20,89	21,09	21,26	21,4	21,52	21,68

Continúa en la siguiente página

Hora	Temperatura Exterior °C	Temperatura del aire interior (Ti) con WWR						
		10	25	40	55	70	85	100
8:00	13,3	19,51	19,79	20,03	20,22	20,42	20,59	20,79
9:00	15,35	19,86	20,15	20,45	20,71	20,95	21,15	21,38
10:00	17,5	20,22	20,58	20,93	21,27	21,57	21,83	22,15
11:00	19,8	20,87	21,3	21,75	22,18	22,57	22,92	23,32
12:00	20,85	21,47	21,96	22,44	22,91	23,66	23,75	24,2
13:00	21,75	22,04	22,54	23,09	23,66	24,2	24,68	25,25
14:00	22,15	22,35	22,93	23,59	24,25	24,89	25,45	26,13
15:00	22,05	22,35	23,15	23,94	24,72	25,5	26,2	27,05
16:00	22,5	22,42	23,31	24,24	25,15	26	26,78	27,78
17:00	19,85	22,45	23,37	24,39	25,43	26,44	27,36	28,47
18:00	19,95	22,7	23,87	25,18	26,46	27,78	28,96	30,42
19:00	19,25	22,59	23,41	24,39	25,33	26,25	27,09	28,13
20:00	18,25	22,84	23,37	24,01	24,72	25,39	25,99	26,76
21:00	16,5	23,11	23,61	24,1	24,55	25,03	25,49	26,09
22:00	16	23,27	23,73	24,14	24,53	24,89	25,26	25,77
23:00	16	22,97	23,35	23,68	24,03	24,41	24,75	25,19
23:59	16	22,53	22,82	23,11	23,5	23,84	24,15	24,55

Tabla 6.10: Influencia del WWR en el día promedio, Oeste

## 6.3. Análisis anual de Consumo Energético (CE)

### 6.3.1. Influencia de la orientación y WWR

MODELO BASE DE CONSUMO ENERGÉTICO							
Período de análisis: Anual							
Total de Consumo Energético CE (kWh)							
Orientación	WWR						
	10	25	40	55	70	85	100
Norte	357,98	319,82	285,08	256,28	237,41	222,15	206,6
Sur	360,89	327,93	297,69	272,98	258,7	247,66	239,67
Este	315,01	269,97	231,27	201,31	184,32	174,11	170,82
Oeste	309,9	275,13	213,45	187,57	173,42	172,69	184,35

Tabla 6.11: Influencia de la Orientación y (WWR) en el consumo energético anual

### 6.3.2. Influencia del factor U (vidrio simple frente a vidrio doble)

MODELO BASE DE CONSUMO ENERGÉTICO								
Período de análisis: Anual								
Total de Consumo Energético CE (kWh)								
Orientación	WWR							
	10		25		40		55	
	VS	VD	VS	VD	VS	VD	VS	VD
Norte	357,9	352,1	319,8	303,2	285	257,9	256,2	218,7
Sur	360,8	354,3	327,9	309,6	297,6	267,9	272,9	231,9
Este	315	309,4	269,9	254,4	231,2	206,25	201,3	167,4
Oeste	309,9	305,4	275,1	244,1	213,4	192,2	187,5	153,4

Tabla 6.12: Influencia del factor U en el consumo energético anual, comparación vidrio simple y doble. Pt 1

MODELO BASE DE CONSUMO ENERGÉTICO						
Período de análisis: Anual						
Total de Consumo Energético CE (kWh)						
Orientación	WWR					
	70		85		100	
	VS	VD	VS	VD	VS	VD
Norte	237,4	187,4	222,1	162,8	206,6	137,6
Sur	258,7	203,6	247,6	181,6	239,6	160,8
Este	184,3	139,1	174,1	120,9	170,8	108,7
Oeste	173,4	131	172,6	123,4	184,3	130

Tabla 6.13: Influencia del factor U en el consumo energético anual, comparación vidrio simple y doble. Pt2

## AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Johanna Jackeline Arévalo Arévalo** portador de la cédula de ciudadanía N.º 0105735252. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Impacto de la proporción de la ventana en el comportamiento térmico de la vivienda cuencana”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **6 de septiembre de 2021**



F: .....  
Johanna Jackeline Arévalo Arévalo  
0105735252