



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL**  
**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO**  
**“ARQ. GUILLERMO CUBILLO RENELLA”**

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UNA EDIFICACIÓN Y  
PROPUESTA DE MEJORAMIENTO A TRAVÉS DE LA ARQUITECTURA PASIVA.**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de

**ARQUITECTO**

**AUTORES: VIÑACHI SÁNCHEZ JOSELYN ANDREA**  
**CUSQUILLO IZA JHON XAVIER**

**TUTOR: ING. BISMARCK TORRES RUILOVA, MSc.**

GUAYAQUIL – ECUADOR

2018



<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>		
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE GRADUACIÓN</b>		
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	<b>EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UNA EDIFICACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO A TRAVÉS DE LA ARQUITECTURA PASIVA.</b>	
<b>AUTOR(ES) (apellidos/nombres):</b>	<b>VIÑACHI SÁNCHEZ JOSELYN ANDREA CUSQUILLO IZA JHON XAVIER</b>	
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):</b>	<b>ING. BISMARCK TORRES R. Y ARQ. CARLOS PAZMIÑO F.</b>	
<b>INSTITUCIÓN:</b>	<b>UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL</b>	
<b>UNIDAD/FACULTAD:</b>	<b>ARQUITECTURA Y URBANISMO</b>	
<b>MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:</b>		
<b>GRADO OBTENIDO:</b>	<b>ARQUITECTO</b>	
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	<b>Rendimiento energético, Eficiencia energética, arquitectura pasiva, protección solar, cubiertas verdes, Fachadas ventiladas.</b>	
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>		
<p>Se desarrolla esta investigación a razón de demostrar como el uso de la arquitectura pasiva puede contribuir a la disminución del consumo de energía por climatización, en el funcionamiento de las edificaciones públicas administrativas educativas ubicadas en climas tropicales como el de Guayaquil. El trabajo consiste en evaluar energéticamente considerando las variables de carga térmica por ganancias solares, consumo de energía eléctrica y confort, a un edificio de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil. La evaluación se la realiza por medio de simulaciones con el programa DesignBuilder. Los resultados de la evaluación muestran que la mayor carga térmica por ganancias solares se presenta en ventanas externas, cubiertas, y muros. En consecuencia, se elabora una propuesta de intervención sostenible en la edificación para mejorar su rendimiento energético, considerando aleros en ventanas, una cubierta verde, recubrimiento de muros y fachadas ventiladas. Al evaluar la propuesta de intervención sostenible, se evidencia en todos los casos una disminución de la carga térmica por ganancias solares y un ahorro anual de energía eléctrica del 24.56%.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono: 0992677880 -0998491754</b>	<b>E-mail: joselyn.vinachis@ug.edu.ec jhon.cusquilloi@ug.edu.ec</b>
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:</b>	<b>Nombre: SECRETARIA DE LA FACULTAD</b>	
	<b>Teléfono: (04)228-4505</b>	
	<b>E-mail: fau@ug.edu.ec</b>	



## LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS

Yo, **VIÑACHI SÁNCHEZ JOSELYN ANDREA** con C.I. No. **1003161872**, y **CUSQUILLO IZA JHON XAVIER** con C.I. No. **0952828796** certifico que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es "EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UNA EDIFICACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO A TRAVÉS DE LA ARQUITECTURA PASIVA" son de mi absoluta propiedad y responsabilidad Y SEGÚN EL Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN\*, autorizo el uso de una licencia gratuita intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la presente obra con fines no académicos, en favor de la Universidad de Guayaquil, para que haga uso del mismo, como fuera pertinente.

**VIÑACHI SÁNCHEZ JOSELYN ANDREA**

C.I. No. **1003161872**

**CUSQUILLO IZA JHON XAVIER**

C.I. No. **0952828796**

\*CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN (Registro Oficial n. 899 - Dic./2016) Artículo 114.- De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines académicos.





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO  
UNIDAD DE TITULACIÓN

**FAU** | FACULTAD DE  
ARQUITECTURA  
Y URBANISMO  
"Arq. Guillermo Cubillo Renella"

ANEXO 4

Guayaquil, 17 de Agosto del 2018

Sr. Arq. Alfredo Carabajo, MSc.

DIRECTOR DE CARRERA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación "EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UNA EDIFICACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO A TRAVÉS DE LA ARQUITECTURA PASIVA", de los estudiantes **Viñachi Sánchez Joselyn Andrea y, Cusquillo Iza Jhon Xavier**, indicando que han cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que los estudiantes están aptos para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,

ING. BISMARK TORRES R, MSc.

TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

C.I. 0703610972



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO  
UNIDAD DE TITULACIÓN

**FAU** | FACULTAD DE  
ARQUITECTURA  
Y URBANISMO  
"Arq. Guillermo Cubillo Renella"

ANEXO 11

Guayaquil, 17 de Agosto del 2018

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR REVISOR

Habiendo sido nombrado ARQ. CARLOS CRISTÓBAL PAZMIÑO FRANCO, tutor del trabajo de titulación **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UNA EDIFICACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO A TRAVÉS DE LA ARQUITECTURA PASIVA** certifico que el presente trabajo de titulación, elaborado por **JOSELYN ANDREA VIÑACHI SÁNCHEZ**, con C.I. No. **1003161872**, y **JHON XAVIER CUSQUILLO IZA**, con C.I. No. **0952828796**, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de **ARQUITECTO**, en la Carrera de Arquitectura/Facultad de Arquitectura y Urbanismo, ha sido **REVISADO Y APROBADO** en todas sus partes, encontrándose apto para su sustentación.

ARQ. CARLOS PAZMIÑO

DOCENTE TUTOR REVISOR

C.I. No. 0925021313

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN ORAL

---

TRIBUNAL 1 (Presidente)

Nombre:

C.I.:

---

TRIBUNAL 2

Nombre:

C.I.

---

TRIBUNAL 3

Nombre:

C.I.

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este estudio a nuestras familias que nos han brindado su apoyo y amor incondicional durante este proceso.

A todos los ángeles que nos cuidan desde el cielo.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por brindarnos fuerzas y permitirnos coincidir en el momento preciso de nuestras vidas.

Un especial agradecimiento al Ing. Bismark Torres R. por la guía, enseñanza y motivación para desarrollar este estudio e introducirnos en el campo de la investigación.

Al Arq. Carlos Pazmiño F. por su disposición y apoyo fundamental en el manejo del Software de simulación energética.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPITULO I</b> .....	3
1. EL PROBLEMA.....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Formulación del problema.....	5
1.3. Sistematización del problema.....	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Formulación del tema.....	7
1.6. Justificación del tema.....	7
1.7. Delimitación del tema.....	8
1.8. Premisa de la investigación.....	8
<b>CAPITULO II</b> .....	9
2. MARCO REFERENCIAL.....	9
2.1. Marco teórico.....	9
2.1.1. Eficiencia energética.....	9
2.1.2. Demanda y consumo de energía en el edificio.....	11
2.1.3. Nearly Zero Energy Building.....	12
2.1.4. Arquitectura pasiva.....	14
2.1.4.1. Estrategias de arquitectura pasiva.....	14
2.1.5. Software de simulación energética.....	22
2.1.5.1. DesignBuilder.....	22
2.1.5.2. Energy Plus.....	24
2.1.5.3. SOL-AR.....	25
2.2. Marco contextual.....	26
2.2.1. Ubicación.....	26
2.2.1.1. Orientación.....	27
2.2.1.2. Clima.....	27
2.2.2. Funcionamiento.....	28
2.2.3. Modelos análogos.....	31
2.3. Marco conceptual.....	33

2.4. Marco legal.....	34
2.4.1. Normativa Europea .....	35
2.4.2. Normativa vigente en Ecuador .....	36
<b>CAPITULO III</b> .....	<b>38</b>
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	38
3.1. Enfoque de la investigación.....	38
3.2. Métodos .....	38
3.3. Técnicas e instrumentos .....	38
<b>CAPITULO IV</b> .....	<b>52</b>
4. RESULTADOS .....	52
4.1. Resultados de la evaluación energética del edificio Asociación de Profesores en condiciones actuales .....	52
4.1.1. Evaluación mensual .....	52
4.1.2. Evaluación anual .....	56
<b>CAPITULO V</b> .....	<b>58</b>
5. PROPUESTA DE ARQUITECTURA PASIVA.....	58
5.1. Objetivos de la propuesta .....	58
5.1.1. Objetivo general.....	58
5.1.2. Objetivos específicos .....	58
5.2. Concepto arquitectónico .....	58
5.3. Análisis de función .....	63
5.4. Propuesta formal .....	75
5.5. Resultados de la evaluación energética del edificio Asociación de Profesores bajo condiciones de arquitectura pasiva .....	77
5.5.1. Evaluación mensual .....	78
5.5.2. Evaluación anual .....	80
5.6. Comparación.....	82
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>85</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>86</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>87</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>92</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Promedio mundial anual de las abundancias en superficie (2016) y tendencias de los principales GEI medidos por la red de observación global de los GEI de la VAG de la OMM.....</i>	<i>3</i>
<i>Tabla 2. Emisiones de dióxido de carbono en Ecuador (2015) por sectores .....</i>	<i>4</i>
<i>Tabla 3. Estrategias para la obtención de un nZEB .....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 4. Enfriamiento pasivo en verano .....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 5. Condiciones externas de diseño para la ciudad de Guayaquil.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 6. Zonas de planta baja.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 7. Zonas de planta alta .....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 8. Zonas del edificio Asociación de Profesores .....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 9. Ficha técnica de bloque de hormigón.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 10. Ficha técnica de cimentación de H.A. ....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 11. Ficha técnica de losa de H.A. ....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 12. Ficha técnica de baldosa .....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 13. Ficha técnica de celosía de vidrio.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 14. Ganancia por iluminación general .....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 15. Ganancia (W/m 2) por computadoras y equipos de oficina, cocina procesos y misceláneos ...</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 16. Ganancia de calor sensible por computadoras y equipos de oficina, cocina procesos y misceláneos .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 17. Ganancias de calor sensible por ocupación del edificio Asociación de Profesores.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 18. Ganancia solar por ventanas exteriores .....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 19. Carga térmica por ganancias internas y solares mensuales del edificio Asociación de Profesores.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 20. Carga térmica por ganancias solares mensuales en materiales constructivos del edificio Asociación de Profesores .....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 21. Carga térmica por ganancias internas y solares anuales del edificio Asociación de Profesores .....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 22. Carga térmica por ganancias solares anuales en elementos constructivos del edificio Asociación de Profesores .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 23. Consumo energético total del edificio Asociación de Profesores.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 24. Ganancias térmicas anuales.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 25. Ficha técnica de aluminio .....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 26. Ficha técnica de cubierta verde de maracuyá.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 27. Ficha técnica de espuma de poliuretano .....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 28. Carga térmica por ganancia internas y solares mensuales de propuesta de arquitectura pasiva .....</i>	<i>79</i>

<i>Tabla 29. Carga térmica por ganancias solares mensuales en materiales de construcción de propuesta de arquitectura pasiva.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 30. Carga térmica por ganancias internas y solares anuales de propuesta de arquitectura pasiva</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 31. Carga térmica por ganancias solares anuales en materiales constructivos de propuesta de arquitectura pasiva.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 32. Consumo energético total de la propuesta de arquitectura pasiva .....</i>	<i>82</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Ecuación de consumo energía</i> .....	11
<i>Figura 2. Pirámide energética. Exigencias del CTE DB HE</i> .....	13
<i>Figura 3. Ecuación del balance de un nZEB</i> .....	13
<i>Figura 4. Orientación de las fachadas</i> .....	15
<i>Figura 5. Factor de forma</i> .....	16
<i>Figura 6. Esquema de protección solar</i> .....	16
<i>Figura 7. Esquema de fachada ventilada</i> .....	18
<i>Figura 8. Influencia de la masa térmica en el confort</i> .....	20
<i>Figura 9. Flujo de calor en una edificación</i> .....	21
<i>Figura 10. Ubicación Universidad de Guayaquil</i> .....	26
<i>Figura 11. Orientación del edificio Asociación de Profesores de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo</i> .....	27
<i>Figura 12. Datos de temperatura de la ciudad de Guayaquil</i> .....	28
<i>Figura 13. Plano de zonas de P.B. del edificio Asociación de Profesores</i> .....	29
<i>Figura 14. Plano de zonas de P.A. del edificio Asociación de Profesores</i> .....	30
<i>Figura 15. Edificio de centro empresarial ENERTIC (San Sebastián – España)</i> .....	32
<i>Figura 16. Proyecto de investigación de eficiencia energética en edificaciones (Urcuquí – Ecuador)</i> .....	33
<i>Figura 17. Fachada principal del edificio Asociación de Profesores</i> .....	40
<i>Figura 18. Vista axonométrica de modelo volumétrico de edificio Asociación de Profesores FAU</i> .....	44
<i>Figura 19. Elementos constructivos dentro del Software DesignBuilder</i> .....	49
<i>Figura 20. Esquema de metodología de estudio</i> .....	51
<i>Figura 21. Vista de parámetros que generan ganancias internas y solares del edificio Asociación de Profesores</i> .....	52
<i>Figura 22. Vista de parámetros que generan ganancias solares por elementos constructivos del edificio Asociación de Profesores</i> .....	54
<i>Figura 23. Célula Epitelial</i> .....	59
<i>Figura 24. Abstracción geométrica de la célula epitelial a hexágono regular</i> .....	60
<i>Figura 25. Rotación del rectángulo cubico sobre el eje central del hexágono</i> .....	61
<i>Figura 26. Figura geométrica cuadrada</i> .....	61
<i>Figura 27. Rectángulo de raíz cuadrada</i> .....	61
<i>Figura 28. Rectángulo de raíz cubica</i> .....	62
<i>Figura 29. Subdivisión de rectángulo de raíz cubica</i> .....	62
<i>Figura 30. Angulo alfa de proyección de alero en fachada este del edificio Asociación de Profesores</i> ....	65
<i>Figura 31. Esquema de cálculo de alero de fachada este del edificio Asociación de Profesores</i> .....	66
<i>Figura 32. Angulo alfa de proyección de alero en fachada oeste del edificio Asociación de Profesores</i> ..	67

<i>Figura 33. Esquema de cálculo de alero de fachada oeste del edificio Asociación de Profesores .....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 34. Esquema de solución del cálculo de alero fachada este del edificio Asociación de Profesores .....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 35. Corte transversal de fachada este del edificio Asociación de Profesores.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 36. Esquema de solución del cálculo de alero fachada oeste del edificio Asociación de Profesores .....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 37. Corte transversal de fachada oeste de edificio Asociación de Profesores .....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 38. Sistema de conducción en ramada .....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 39. Corte de fachada ventilada.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 40. Propuesta formal de estrategias de arquitectura pasiva .....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 41. Estrategia de solución en ventanas exteriores.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 42. Estrategia de solución en muros exteriores .....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 43. Estrategia de solución en cubierta.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 44. Emplazamiento de la propuesta de arquitectura pasiva .....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 45. Edificio Asociación de Profesores en DesignBuilder con propuesta de arquitectura pasiva ....</i>	<i>77</i>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1. Ganancias internas y solares mensuales del edificio Asociación de Profesores .....</i>	<i>53</i>
<i>Gráfico 2. Ganancias térmicas en materiales de construcción del edificio Asociación de Profesores .....</i>	<i>55</i>
<i>Gráfico 3. Ganancias internas y solares anuales del edificio Asociación de Profesores .....</i>	<i>56</i>
<i>Gráfico 4. Ganancias solares anuales en elementos constructivos del edificio Asociación de Profesores .....</i>	<i>57</i>
<i>Gráfico 5. Ganancias internas y solares mensuales de propuesta de arquitectura pasiva.....</i>	<i>78</i>
<i>Gráfico 6. Ganancias térmicas en materiales de construcción de propuesta de arquitectura pasiva.....</i>	<i>79</i>
<i>Gráfico 7. Ganancias internas y solares anuales de propuesta de arquitectura pasiva.....</i>	<i>80</i>
<i>Gráfico 8. Ganancias solares anuales en materiales constructivos de propuesta de arquitectura pasiva</i>	<i>81</i>
<i>Gráfico 9. Comparación de cargas térmicas.....</i>	<i>82</i>
<i>Gráfico 10. Comparación de consumo de energía total anual .....</i>	<i>83</i>
<i>Gráfico 11. Porcentajes de consumo de energía total anual.....</i>	<i>83</i>
<i>Gráfico 12. Porcentajes de carga térmica por estrategias de arquitectura pasiva .....</i>	<i>84</i>

## ÍNDICE DE ANEXOS

*Anexo 1. Detalle de Propiedades de Fachada Ventilada en el Software DesignBuilder.*

*Anexo 2. Detalle de Propiedades de Aislante en Muros con Espuma de Poliuretano en el Software DesignBuilder.*

*Anexo 3. Detalle de Propiedades de Cubierta Verde de Maracuyá en el Software DesignBuilder*

*Anexo 4. Planos Generales del Proyecto.*

# EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UNA EDIFICACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO A TRAVÉS DE LA ARQUITECTURA PASIVA.

**Autores:** Viñachi Sánchez Joselyn Andrea  
Cusquillo Iza Jhon Xavier

**Tutor:** Ing. Bismark Torres Ruilova, MSc.

## RESUMEN

Se desarrolla esta investigación a razón de demostrar como el uso de la arquitectura pasiva puede contribuir a la disminución del consumo de energía por climatización, en el funcionamiento de las edificaciones públicas administrativas educativas ubicadas en climas tropicales como el de Guayaquil. El trabajo consiste en evaluar energéticamente considerando las variables de carga térmica por ganancias solares, consumo de energía eléctrica y confort, a un edificio de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil. La evaluación se realiza por medio de simulaciones con el software DesignBuilder. Los resultados de la evaluación muestran que la mayor carga térmica por ganancias solares se presenta en ventanas externas, cubiertas, y muros. En consecuencia, se elabora una propuesta de intervención sostenible en la edificación para mejorar su rendimiento energético, considerando aleros en ventanas, una cubierta verde, recubrimiento de muros y fachadas ventiladas. Al evaluar la propuesta de intervención sostenible, se evidencia en todos los casos una disminución de la carga térmica por ganancias solares y un ahorro anual de energía eléctrica del 24.56%.

**Palabras Claves:** Rendimiento energético, Eficiencia energética, Arquitectura pasiva, Protección solar, Cubierta verde, Fachada ventilada.

# EVALUATION OF ENERGY PERFORMANCE OF A BUILDING AND PROPOSAL OF IMPROVEMENT THROUGH PASSIVE ARCHITECTURE.

**Authors:** Viñachi Sánchez Joselyn Andrea  
Cusquillo Iza Jhon Xavier

**Advisor:** Ing. Bismark Torres Ruilova, MSc.

## ABSTRACT

This research is developed to demonstrate how the use of passive architecture can contribute to the reduction of energy consumption by air conditioning, in the operation of educational administrative public buildings located in tropical climates such as Guayaquil. This work consists in evaluating energetically considering the variables of thermal load for solar gains, electric power consumption and comfort, to a building of the Faculty of Architecture and Urbanism of the University of Guayaquil. The evaluation is carrying out through simulations with the DesignBuilder program. The results of the evaluation shows that the highest thermal load for solar gains occurs in external windows, roofs, and walls. Consequently, a proposal for sustainable intervention in the building is made to improve its energy efficiency, considering windows eaves, a green roof, wall covering and ventilated facades. When evaluating the proposal of sustainable intervention, it is evident in all the cases a reduction of the thermal load by solar gains and an annual saving of electric energy of 24.56%.

**Keywords:** Energy Efficiency, Passive architecture, Solar protection, Green roof, Ventilated facade.

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial las edificaciones emiten alrededor del 10% de dióxido de carbono a la atmósfera, debido a que la principal fuente de la demanda energética es la explotación de los recursos no renovables, y como consecuencia provoca un aumento anual de los gases de efecto invernadero, como lo demuestra la Organización Meteorológica Mundial en su informe, en el que describe que durante el 2016 hubo  $403,3 \pm 0,1$  ppm de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

En Ecuador, el sector de la construcción e industrias manufactureras emitieron alrededor de 4.4 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> durante el 2015 (Organización Meteorológica Mundial, 2017).

Dentro del sector de la construcción se encuentran las edificaciones públicas y administrativas en donde se ve reflejado la falta de criterios de eficiencia energética y arquitectura pasiva, produciendo el uso excesivo de sistemas de climatización que aportan emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, contaminando el medio ambiente y provocando un consumo elevado de energía eléctrica especialmente en climas cálidos como la ciudad de Guayaquil.

La presente investigación busca realizar una evaluación mensual y anual tanto del consumo energético como de las cargas térmicas de los elementos constructivos del edificio Asociación de Profesores de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil, he implementar estrategias de arquitectura pasiva como solución, que ayuden a reducir la demanda de energía eléctrica y la carga térmica de las superficies con mayor afectación.

El software que se utiliza para las simulaciones energéticas es DesignBuilder, que usa el motor de cálculo EnergyPlus, para determinar el comportamiento térmico del edificio y el consumo energético total, mediante datos estadísticos mensuales y anuales.

Esta investigación se divide en cinco capítulos, iniciando con la introducción en el que se explica de manera resumida el proyecto.

Capítulo I, Se plantea la problemática con respecto a la eficiencia energética en edificaciones a nivel mundial y a nivel Ecuador, se realiza la formulación del problema, sistematización del problema y se plantean los objetivos de la investigación, se realiza la formulación, justificación y delimitación del tema y finalmente se plantea la premisa de la investigación.

Capítulo II, Se establece el marco referencial de la investigación, analizando aspectos teóricos, contextuales, conceptuales, legales y normativos que sirven como justificación del tema de estudio.

Capítulo III, Se describe la metodología aplicada, el tipo de enfoque y las técnicas e instrumentos que se utilizaron durante el desarrollo de la investigación.

Capítulo IV, Se analizan los resultados obtenido de las evaluaciones energéticas mensuales y anuales del edificio de estudio.

Capítulo V, Se presenta la propuesta teórica con la finalidad de solucionar la problemática, se comparan los resultados obtenidos de las simulaciones energéticas del edificio en condiciones actuales y con la propuesta de arquitectura pasiva, finalmente se determinan las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

# CAPITULO I

## 1. EL PROBLEMA

En el presente capítulo se describe la problemática respecto al rendimiento energético de las edificaciones y como el uso excesivo de sistemas de climatización aportan al calentamiento global.

### 1.1. Planteamiento del problema

Hay una relación directa entre el crecimiento de la población, el desarrollo de un país y el consumo de energía. La demanda energética que se sustenta en combustibles fósiles tiene el riesgo de agotarse debido a que son recursos no renovables y su combustión trae como consecuencia la generación de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente Dióxido de Carbono “CO<sub>2</sub>” (Torres, 2014). Esta situación nos obliga a conservar la energía y utilizarla de manera eficiente, buscando soluciones que eviten las pérdidas de energía y el consumo excesivo.

El dióxido de carbono es el gas de efecto invernadero más abundante emitido como consecuencia de las actividades humanas. Según el Boletín de la Organización Meteorológica Mundial (2017), la cantidad de CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera alcanzó 403,3 partes por millón en el 2016.

Mundialmente los edificios representan alrededor del 10% de las emisiones directas de CO<sub>2</sub>, sin embargo, al incluir las emisiones del uso de electricidad, se incrementa esta proporción hasta el 30% (Hernández, 2012).

*Tabla 1. Promedio mundial anual de las abundancias en superficie (2016) y tendencias de los principales GEI medidos por la red de observación global de los GEI de la VAG de la OMM*

Abundancia mundial de CO <sub>2</sub> en 2016	Abundancia mundial en 2016 con relación a 1750	Aumento en valor absoluto entre 2015 y 2016	Aumento registrado en valor relativo entre 2015 y 2016	Aumento anual medio en valor absoluto durante los últimos 10 años
403,3 ± 0,1 ppm	145%	3,3 ppm	0,83%	2,21 ppm año <sup>-1</sup>

*Fuente:* Organización Meteorológica Mundial (2017)

De acuerdo a las estadísticas de International Energy Agency (2017), en el año 2015, Ecuador presentó un promedio de emisiones de 37.6 millones de toneladas de dióxido de carbono por combustión de gasolina, mientras que el sector de industrias manufactureras y construcción presento un promedio de emisiones de 4.4 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>.

*Tabla 2. Emisiones de dióxido de carbono en Ecuador (2015) por sectores*

	Total, de emisiones de combustión de gasolina	Electricidad y producción de calor	Otra energía ind. Uso propio	Industrias manufactureras y Construcción	Transporte	Carreteras	Otros sectores	Residencial
<b>Millones de toneladas de CO<sub>2</sub></b>	<b>37.6</b>	<b>8.7</b>	<b>1.4</b>	<b>4.4</b>	<b>16.9</b>	<b>16.1</b>	<b>6.2</b>	<b>2.4</b>

*Fuente: Fuente: Organización Meteorológica Mundial (2017)*

En Ecuador los sectores residencial, comercial y público son los responsables del 18% del consumo energético total y del 57% del consumo de energía eléctrica (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2016).

La práctica de diseñar y construir bajo criterios de eficiencia energética y sostenibilidad, haciendo uso de la arquitectura pasiva es muy limitada, lo que conlleva a pérdidas energéticas y un elevado costo de funcionamiento de las edificaciones contaminando cada vez más el medio ambiente y acelerando el calentamiento global (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables - INER, 2014).

“Según datos del CONELEC (2008), el potencial solar de Guayaquil es de 1856 kWh/m<sup>2</sup> por año. Esta particularidad hace que la climatización sea necesaria durante todo el año, principalmente en edificaciones comerciales e institucionales” (Naranjo, Rousse, & Quesada, 2015, pág. 2).

El uso excesivo de sistemas de climatización responde a la falta de criterios de eficiencia energética y sostenibilidad al momento de diseñar, los sistemas buscan alcanzar el confort en el interior de los espacios durante todo el año especialmente en climas cálidos como la ciudad de Guayaquil.

Estos sistemas de climatización emplean equipos de refrigeración por compresión generando pérdidas económicas para el Estado teniendo en cuenta que la electricidad es subsidiada y que esos recursos pueden ser empleados en otras necesidades del país (Naranjo, Rouse, & Quesada, 2015, pág. 2).

Actualmente el nivel de confort en los edificios se suele confiar fundamentalmente, a los sistemas convencionales de climatización; en menor medida a los sistemas y soluciones pasivas; y apenas se presta importancia a la influencia de la forma arquitectónica.

Para ser eficientes en el uso de la energía, es necesario que la edificación sea capaz de generar, recibir, almacenar y distribuir energía térmica y eléctrica de forma inteligente, sin renunciar a la estética, ni a las condicionantes técnicas, espaciales y formales propios de la Arquitectura.

Para el caso de estudio se eligió el edificio Asociación de Profesores de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil, debido a que existe un sistema de climatización poco eficiente, generando mayor consumo eléctrico, además no incorpora en su diseño estrategias de arquitectura pasiva eficientes como orientación y protección solar.

## 1.2. Formulación del problema

¿Tiene influencia la arquitectura pasiva en el rendimiento energético del edificio Asociación de Profesores de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil?

## 1.3. Sistematización del problema

¿Cómo se puede evaluar el rendimiento energético del edificio de Asociación de Profesores?

¿Cuáles son los criterios que se deben considerar para mejorar el rendimiento energético de las edificaciones?

¿Cómo influye la protección solar en el comportamiento térmico del edificio?

¿De qué manera se podrá mejorar la eficiencia energética del edificio de Asociación de Profesores?

¿Cómo se puede evaluar si las acciones propuestas han ayudado a mejorar el rendimiento energético del edificio de Asociación de Profesores?

#### 1.4. Objetivos

##### 1.4.1. Objetivo general

Evaluar el desempeño energético desde el punto de vista de ganancias térmicas y consumo de energía del edificio de Asociación de Profesores, mediante la aplicación de software digitales de simulación para realizar una propuesta de arquitectura pasiva que ayude a mejorar su rendimiento energético.

##### 1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar a través de simulaciones energéticas, mediante el software DesignBuilder, EnergyPlus y SOL-AR, el comportamiento del edificio respecto a la carga térmica y consumo de energía eléctrica, considerando orientación, protección solar, factor de forma y materiales.
- Analizar el estado del arte en cuanto a estrategias y criterios de arquitectura pasiva para mejorar la eficiencia energética de las edificaciones.
- Mencionar la normativa vigente en Ecuador respecto a la eficiencia energética en el diseño arquitectónico.
- Establecer una propuesta de arquitectura pasiva para mejorar la eficiencia energética del edificio.
- Comparar los resultados obtenidos de las simulaciones energéticas del edificio en condiciones actuales y la propuesta de arquitectura pasiva.

### 1.5. Formulación del tema

Con la finalidad de mejorar el rendimiento energético del edificio Asociación de Profesores de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil, se plantea un proyecto de investigación basado en la **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UNA EDIFICACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO A TRAVÉS DE LA ARQUITECTURA PASIVA.**

### 1.6. Justificación del tema

El tema de estudio se encuentra respaldada en las metas declarativas de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) de las Naciones Unidas (2000), en el objetivo 7 que promueve: “garantizar la sostenibilidad del medio ambiente”, y también se encuentra amparada en la política del Ecuador dentro de los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV) 2013-2017, con los cuales el sector energético encuentra relación con el objetivo 7 que busca: “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global”; y el Objetivo 11, que establece: “Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo ).

De igual manera en la Constitución del Ecuador el tema de estudio se encuentra respaldado a través de sus siguientes artículos: Art. 413, que dice: “El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto”; y el Art. 414, que dice: “El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático” (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008).

Según el estudio de la Empresa Pública Estratégica Corporación Eléctrica del Ecuador (2016), el país no cuenta con construcciones de edificaciones con consumo de energía cercano a cero, es importante que los arquitectos puedan desarrollar modelos de edificaciones energéticamente eficientes, que contribuyan al progreso del país, reduciendo el consumo de energía, causando un menor impacto en el cambio climático,

reducción de los gases de efecto invernadero; y así cumplir en parte con lo establecido en el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París.

Con estos principios de soberanía energética, el Gobierno ecuatoriano, a través de sus sectores estratégicos se encuentra trabajando y articulando esfuerzos para fomentar la producción y el uso eficiente de la energía.

#### 1.7. Delimitación del tema

País: Ecuador

Espacio: Edificio de Asociación de Profesores de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil.

Objeto de investigación: Arquitectura pasiva.

Campo de acción: Rendimiento Energético.

Población: Profesores y Estudiantes de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil.

Tiempo: Mayo – Agosto 2018.

El estudio se basa en el análisis de la carga térmica y consumo de energía en función de orientación, protección solar, factor de forma y materiales del edificio de Asociación de Profesores de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil, ubicado en la ciudadela Bolivariana.

#### 1.8. Premisa de la investigación

Aplicando arquitectura pasiva se puede mejorar el rendimiento energético de un edificio público administrativo.

## CAPITULO II

### 2. MARCO REFERENCIAL

A continuación, se describen los aspectos referenciales, teóricos, contextual conceptuales, legales y normativos que sirven de aporte para el desarrollo de la fundamentación teórica de la propuesta.

#### 2.1. Marco teórico

##### 2.1.1. Eficiencia energética

La Eficiencia Energética es realizar un aprovechamiento óptimo de la energía, y ello no implica renunciar a la calidad de vida sino obtener los mismos bienes, servicios y realizar las mismas actividades sin desperdiciarla (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable - MEER, 2014).

La Comisión Europea (2016), en su informe anual menciona que los edificios representan un 40% del consumo total de energía, siendo la principal fuente de emisiones de CO<sub>2</sub>, cerca de un 75% de las edificaciones son ineficientes desde el punto de vista energético, esto se debe a la falta de inversión y a los numerosos obstáculos a los que se enfrenta. Las inversiones en ahorro energético suelen ser desatendidas debido a la escasez de capital, la ausencia de información fiable, la falta de trabajadores cualificados o dudas sobre los posibles beneficios.

La Comisión Europea (2016) plantea establecer un ahorro energético del 30% para el 2030 como uno de sus objetivos principales de eficiencia energética, con la finalidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Se espera que este objetivo genere un aumento del PIB de hasta 70 000 millones de EUR y la creación de más de 400 000 puestos de empleos, así como una nueva reducción de la factura de la importación de combustibles fósiles.

La Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios (EPBD) de la Unión Europea adopta una visión amplia de la eficiencia energética, de manera que en el diseño pueden

tenerse en cuenta aspectos como la masa térmica. La Directiva exige que se tengan en cuenta, al menos, los siguientes aspectos:

- Las características térmicas del edificio (por ejemplo, su piel externa y su tabiquería interna), incluyendo su hermeticidad.
- Instalaciones de calefacción y agua caliente, incluyendo sus características de aislamiento.
- Sistemas de aire acondicionado.
- Sistemas de ventilación mecánica.
- Instalaciones empotradas de iluminación (principalmente en edificios no residenciales).
- Posición y orientación del edificio, incluyendo el clima exterior.
- Sistemas solares pasivos y protección solar.
- Ventilación natural.
- Condiciones climáticas internas, incluyendo el clima interior diseñado.

El objetivo de la eficiencia energética en la edificación es reducir el consumo de energía primaria, y consecuentemente las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera debido a la actividad constructiva y, sobre todo al uso de los edificios (Camara de Industrias y Comercio Ecuatoriano-Alemana, 2016).

Para la Camara de Industrias y Comercio Ecuatoriano-Alemana (2016), la eficiencia energética en la edificación se debe conseguir a partir de la forma, la proporción, los materiales y la orientación, además de los sistemas pasivos que aprovechan las condiciones climáticas del entorno y los sistemas activos de alta eficiencia alimentados con energías renovables.

El Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables - INER (2014), establece que la eficiencia energética en las edificaciones busca disponer adecuadamente de los recursos que intervienen en los procesos de construcción y uso de un inmueble. Estos pueden ser: factor de forma, características climáticas del sitio, materiales utilizados y características de los equipos e instalaciones.

El INER, busca implementar conceptos sobre eficiencia energética y energía renovable durante la fase de planificación, ejecución y uso de las edificaciones; lo que permite mejorar la interacción entre el ser humano y el medio ambiente.

### 2.1.2. Demanda y consumo de energía en el edificio

La demanda de energía es la cantidad de energía necesaria que el edificio requiere para mantener su interior en condiciones de confort.

El consumo de energía que requieren los usuarios tiene una relación directa con la calificación energética alcanzada, y se expresa en la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo Energético} = \frac{\text{Demanda de Energía}}{\text{Rendimiento del Sistema}} - \text{Aporte de Energías Renovables}$$

*Figura 1. Ecuación de consumo energía*

*Fuente: Hormigón*

Para disminuir el consumo de energía del edificio y mejorar su calificación energética podemos seguir las siguientes recomendaciones:

- Reducir la demanda de energía, mejorando térmicamente el edificio mediante las siguientes estrategias pasivas que no requieren consumo de energía:

- Adaptar el edificio a su entorno teniendo en cuenta la orientación, la captación solar y la dirección de los vientos.
- Un adecuado control y gestión de la energía que requiere el edificio, según las condiciones de uso del edificio.
- Estudiar el comportamiento de la envolvente.
- Proveer de un correcto control solar a la edificación.
- Controlar la renovación de aire para evitar las infiltraciones de flujos de calor.
- Mejorar la eficiencia en las instalaciones de iluminación.

- Incrementar el rendimiento del sistema, con respecto a equipos de climatización.

- Incrementar la aportación de energías renovables.

Para calcular el consumo energético de un edificio La Directiva Europea de Eficiencia Energética de los Edificios (EPBD), admite el empleo de métodos simplificados, como de procedimientos detallados de cálculo dinámico, para los cuales es preciso el empleo de software informáticos dada la complejidad inherente de los flujos energéticos. Esto último permite la realización de diseños simulados (Hormigón para Edificios Energéticamente Eficientes, pág. 59).

### 2.1.3. Nearly Zero Energy Building

Uno de los grandes retos a los que se enfrenta el sector de la construcción principalmente en los países europeos será el cumplir con los objetivos de la Directiva de Eficiencia Energética de Edificaciones, que busca la implantación en 2020 de edificios de consumo energético casi nulo o también conocidos como nZEB (nearly Zero Energy Buildings). (Cinquegrana, 2017)

Según la Directiva 2010/31/UE, un edificio de energía casi nulo es aquel que cuenta con un nivel de eficiencia muy alto en el cual, las necesidades de energía casi nulas o muy bajas deben ser cubiertas, en su mayor parte, por energía procedente de fuentes renovables, producidas ya sea in situ o en el entorno. (Horrillo, 2017)

Para concebir un nearly Zero Energy Building se requiere aplicar medidas pasivas y activas de eficiencia energética, y proponer soluciones que reduzcan la demanda energética para garantizar el confort de los usuarios. Esta demanda energética debe ser cubierta por energía renovable. (Horrillo, 2017)

Un nearly Zero Energy Building es un edificio que cumple con el Código Técnico de Edificación del Gobierno de España (CTE DB HE), que busca reducir el consumo de energía como se describe en el Código HE 0 sobre la Limitación del consumo energético. Para ello se emplean técnicas de diseño pasivo con el objetivo de reducir el uso de los sistemas de calefacción y refrigeración, con la finalidad de mantener las condiciones de confort interior del edificio (HE 1-Limitación de la demanda energética), el diseño de instalaciones con un elevado rendimiento energético para la climatización y el ACS (HE 2-Rendimiento de las instalaciones térmicas), el diseño de iluminación (HE 3-Eficiencia

energética de las instalaciones de iluminación), y el aporte de energías renovables (HE 4-Contribución solar mínimo de agua caliente sanitaria y HE 5-Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica).

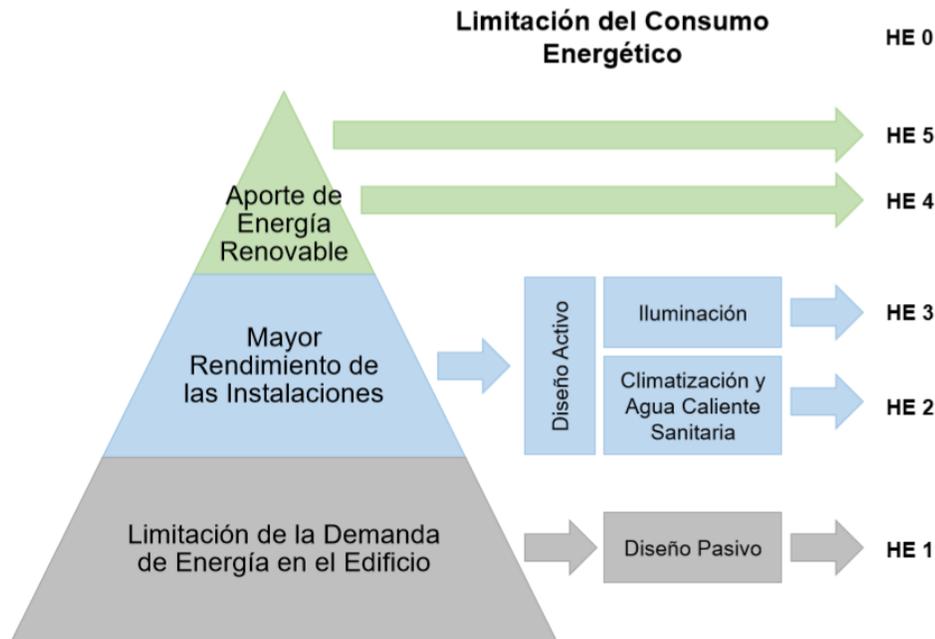


Figura 2. Pirámide energética. Exigencias del CTE DB HE

Fuente: (Horrillo) (2017)

La optimización de las estrategias de la pirámide energética (Figura 2), conducen al diseño de edificios para alcanzar niveles de eficiencia energética muy elevados, demandando una cantidad mínima de energía. (Horrillo, 2017, pág. 48)

A continuación, para entender mejor el concepto de un edificio de consumo casi nulo se analiza la siguiente ecuación:

$$nZEB = Generación - \frac{Demanda\ energética}{n\ sistema}$$

Figura 3. Ecuación del balance de un nZEB

Fuente: (Horrillo) (2017)

En la ecuación se muestra de forma esquemática el balance de energía en un edificio. Si se desea obtener un nZEB es necesario que el resultado del balance sea un valor

positivo, nulo o en caso de ser negativo debe ser lo más cercano a acero. Para lograrlo el valor de generación de energía renovable debe ser lo mayor posible, el consumo energético se encuentra definida por una relación entre la demanda de energía del edificio y el rendimiento de las instalaciones que cubren la demanda. De este modo, para conseguir un valor de consumo energético bajo es necesario disminuir la demanda, y aumentar el rendimiento de los equipos que la cubren. (Horrillo, págs. 49,50)

La estrategia para la obtención de un nZEB requiere de la utilización de una combinación optima de tecnologías renovables y uso de sistemas de construcción eficientes que limiten la demanda térmica para la climatización. En conclusión, una combinación de sistemas activos (instalaciones) y pasivos (orientación, mejora de la envolvente, minimización de puentes térmicos, etc.). (Horrillo, pág. 51)

*Tabla 3. Estrategias para la obtención de un nZEB*

<b>SE OBTIENE UN NZEB AL</b>		
Reducir su demanda energética	Mejorar los rendimientos de las instalaciones	Generar Energía en el propio inmueble

*Fuente:* (Horrillo) (2017)

#### 2.1.4. Arquitectura pasiva

La arquitectura pasiva implica una combinación de principios arquitectónicos convencionales con energía solar y las propiedades inherentes de los materiales de construcción para lograr que los interiores permanezcan cálidos en inviernos y frescos en verano, creando así un ambiente confortable durante todo el año. (Eco Housing, 2009)

##### 2.1.4.1. Estrategias de arquitectura pasiva

Las estrategias de arquitectura pasiva buscan mejorar la eficiencia del edificio desde el punto de vista energético. A continuación, se describen algunas estrategias que intervienen favorablemente en el confort interior de los edificios.

#### 2.1.4.1.1. Orientación

La orientación de los edificios determina en gran parte la demanda energética de calefacción y refrigeración de la edificación en el futuro. Una buena orientación podría minimizar considerablemente las demandas energéticas a través del control de las ganancias solares. (Echeverría, 2012, pág. 22)

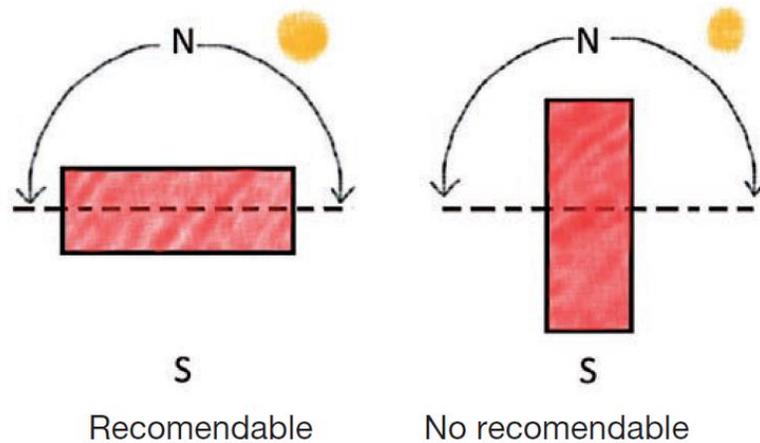


Figura 4. Orientación de las fachadas

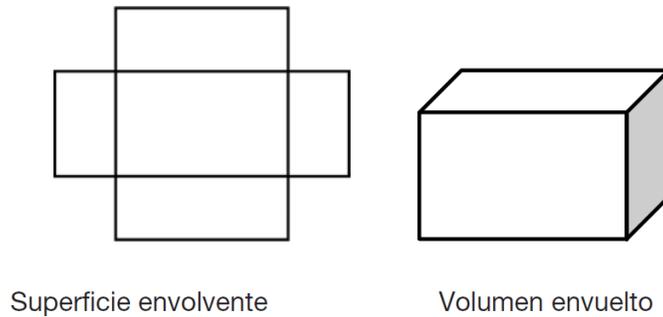
Fuente: Proyecto Innova Chile

Las edificaciones públicas se caracterizan por altas ganancias internas generadas por usuarios, equipos e iluminación, por lo que se recomienda una orientación norte y sur de sus fachadas principales, ya que esto facilita las estrategias de protección de fachadas. (Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos, pág. 22)

#### 2.1.4.1.2. Factor de forma

El factor de forma (F.F.) es una ecuación simple que relaciona la superficie envolvente con el volumen envuelto. Un factor de forma bajo significa que el edificio tiene menos pérdidas de energía. (Echeverría, 2012)

$$\text{Factor de Forma (F.F.)} = \frac{\text{Superficie (m}^2\text{)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}}$$



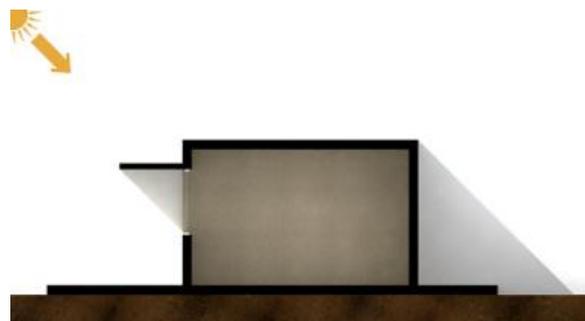
*Figura 5. Factor de forma*  
*Fuente: Proyecto Innova Chile*

Para reducir al máximo las pérdidas de calor no deseadas, se recomienda minimizar la superficie de la envolvente. En el caso de que se quisiera que el edificio perdiera calor por su envolvente, por ejemplo, en climas cálidos, se recomienda aumentar el factor de forma.

Los volúmenes pequeños suelen tener un factor de forma mayor que los grandes edificios, especialmente si son de un solo nivel. En el caso de que no se pueda modificar el factor de forma de un edificio debido a requerimientos funcionales se debe prestar más atención a la calidad de la envolvente y al control de la radiación solar. (Echeverría, 2012)

#### 2.1.4.1.3. Protección solar

Es un sistema capaz de controlar y aprovechar de forma óptima la entrada de la radiación solar, generando un ahorro en el consumo energético de los sistemas de refrigeración y calefacción del edificio. (Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas - ASEFAVE, 2016)



*Figura 6. Esquema de protección solar*  
*Fuente: Controles básicos de asoleamiento*

El Manual de Protección Solar (2016) presenta las aportaciones que generan las protecciones solares con respecto a:

- Ahorro energético. Las protecciones solares ayudan a disminuir el consumo de energía debido a que se reducen los consumos en iluminación, calefacción y climatización.
- Confort térmico. Regula la temperatura interna de los edificios, manteniendo un rango entre 22 y 26 °C mediante el control solar, además aumenta el confort térmico en el interior del edificio reduciendo el uso de sistemas de climatización.
- Confort lumínico. Mejora el confort visual de los usuarios del edificio aprovechando la luz natural, ayuda a optimizar las aportaciones de luz natural en el interior del edificio, reduciendo el uso de sistemas de iluminación artificial.
- Sostenibilidad. El control solar permite una reducción notable del consumo de energía y por consiguiente se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub>. El control solar puede estar integrado en los sistemas de captación de energía reduciendo el consumo de energía proveniente de combustibles fósiles.

Los materiales más usados en los sistemas de protección solar son el aluminio, PVC, madera para lamas y cajones de persiana y textiles para tejidos. (Manual de Protección Solar, 2016, pág. 23)

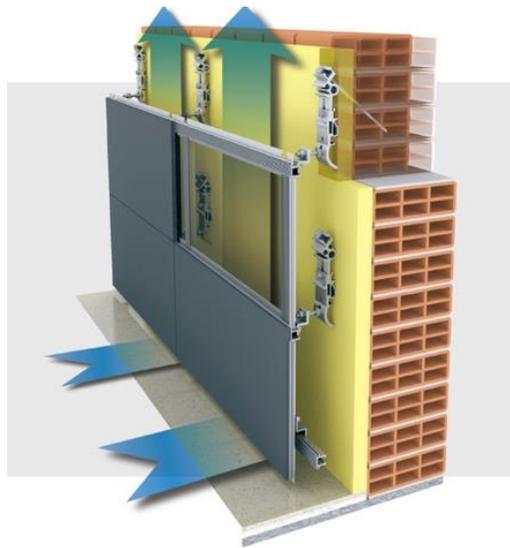
#### 2.1.4.1.4. Fachada ventilada

La fachada ventilada es un sistema de cerramiento vertical compuesto por capas interpuestas: hoja exterior, cámara de aire, aislamiento térmico y hoja interior (Gregório, 2016). Es considerado como el sistema más eficaz para mejorar el aislamiento del edificio, eliminando los indeseables puentes térmicos, así como los problemas de condensación y obteniendo de este modo, un excelente comportamiento térmico-higrotérmico del edificio. (Ulma Architectural , 2017)

Permite una ventilación continua en la cámara de aire, conocido como efecto chimenea, este efecto se debe al calentamiento de la capa de aire del espacio intermedio con respecto al aire ambiente. Con dimensionamientos adecuados de la entrada y salida

del aire se logra una continua evacuación del vapor de agua que proviene tanto del interior como del exterior del edificio, logrando mantener seco el aislante térmico y mejorando su rendimiento además de conseguir un ahorro en el consumo energético.

Las fachadas ventiladas eliminan las radiaciones directas del sol e inclemencias meteorológicas sobre los muros y forjados, protegiéndolo de las patologías que afectan a los edificios (Ulma Arquitectural , 2017).



*Figura 7. Esquema de fachada ventilada*  
*Fuente: Xinruidoors*

#### 2.1.4.1.5. Materiales

Las edificaciones de materiales con elevada inercia térmica permiten mejorar las condiciones internas del edificio durante largos periodos de tiempo, en condiciones de climas cálidos y húmedos. Un uso adecuado de los sistemas de climatización, protección solar, y de la estructura del edificio permiten mejorar la inercia térmica del material que se usara, generando edificios que se adapten a los cambios de temperatura, conservando el confort interno del edificio sin necesidad de sistemas de climatización.

La aplicación de materiales con elevada inercia térmica permite reducir los picos de temperaturas máximos y mínimos en la edificación, reduciendo el uso de sistemas de

climatización y el costo de consumo energético, y por consiguiente se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio.

Hormigón, en su estudio hace referencia a Arup & Hill Dunster Architects, poniendo de manifiesto que, “en los edificios con un alto nivel de inercia térmica, los dispositivos solares pasivos y los controles efectivos de ventilación se comportan especialmente bien, reduciendo o eliminando la necesidad de refrigeración mecánica” (Hormigón, 2008, pág. 59).

La Norma Ecuatoriana de la Construcción en el Capítulo 13 sobre Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador, menciona que al menos un 20% de los materiales que se usan en la construcción deben ser de materiales reciclables, materiales locales, materiales de alta tecnología, materiales de baja toxicidad, materiales naturales renovables y que las construcciones sean desmontables. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011)

- Masa térmica

La Universidad de Tampere en Finlandia recopiló una útil perspectiva general sobre la masa térmica del hormigón (Hormigón para Edificios Energéticamente Eficientes, pág. 63), analizando 28 publicaciones internacionales sobre el tema de las que extrajo una serie de conclusiones, entre las que se incluyen las siguientes:

Cuando no se utiliza la refrigeración en verano, las mayores temperaturas internas dentro de un edificio de elevada inercia térmica son entre 3 – 6 grados inferiores a las que se producirían en un edificio de baja inercia térmica, esto reduce la necesidad de refrigeración. (Hormigón para Edificios Energéticamente Eficientes, pág. 64)

Durante el transcurso del día el nivel de masa térmica proporcionada por un material determinará la profundidad a la que el calor puede penetrar y como consecuencia, la eficacia con la que puede actuar como acumulador térmico.

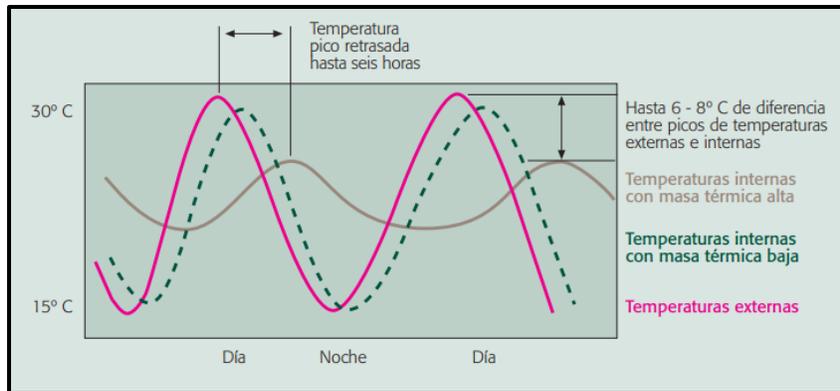


Figura 8. Influencia de la masa térmica en el confort

Fuente: Masa térmica para viviendas, The Concrete Centre, Reino Unido

Considerando la inercia térmica de una edificación, se puede determinar su flexibilidad energética y crear estrategias de consumo para mejorar el rendimiento energético. (Thibault Q. Péan, 2018)

En la Tabla 4. se analiza el comportamiento de la masa térmica de un edificio durante diferentes horas del día.

Tabla 4. Enfriamiento pasivo en verano

<b>Masa Térmica durante el Verano</b>	
	<p><b>De día</b> En días calurosos las ventanas permanecen cerradas para evitar la entrada de calor, y las contraventanas (persianas) se ajustan para minimizar las aportaciones solares. El enfriamiento lo proporciona la masa térmica. Si las temperaturas son menos extremas las ventanas pueden estar abiertas para proporcionar ventilación.</p>
	<p><b>De noche</b> Si el día ha sido caluroso, los ocupantes abren las ventanas para permitir que la noche enfríe la masa térmica.</p>

Fuente: The Concrete Centre, Reino Unido

- Obtención de la mayor masa térmica

La masa térmica del hormigón funciona mejor en edificios en los que existe un ciclo regular de variación de la temperatura a lo largo del día. Por ejemplo, en colegios u oficinas en los que el pico de calor interno coincide sustancialmente con el pico de las aportaciones solares, el efecto acumulador del hormigón ayuda a reducir y retrasar el

comienzo de los picos de temperatura. La caída nocturna de las temperaturas, coincidiendo con el momento en el que el edificio está desocupado, es una excelente oportunidad para el enfriamiento del hormigón. (Hormigón, págs. 62,63)

- Flujos energéticos en el interior del edificio

La radiación solar afecta directamente a las zonas acristaladas de un edificio y varía con respecto a la latitud y orientación según ubicación del edificio. La dirección y tamaño de los flujos energéticos varían a lo largo del día, a lo largo del año y de un lugar a otro, dependiendo de las condiciones climáticas internas y externas, también se ve afectado por la presencia de personas y de equipos.

En la Figura 9. Se observa los principios básicos de los flujos energéticos en el interior del edificio. Es importante analizar, cómo estos flujos interactúan en el interior del edificio para dar lugar al clima interior que experimentamos.

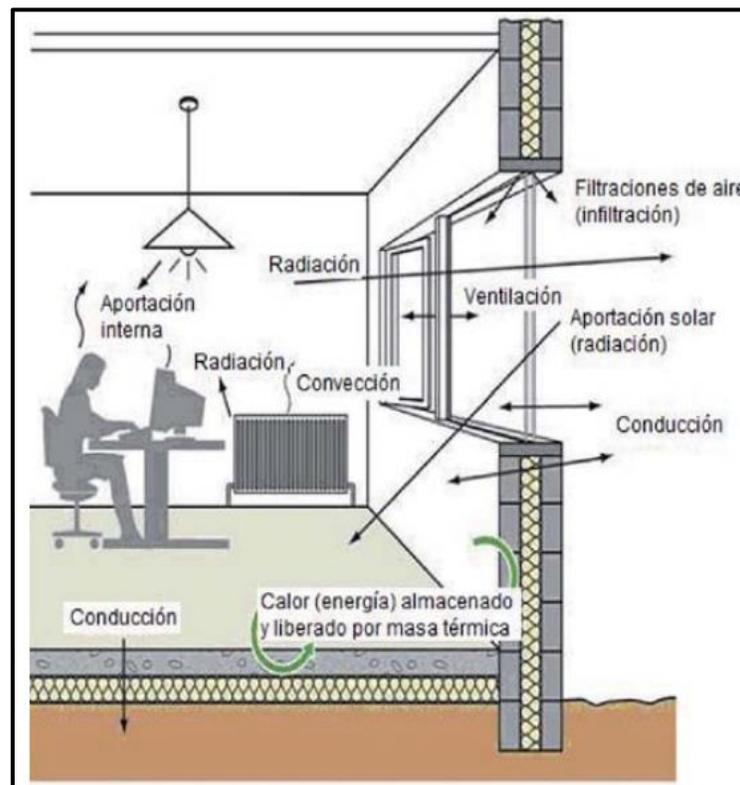


Figura 9. Flujo de calor en una edificación

Fuente: Hormigón (2008)

El calor se almacena y se libera por la masa térmica del edificio y aumenta en relación con la radiación solar y del mismo modo se incrementan las aportaciones internas que proceden de la iluminación, calefacción, climatización, ocupantes y equipos. “El calor se pierde por las filtraciones de aire a través de las ventanas y la conducción (transmisión) a través de las paredes, ventanas y suelos” (Hormigón para Edificios Energéticamente Eficientes, 2008, pág. 60).

La energía se transporta por conducción, por el movimiento del aire o por radiación y dependerá del aislamiento térmico o conductividad del material utilizado en la construcción de la edificación.

La Directiva Europea de Eficiencia Energética de los Edificios ha realizado estudios con respecto al hormigón en edificaciones energéticamente eficientes, concluyendo en que la gestión de flujos que actúan en estas edificaciones ayuda a reducir el consumo energético. (Hormigón, 2008)

#### 2.1.5. Software de simulación energética

Para poder realizar las simulaciones energéticas, se estudiaron los siguientes softwares:

##### 2.1.5.1. DesignBuilder

Es un software especializado en la simulación energética y medioambiental de los edificios, sus herramientas permiten evaluar diferentes aspectos bioclimáticos como los niveles de confort, el consumo de energía y las emisiones de carbono, el software funciona a través de una estructura modular de 8 herramientas que funcionan simultáneamente y se integran para obtener un análisis más detallado del desempeño energético y medioambiental del edificio.

Este software posee una interfaz gráfica que permite crear la geometría del edificio e ingresar los datos relevantes sobre ocupación, iluminación, etc. (Briceño, 2013)

La estructura modular del software DesignBuilder consta de:

Módulo Visualización. - Permite estudiar el impacto del soleamiento en el edificio, a través de diagramas de recorridos solares 3D, a partir de la ubicación geográfica del edificio.

Módulo Iluminación Natural. – Es una herramienta que permite evaluar y mejorar el uso de la luz natural en las edificaciones, mejorando las condiciones de confort lumínico y a la vez reducir la carga térmica del edificio y el consumo energético asociado a la iluminación artificial.

Módulo Costo. – Permite valorar los costos económicos del desempeño ambiental y energético de la edificación, para el análisis usa costos de construcción y de energía asociados a su ciclo de vida.

Módulo CFD (Dinámica computacional de fluidos). – Permite determinar las condiciones ambientales del edificio a través del estudio del movimiento del aire y la distribución de las temperaturas.

Módulo HVAC. – Es una herramienta que permite tener funciones avanzadas en el análisis de sistemas de refrigeración, calefacción y ventilación por medio de EnergyPlus, aquí se incluyen todos los sistemas HVAC de referencia que se usan en el estándar ASHRAE 90.1, utilizados en los sistemas de certificación LEED.

Módulo LEED. – Permite evaluar el cumplimiento de los créditos de energía del sistema de certificación LEED.

De acuerdo con el manual DesignBuilder (Ordóñez, 2014), es posible llevar a cabo el análisis relacionado con el desempeño energético y ambiental, que se detallan a continuación:

- Calcula mediante simulaciones dinámicas con datos climáticos reales, los consumos energéticos y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociados a los sistemas de

climatización y agua caliente sanitaria, los sistemas de iluminación artificial y los equipos.

- Determina la capacidad de los sistemas mecánicos de calefacción y refrigeración, cuando estos sean necesarios para mantener condiciones adecuadas de confort en los edificios, mediante datos específicos de diseño.
- Evalúa los niveles de confort que se pueden lograr en edificios sin sistemas de climatización mecánicos, es decir, funcionando en modo pasivo.
- Realiza análisis comparativos de distintas configuraciones arquitectónicas, incluyendo la forma general, la implantación en el sitio, la orientación, la distribución espacial interior y la disposición del acristalamiento.
- Compara el impacto ambiental y energético de diversos materiales y sistemas constructivos empleados en la envolvente de los edificios, cubiertas vegetales y fachadas ventiladas.
- Evalúa el impacto ambiental y energético de dispositivos de sombreado y control solar, como lamas, voladizos, laterales, persianas y pantallas. Algunos de estos elementos se pueden colocar en el exterior, el interior o entre vidrios.
- Determina de manera más detallada el desempeño lumínico del edificio, incluyendo mapas de distribución y tablas de factores de luz diurna, mediante el módulo de Iluminación Natural.
- Evalúa y compara el desempeño específico de un amplio rango de sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación, modelando a detalle cada uno de sus componentes, mediante el módulo HVAC Detallado.
- Evalúa de manera detallada las condiciones ambientales en los espacios exteriores e interiores de los edificios, incluyendo aspectos como el movimiento del aire (dirección, velocidad, presión) y la distribución de temperaturas, mediante el módulo CFD.

#### 2.1.5.2. Energy Plus

Es un motor de cálculo desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos y representa una de las herramientas de su tipo más avanzadas del mundo. Permite realizar simulaciones de flujos de energía dinámicas avanzadas en tiempo real,

para su funcionamiento utiliza archivos de datos climáticos horarios, así como cálculos de sistemas HVAC (climatización y calefacción) en modo mecánico y en modo pasivo.

EnergyPlus simula siguiendo distintos métodos para los fenómenos de transferencia de calor y masas en condiciones estáticas y dinámicas. Estos modelos han sido desarrollados por universidades, centros de investigación y empresas, además de estas instituciones la “American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers” (ASHRAE), publica cada cierto tiempo métodos tendientes a modelar los fenómenos antes nombrados (Briceño, 2013).

A continuación, se presenta una breve descripción de los métodos más utilizados:

Balance de calor “Heat Balance Method” permite modelar componentes de transferencia de calor como:

- Conducción por medio de los materiales del edificio.
- Convección del aire.
- Absorción y reflexión de la radiación de onda corta.
- Intercambio de radiación de onda larga.

La incidencia de la onda corta proviene de la radiación que llega a las zonas a través de las ventanas y fuentes internas de luz, mientras que el intercambio de radiación de onda larga incluye el grado de absorción y de emisión de fuentes de temperatura. (Briceño, 2013, pág. 36)

Convección natural “Natural Convection Detailed Method” correlaciona los coeficientes de transferencia de calor con la orientación de la superficie y la diferencia de temperatura entre la superficie y el aire. También analiza el calor metabólico producido por una persona, estos datos son obtenidos del manual ASHRAE.

#### 2.1.5.3. SOL-AR

Es un software gráfico que permite la obtención de la carta solar de la latitud especificada, ayudando en el diseño de protecciones solares a través de la visualización

gráfica de los ángulos de proyección deseados sobre transferidor de ángulos, que puede ser trazado a cualquier ángulo de orientación.

El software permite para ciertas ciudades datos horarios que se encuentran disponibles en la base de datos, la visualización de intervalos de temperatura anuales correspondientes a las trayectorias solares a lo largo del año y del día.

Para estas ciudades, el software también ofrece la posibilidad de obtener la rosa de los vientos, para determinar la frecuencia de ocurrencia de los vientos y velocidad media para cada estación del año en ocho orientaciones (N, NE, L, SE, S, SO, O, NO). (Laboratorio de Eficiencia Energetica en Edificaciones )

## 2.2. Marco contextual

### 2.2.1. Ubicación

El edificio a evaluar se encuentra ubicado en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil en la parroquia Tarqui, con una latitud de  $-2.18$  y una longitud de  $-79.89$ .



Figura 10. Ubicación Universidad de Guayaquil

Elaboración: Autores de tesis. Fuente: ArcGIS

### 2.2.1.1. Orientación

EL edificio de la Asociación de Profesores FAU, se encuentra orientado con la fachada principal a  $16^\circ$  en sentido norte-oeste.

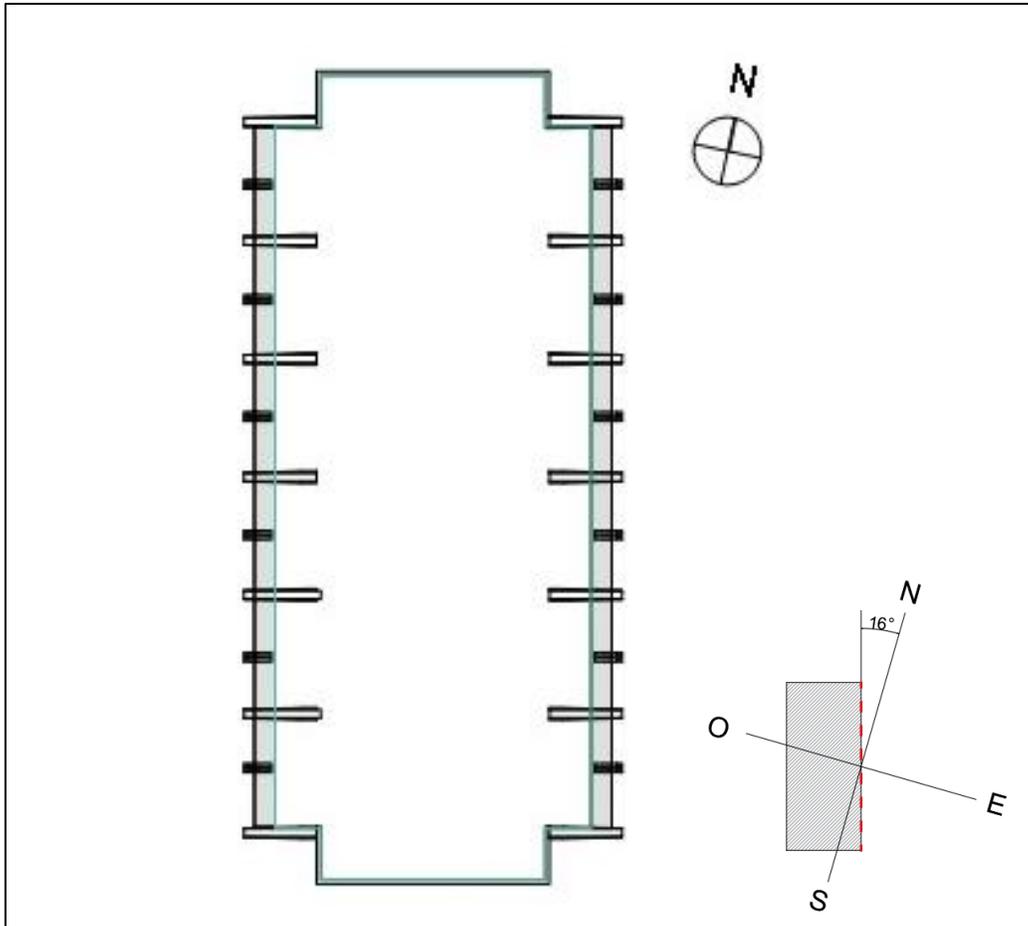


Figura 11. Orientación del edificio Asociación de Profesores de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Elaboración y Fuente: Autores de tesis

### 2.2.1.2. Clima

El clima de la ciudad de Guayaquil es de tipo cálido-húmedo, debido a la mezcla de diversos factores como la ubicación geográfica en la zona ecuatorial, generando una temperatura cálida durante todo el año, y la proximidad de la ciudad al océano pacífico en conjunto con las corrientes de Humboldt que es una corriente fría y la del Niño que es

cálida, marcan dos etapas climáticas invierno entre los meses de diciembre a abril, y verano que se presenta como seco entre los meses de mayo a diciembre.

En la Figura 12. Se muestran los picos más altos y más bajos de temperatura de la ciudad de Guayaquil.

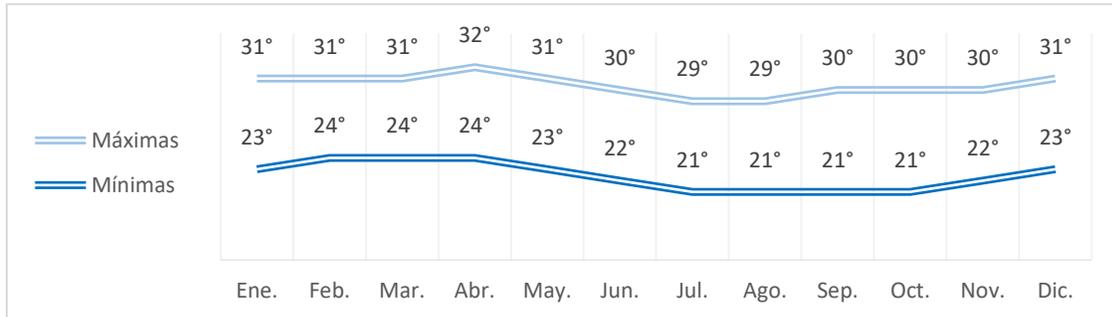


Figura 12. Datos de temperatura de la ciudad de Guayaquil

Fuente: National Centers for Environmental Information

Las condiciones externas e internas de diseño para la simulación en el software DesignBuilder para la ciudad de Guayaquil son las siguientes:

Tabla 5. Condiciones externas de diseño para la ciudad de Guayaquil

Condiciones externas	
Temperatura de Bulbo Seco	35 °C
Temperatura de Bulbo Húmedo	27 °C
Humedad relativa de Guayaquil	50 % RH
Condiciones internas	
Temperatura de Bulbo Seco	22 °C
Humedad relativa	50 % RH

Fuente: DesignBuilder

El archivo climático para la simulación energética fue proporcionado por Castillo & Beltrán, este archivo fue generado con datos horarios en un año típico medidos en la estación meteorológica que existe en la Escuela Superior Politécnica del Litoral de Guayaquil.

### 2.2.2. Funcionamiento

El edificio ha sido destinado como área de oficinas para docentes, donde se desarrollan actividades administrativas, académicas y reuniones, su horario de

ocupación es de 8 a.m. a 8 p.m. A continuación, se presentan tablas con áreas y número de ocupantes por cada zona del edificio en planta baja y alta.

- Planta Baja

Tabla 6. Zonas de planta baja

Edificio Asociación de Profesores FAU			
Planta Baja (128.77 m <sup>2</sup> )			
Zonas	Descripción	Área	N. de Ocupantes
Zona 1	Cafetería	21.94 m <sup>2</sup>	13
Zona 2	Baños	3.03 m <sup>2</sup>	1
Zona 3	Distribuidor	13.03 m <sup>2</sup>	5
Zona 4	Sala de Reuniones	90.77 m <sup>2</sup>	12

Elaboración y Fuente: Autores de tesis

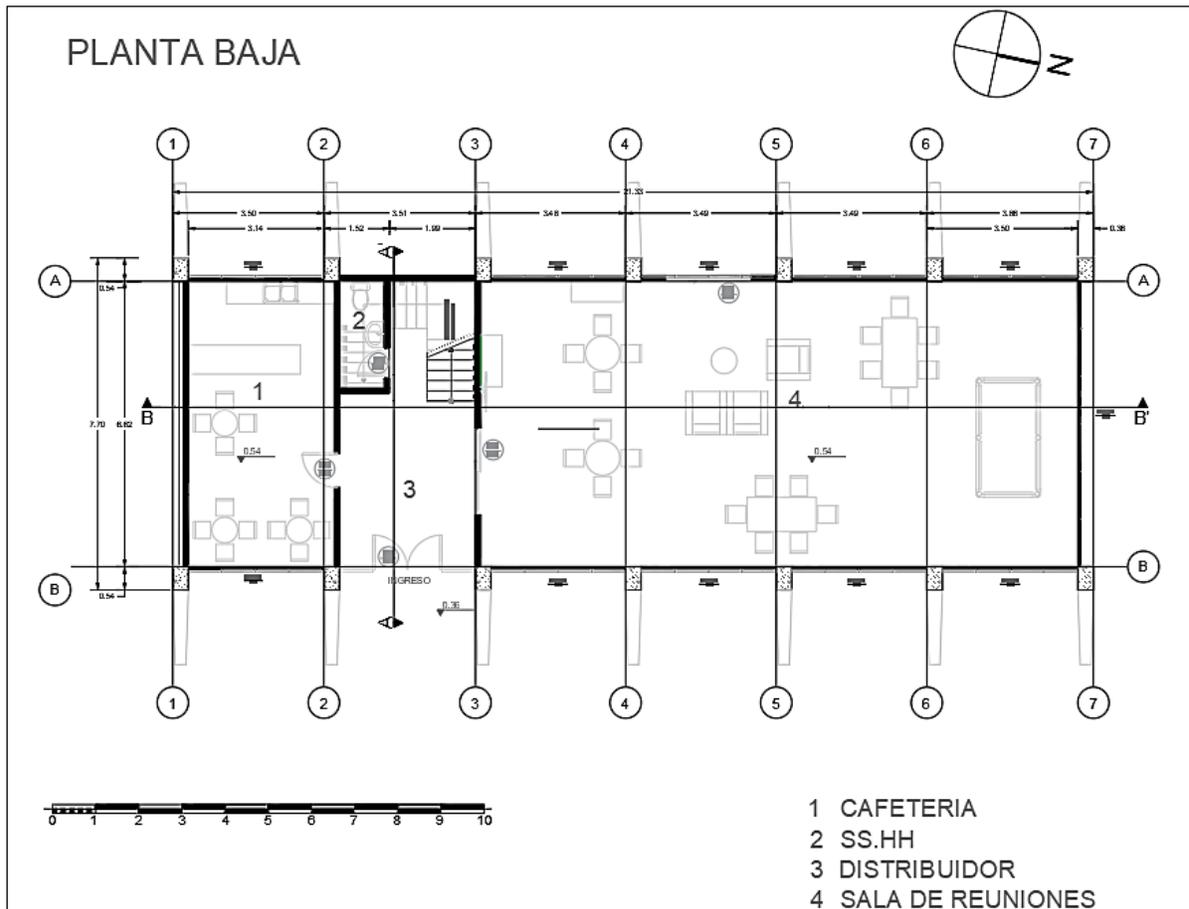


Figura 13. Plano de zonas de P.B. del edificio Asociación de Profesores

Elaboración y Fuente: Autores de tesis

- Planta Alta

Tabla 7. Zonas de planta alta

Edificio Asociación de Profesores FAU			
Planta Alta (223.88 m <sup>2</sup> )			
Zonas	Descripción	Área	N. de Ocupantes
Zona 1	Baño Hombres	3.14 m <sup>2</sup>	2
Zona 2	Baño Mujeres	3.14 m <sup>2</sup>	2
Zona 3	Distribuidor	1.43 m <sup>2</sup>	2
Zona 4	Cuarto de Rack	4.95 m <sup>2</sup>	1
Zona 5	Escaleras	7.71 m <sup>2</sup>	3
Zona 6	Oficinas de Profesores	203.51 m <sup>2</sup>	15

Elaboración y Fuente: Autores de tesis

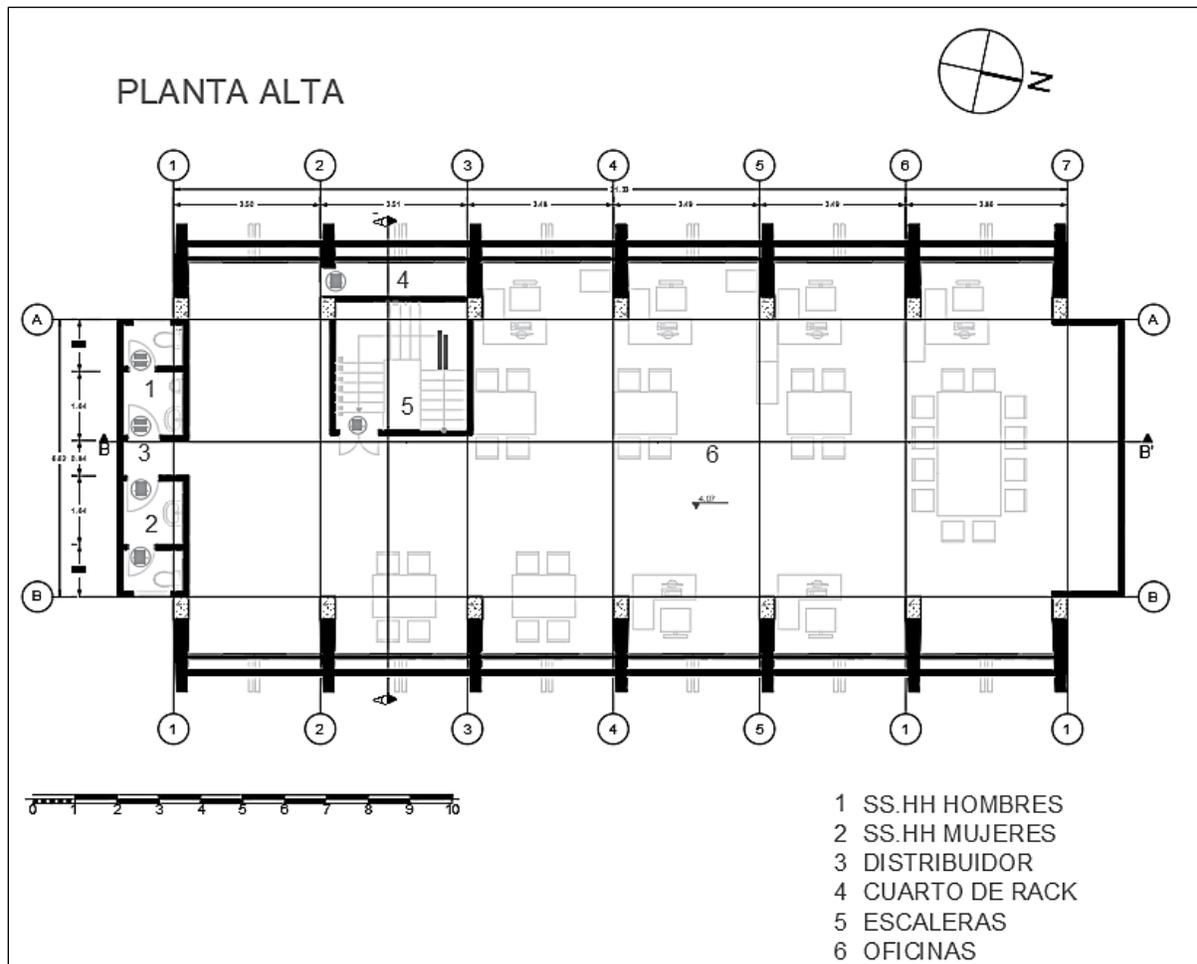


Figura 14. Plano de zonas de P.A. del edificio Asociación de Profesores

Elaboración y Fuente: Autores de tesis

### 2.2.3. Modelos análogos

A continuación, se describen dos modelos análogos, uno correspondiente a la Unión Europea y otro a nivel nacional, que aplican estrategias de eficiencia energética en el desarrollo del proyecto:

- Centro Empresarial ENERTIC

La Unión Europea en la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo del 19 de mayo del 2010 sobre la eficiencia energética de los edificios establece que las edificaciones nuevas construidas hasta el 31 de diciembre del 2020 deben ser edificaciones de consumo de energía casi nula, y a partir del 31 de diciembre del 2018, los edificios nuevos que estén ocupados y sean de propiedad de autoridades públicas deberán ser edificios de consumo de energía casi nulo. (Parlamento Europeo y Consejo, 2010)

En España se están desarrollando proyectos que buscan la eficiencia energética, un claro ejemplo es el Centro Empresarial ENERTIC, que se encuentra ubicado en San Sebastián, considerado el primer Smart Building de España, con cero emisiones de CO<sub>2</sub>. Este proyecto busca desarrollar un área Smart eficiente y sostenible en tres ámbitos: urbano, medioambiental y el industrial. (Centro Empresarial ENERTIC )

El edificio es el resultado de un diseño eco-inteligente con cero emisiones de CO<sub>2</sub>, su diseño compacto reduce el contacto de la superficie con el exterior limitando las pérdidas energéticas, se encuentra correctamente orientado en sentido norte-sur lo cual favorece la reducción de la demanda energética del edificio además de permitir una mejora de la iluminación natural.

Las fachadas norte, este y oeste están hechas de hormigón de alta inercia térmica y con un alto aislante térmico, mientras que la fachada sur está compuesta de un atrio acristalado y fachada vegetal que regula térmicamente al edificio. Su cubierta vegetal compensa las emisiones de CO<sub>2</sub>, además de actuar como protector solar regula térmicamente el edificio y evita el sobrecalentamiento en verano y protegiendo del enfriamiento en invierno.

La ventilación natural está dada por medio de los patios interiores, mientras que el atrio ayuda a la refrigeración y calefacción dependiendo la estación del año. El edificio recibe aportes de energía renovable como la Geotermia, Energía solar fotovoltaica, Energía mini eólica, La reutilización de agua de lluvia en el edificio y el depurado de aguas grises del edificio. (Centro Empresarial ENERTIC )



*Figura 15. Edificio de centro empresarial ENERTIC (San Sebastián – España)*

*Fuente: Centro empresarial ENERTIC*

En Ecuador no existe una práctica habitual de construcciones eficientemente energética, pero el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, desarrolla proyectos específicos en los que se implementan conceptos de eficiencia energética y energías renovables, esto se realiza durante la fase de planificación, ejecución y uso de las edificaciones. (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables - INER, 2014)

- Proyecto Yachay “Ciudad del Conocimiento”

Este proyecto se encuentra en Yachay en la Ciudad del Conocimiento, busca realizar el modelamiento de edificios de bajo consumo energético, con el fin de aplicarse a nivel nacional.

La propuesta de edificación específica la relación de los espacios y actividades contenidas en las diferentes áreas, con la influencia del clima como factor determinante

en el consumo potencial de energía. (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables - INER, 2014)

Resultados del Proyecto:

- Vivienda prototipo para el monitoreo de las condiciones climáticas.
- Mapas y archivos de mediciones meteorológicas.
- Modelos de simulación para eficiencia energética en edificaciones.



*Figura 16. Proyecto de investigación de eficiencia energética en edificaciones (Urququí – Ecuador)*

*Fuente: INER*

### 2.3. Marco conceptual

- ACS: Agua Caliente Sanitaria
- ASHRAE: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers
- BOE: Boletín Oficial de Estado – Gobierno de España
- CFD: Computational Fluid Dynamics (Dinámica de Fluidos Computacional).
- Conducción. – Es el paso del calor por contacto directo entre un cuerpo y otro. (Blender, 2015)
- Conductividad térmica. – calcula el ritmo al que se transmite el calor a través de un material. (Echeverría, 2012)
- Convección. – Es la facilidad con que el calor viaja a través de un material, esto lo define como conductor o como aislante térmico. (Ecohabitar, 2013)
- EPBD: Directiva Europea de Eficiencia Energética de los Edificios

- GEI: Gases de Efecto Invernadero.
- HVAC: Heating, Ventilating, Air Conditioning (Sistema de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado).
- IEA: International Energy Agency.
- INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censo.
- INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INER: Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.
- Inercia térmica. – Es la capacidad que tiene la masa de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola. (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones - IECA )
- IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Kwh: Kilovatios/hora.
- MEER: Ministerio de Electricidad y Energías Renovable.
- NEC: Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- nZEB: nearly Zero Energy Building.
- ODM: Objetivos de Desarrollo del Milenio.
- OMM: Organización Meteorológica Mundial.
- ONU: Organización de las Naciones Unidas.
- PLANEE: Plan Nacional de Eficiencia Energética.
- PNBV: Plan Nacional del Buen Vivir.
- ppm: partes por millón.
- SENPLADES: Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo.
- UE: Unión Europea.
- VAG: Vigilancia Atmosférica Global.
- FAU: Facultad de Arquitectura y Urbanismo

#### 2.4. Marco legal

La aplicación de la normativa vigente a nivel nacional sobre eficiencia energética en edificaciones es muy limitada, dado que no se regula su cumplimiento y no existen parámetros de certificación de edificios energéticamente eficientes, mientras que a nivel local el tema de eficiencia energética no ha sido tratado.

Para un mayor conocimiento sobre normas que regulan la aplicación de eficiencia energética en edificaciones se analizó la Normativa Europea, como se describe a continuación:

#### 2.4.1. Normativa Europea

Para Guillén, Quesada, López, Orellana, & Serrano (2015), en su estudio de eficiencia energética en edificaciones residenciales menciona como la preocupación sobre el cambio climático ha generado que diversas organizaciones a nivel mundial proporcionen normas y estándares vinculados al rendimiento energético de las edificaciones. Además, el beneficio encontrado en el desarrollo de edificaciones bajo criterios de diseño pasivo, sustentables y energéticos, ha llevado que los países desarrollen sus propios objetivos y normativas que regulen la eficiencia energética de las edificaciones, en los cuales se establecen requisitos mínimos para las construcciones eficientes tomando como referencia los estándares internacionales.

La normativa que regula la eficiencia energética en edificaciones actualmente en la Unión Europea, se encuentra redactada en la Directiva 2010/31/UE (Parlamento Europeo y Consejo) (2010), como objetivos principales está la reducción del consumo energético en las edificaciones (40% de consumo de energía en la UE), la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que afectan al medio ambiente y la reducción del consumo energético en un 20% para el 2020.

El Parlamento Europeo en su Directiva 2010/31/UE establece un método de cálculo de la eficiencia energética de los edificios teniendo en cuenta aspectos como las características térmicas del edificio, instalaciones de calefacción y de agua caliente, instalaciones de aire acondicionado, instalaciones de iluminación incorporada y condiciones ambientales interiores. (Parlamento Europeo y Consejo, 2010)

De acuerdo a Hormigón (2008), los requisitos de la Directiva Europea de Eficiencia Energética de los Edificios (EPBD), contiene un conjunto de disposiciones y herramientas sobre la eficiencia energética que influyen en el diseño y el funcionamiento de los

edificios. En esencia, la EPBD exige que los gobiernos, proyectistas y clientes adopten medidas para:

- Proporcionar un marco común para una metodología de cálculo de la eficiencia energética integral de los edificios.
- Disponer los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios, incluyendo los necesarios para refrigeración.
- Exigir que se comprueben las medidas de uso de energía en los edificios acabados.
- Establecer que los conceptos de calefacción o refrigeración pasiva sean utilizados.
- Imponer un sistema de certificación energética de los edificios, que incremente la conciencia por este tema y mejore el valor de mercado de la eficiencia energética.

La comunidad española ha implementado el Real Decreto 235/2013 en el cual se establecen las condiciones técnicas y administrativas para realizar las certificaciones de eficiencia energética de los edificios y la metodología de cálculo de su calificación, considerando aquellos factores que más incidencia tienen en el consumo de energía de los edificios. (Ministerio de la Presidencia - BOE, 2013)

#### 2.4.2. Normativa vigente en Ecuador

- Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN)

El Servicio Ecuatoriano de Normalización tiene como objetivo garantizar el cumplimiento de los derechos ciudadanos relacionados con la seguridad, la protección de la vida y la salud humana, animal y vegetal, la preservación del medio ambiente, la protección del consumidor y la protección de la cultura de la calidad y el mejoramiento de la productividad y competitividad en la sociedad ecuatoriana.

El Servicio Ecuatoriano de Normalización cuenta con la norma NTE INEN 2506-2009 sobre Eficiencia Energética en Edificaciones, en el que establece los requisitos necesarios que debe de cumplir un edificio para reducir su consumo de energía y

conseguir que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, a continuación, se mencionan los siguientes requisitos específicos que se encuentran descritos en la norma NTE INEN 2 506:2009:

1. Aislante térmico en la envolvente del edificio.
2. Adecuada forma y orientación del edificio.
3. Iluminación eficiente.
4. Uso de energías renovables.
5. La construcción de ventanas simples.

Esta norma es aplicable a edificios de nueva construcción, y a edificios cuyas modificaciones, reformas o rehabilitaciones sean superiores al 25% de la envolvente del edificio. (Instituto Ecuatoriano de Normalización - INEN, 2009)

- Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)

La Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC (2011), en el Capítulo 13, trata sobre la eficiencia energética en la construcción, con la finalidad de reducir el consumo de energía durante la operación de la edificación. En esta norma se encuentran establecidas las especificaciones y características técnicas mínimas a ser tomadas en cuenta en el diseño, construcción, uso y mantenimiento de las edificaciones en el país.

Con respecto a consideraciones constructivas de diseño, se establecen criterios constructivos en ganancia y protección solar, debido a que el nivel de asoleamiento a través de las superficies vidriadas y la envoltura de la edificación determina la ganancia térmica dentro del edificio; así, en las zonas climáticas cálidas se debe usar elementos de protección sobre las superficies vidriadas.

Para optimizar la radiación solar en zonas cálidas se debe “controlar la radiación directa mediante elementos constructivos de protección solar (aleros, persianas, pérgolas, batientes), superficies acristaladas con coeficientes de transmisión bajos para limitar los aportes energéticos externos. Se puede complementar con uso de textiles o protección vegetal” (Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC, 2011, pág. 15).

## CAPITULO III

### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Enfoque de la investigación

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, en que se mide la carga térmica a través de ganancias solares y el consumo de energía en condiciones actuales y en condiciones de aplicación de arquitectura pasiva del edificio Asociación de Profesores de la FAU, los resultados se obtuvieron de las simulaciones experimentales del software DesignBuilder, para luego analizar, comparar y cuantificar la diferencia de los resultados.

#### 3.2. Métodos

La metodología de la presente evaluación se fundamenta en el análisis cuantitativo experimental de simulaciones energéticas en el software DesignBuilder, para evaluar el rendimiento energético del edificio Asociación de Profesores FAU y generar una propuesta de mejora que involucre soluciones de arquitectura pasiva.

#### 3.3. Técnicas e instrumentos

La técnica utilizada para la evaluación energética es la simulación experimental a través del software informático DesignBuilder que utiliza el motor de cálculo EnergyPlus.

##### Primera fase

Se realizó una revisión bibliográfica y un estudio de campo, donde se obtuvieron datos con respecto a actividad, materiales de construcción, iluminación, equipamientos, meteorología y sistemas de climatización que servirán para ingresar como parámetros de entrada en el software DesignBuilder.

## Segunda fase

Se realizó el levantamiento de los espacios existentes del edificio por medio de planos arquitectónicos en AutoCAD, el análisis de la composición formal, el cálculo del factor de forma y análisis de materiales con los que está construido el edificio.

A continuación, se detallan los parámetros analizados durante la segunda fase:

- Zonas del edificio

Durante el proceso de modelado en el Software DesignBuilder, con la finalidad de realizar la evaluación del comportamiento térmico del edificio se establecieron un total de 10 zonas según datos recopilados en el sitio (Tabla 8).

*Tabla 8. Zonas del edificio Asociación de Profesores*

<b>Edificio Asociación de Profesores FAU</b>	
<b>Planta Baja (128.77 m<sup>2</sup>)</b>	
<b>Zonas</b>	<b>Actividades</b>
Zona 1	Cafetería
Zona 2	Baños
Zona 3	Distribuidor
Zona 4	Sala de Reuniones
<b>Planta Alta (223.88 m<sup>2</sup>)</b>	
<b>Zonas</b>	<b>Actividades</b>
Zona 1	Baño Hombres
Zona 2	Baño Mujeres
Zona 3	Distribuidor
Zona 4	Cuarto de Rack
Zona 5	Escaleras
Zona 6	Oficinas de Profesores

*Elaboración: Autores de Tesis. Fuente: Asociación de Profesores*

- Composición formal del edificio

El edificio Asociación de Profesores está compuesto por dos volúmenes rectangulares compactos, el primer volumen corresponde a la planta baja con un área de 128.77 m<sup>2</sup>, mientras que el segundo volumen correspondiente a la planta alta tiene un área de 223.88 m<sup>2</sup>.

En la composición del edificio existen elementos arquitectónicos verticales que se encuentran laterales a las ventanas de la planta alta, finalizando en la planta baja como pilares.



*Figura 17. Fachada principal del edificio Asociación de Profesores*

*Fuente: APFAU*

Se determino el factor de forma del edificio por medio de la fórmula que divide la superficie total del edificio sobre el volumen que encierran las mismas. Para ello se sumaron las superficies del edificio obteniendo como resultado 620.48 m<sup>2</sup> y se calculó el volumen obteniendo como resultado 693.35 m<sup>3</sup>.

$$F.F. = \frac{\text{Superficie (m}^2\text{)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}}$$

$$F.F. = \frac{620.48 \text{ m}^2}{693.35 \text{ m}^3}$$

$$F.F. = 0,89$$

Como resultado se obtuvo un factor de forma de 0,89 lo cual no cumple con la norma INEN que establece que para climas cálidos húmedos el valor de factor de forma debe ser mayor a 1,2. Debido a que el edificio ya se encuentra construido y no se puede modificar la forma, es recomendable intervenir en la superficie de la envolvente.

- Materiales del edificio

A continuación, se presentan fichas técnicas de los materiales con los que está construido el edificio Asociación de Profesores FAU, los materiales fueron determinados en la inspección al lugar y sirvieron como parámetros de entrada en el software DesignBuilder para la simulación energética.

Tabla 9. Ficha técnica de bloque de hormigón

Características		Medidas	Gráfico
Material	Bloque de Hormigón Hueco Peso medio	(10x20x40) cm	
Propiedades de masa térmica	Conductividad	0.62 (W/m-K)	
	Calor específico	840.00 (J/Kg-K)	
	Densidad	1040.00 (Kg/m3)	
Transmitancia Térmica	Valor U (W/m2-K)	2.428	
Espesor	Parcialmente Enlucido	0.02 cm	
	Ancho de Bloque	0.10 cm	

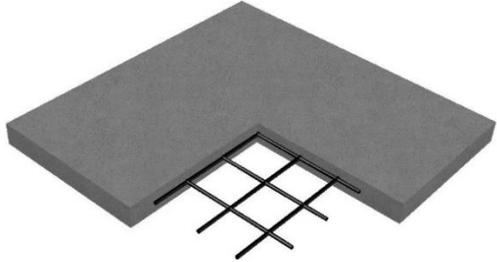
Elaboración: Autores de tesis y Fuente: Asociación de Profesores

Tabla 10. Ficha técnica de cimentación de H.A.

Características		Medidas	Gráfico
Material	Cimentación de Hormigón Armado	20.80 x 6.78 m	
Propiedades de Masa Térmica	Conductividad	1,400 (W/m-K)	
	Calor específico	840,00 (J/Kg-K)	
	Densidad	2100,00 (Kg/m3)	
Transmitancia térmica (U)	Valor U (W/m2-K)	2.422	
Espesor		0.20 cm	

Elaboración: Autores de tesis y Fuente: Asociación de Profesores

Tabla 11. Ficha técnica de losa de H.A.

Características		Medidas	Gráfico
Material	Losa de Hormigón Armado	24.00 x 10.54 m	
Propiedades de Masa Térmica	Conductividad	1,400 (W/m-K)	
	Calor específico	840,00 (J/Kg-K)	
	Densidad	2100,00 (Kg/m3)	
Transmitancia térmica (U)	Valor U (W/m2-K)	2,31	
	Espesor	0.18 cm	

Elaboración: Autores de tesis y Fuente: Asociación de Profesores

Tabla 12. Ficha técnica de baldosa

Características		Medidas	Gráfico
Material	Baldosa	0.30 x 0.30 m	
Propiedades de Masa Térmica	Conductividad	0,80 (W/m-K)	
	Calor específico	850,00 (J/Kg-K)	
	Densidad	1700,00 (Kg/m3)	
Transmitancia térmica (U)	Valor U (W/m2-K)	3,32	
	Espesor	0.006 mm	

Elaboración: Autores de tesis y Fuente: Asociación de Profesores

Tabla 13. Ficha técnica de celosía de vidrio

Características		Medidas	Gráfico
Material	Celosía de vidrio simple	0.80 x 0.10 cm	
Propiedades Térmicas	Conductividad	0,90000 (W/m-K)	
Transmitancia Térmica	Valor U (W/m2-K)	5.984	
	Espesor	0.03 cm	

Elaboración: Autores de tesis y Fuente: Asociación de Profesores

### Tercera fase

Se ingresó la información al software DesignBuilder correspondiente a cada zona, previamente se eligió la plantilla de ubicación de la ciudad de Guayaquil que esta predeterminada en el software, la cual cuenta con datos respecto a zona climática, latitud, longitud, elevación sobre nivel del mar, presión atmosférica, zona horaria, fecha de inicio y fin de invierno y verano, estos datos están generados bajo las normas ASHRAE/IWEC.

Dentro del software se ingresó el archivo de clima, proporcionado por Castillo & Beltrán, el archivo fue generado en una estación meteorológica en la ESPOL, con datos horarios durante un año típico.

Para iniciar con el modelo volumétrico del edificio Asociación de Profesores FAU, se importó el plano base de extensión DWG, en el cual se realizó el levantamiento de muros, particiones, puertas, ventanas y cubierta, obteniendo como resultado la distribución total del edificio en planta baja y planta alta.



Figura 18. Vista axonométrica de modelo volumétrico de edificio Asociación de Profesores FAU

Fuente: Software DesignBuilder

En esta fase también se ingresaron parámetros sobre actividades, ocupación y horario de funcionamiento de cada zona, equipamiento y sistemas de climatización, todos estos datos determinan las ganancias internas y solares. Además, se eligieron plantillas de simulación conforme a los materiales existentes, para obtener las ganancias térmicas por materiales constructivos.

A continuación, se describen los tipos de ganancias térmicas que fueron analizadas en la evaluación energética:

- Ganancias internas y solares

Son generadas por los resultados relacionados con las ganancias internas de las zonas, incluyendo las asociadas a la radiación solar y está definida por 4 aspectos importantes que se describen a continuación:

**Ganancia por Iluminación general:** Esta definida por la potencia de iluminación por metro cuadrado de área de suelo ( $W/m^2$ ), independientemente del nivel de iluminancia requerido dentro de la zona. Así, la potencia máxima total de iluminación se calcula de la siguiente manera:

Potencia máxima de iluminación (W) = Energía de iluminación ( $W/m^2$ ) x Área de la zona ( $m^2$ )

Tabla 14. Ganancia por iluminación general

Zona	Área	Potencia	Ganancia (W/m <sup>2</sup> )
Planta Baja	Cafetería	21.94 m <sup>2</sup>	0.451
	Baños	3.03 m <sup>2</sup>	9.9 W/m <sup>2</sup>
	Distribuidor	13.03 m <sup>2</sup>	(Luminaria
	Sala de Reuniones	90.77 m <sup>2</sup>	Fluorescente)
Planta Alta	Baño Hombres	3.14 m <sup>2</sup>	2.388
	Baño Mujeres	3.14 m <sup>2</sup>	2.388
	Distribuidor	1.43 m <sup>2</sup>	7.5 W/m <sup>2</sup>
	Cuarto de Rack	4.95 m <sup>2</sup>	(Lampara
	Escaleras	7.71 m <sup>2</sup>	cuadrada LED)
Oficinas de Profesores	203.51 m <sup>2</sup>		0.036

Elaboración: Autores de Tesis. Fuente: Software DesignBuilder

Ganancia de calor sensible por computadoras y equipos de oficina, cocina procesos y misceláneos: Esta definida por la potencia de cada equipo según los requerimientos de la zona en la que se encuentren, en donde se establece en qué medida funcionaran los equipos, consumiendo energía y aportando calor a las zonas.

Las tasas de ganancias de calor de los equipos, está determinada por la potencia y la unidad de área de suelo (W/m<sup>2</sup>).

Tabla 15. Ganancia (W/m<sup>2</sup>) por computadoras y equipos de oficina, cocina procesos y misceláneos

Zona	Equipo	N. de equipos	Potencia (W)	Área (m <sup>2</sup> )	Ganancia (W/m <sup>2</sup> )	
Planta Baja	TV	1	120	21.94 m <sup>2</sup>	5.47	
	Cocina Eléctrica	1	1800	21.94 m <sup>2</sup>	82.04	
	Cafetería	Arrocera	1	1000	21.94 m <sup>2</sup>	45.58
		Tostadora	1	1000	21.94 m <sup>2</sup>	45.58
		Licuadora	1	300	21.94 m <sup>2</sup>	13.67
		Refrigeradora	1	375	21.94 m <sup>2</sup>	17.09
	Sala de Reuniones	Microondas	1	800	21.94 m <sup>2</sup>	36.46
		TV	1	120	21.94 m <sup>2</sup>	5.46
Planta Alta	Oficina de Profesores	Computadoras	15	199.98	203.51 m <sup>2</sup>	14.74

Elaboración: Autores de Tesis. Fuente: software DesignBuilder

Dentro del software se deben establecer los siguientes parámetros de programación que modifican proporcionalmente las ganancias de calor:

- Valor 0.0 = ningún equipo se encuentra encendido.
- Valor 1.0 = todos los equipos están encendidos.
- Valor 0.1 – 0.9 = indica el porcentaje de equipo que se encuentran encendido.

- Valor 0.05 = equipo en modo espera.

La energía usada por los aparatos y equipos de oficina se manifiesta, por último, como calor que contribuye a las cargas térmicas de la zona, dentro de la simulación este calor está dividido en:

#### Fracción de perdida

- Valor 0.0 = todas las ganancias asociadas a los aparatos serán emitidas al interior.
- Valor 1.0 = significa todas serán emitidas al exterior.

#### Fracción latente

- Valor 0.0 = significa que ninguna parte de las ganancias será emitida en forma de calor latente.
- Valor 1.0 = significa que todas las ganancias de calor serán emitidas en forma de calor latente.

#### Fracción Radiante

- Valor 0.0 = significa que ninguna parte de las ganancias de calor será emitida como calor radiante.
- Valor 1.0 = significa que todas las ganancias de calor serán emitidas exclusivamente como calor radiante.

Tabla 16. Ganancia de calor sensible por computadoras y equipos de oficina, cocina procesos y misceláneos

Zona	Equipo	N. de equipos	Parámetro de Programación	Fracción de Perdida (FP)	Fracción Latente (FL)	Fracción Radiante (FR)
Planta Baja	TV	1	1.0	0.0	1.0	0.0
	Cocina Eléctrica	1	0.7	0.0	1.0	1.0
	Cafetería Arrocera	1	0.5	0.0	1.0	1.0
	Tostadora	1	0.4	0.0	1.0	0.5
	Licuadaora	1	0.4	0.0	1.0	0.0
	Refrigeradora	1	1.0	0.0	1.0	0.5
	Sala de Reuniones Microondas	1	0.4	0.0	1.0	1.0
Planta Alta	Oficina de Profesores TV	15	0.6	0.0	1.0	0.5

Elaboración: Autores de Tesis. Fuente: Software DesignBuilder

Ganancia de calor sensible por ocupación: Está determinada por la cantidad de personas que usan el edificio en las diferentes zonas, dentro del software se define como densidad por ocupación que es el resultado de la cantidad fraccional de personas por área de suelo.

Tabla 17. Ganancias de calor sensible por ocupación del edificio Asociación de Profesores

Ganancias de calor sensible			
Zona	N. de Personas	Área	Densidad (personas/ m <sup>2</sup> )
Planta Baja	Cafetería	13	21.94 m <sup>2</sup>
	Baños	1	3.03 m <sup>2</sup>
	Distribuidor	5	13.03 m <sup>2</sup>
	Sala de Reuniones	12	90.77 m <sup>2</sup>
Planta Alta	Baño Hombres	2	3.14 m <sup>2</sup>
	Baño Mujeres	2	3.14 m <sup>2</sup>
	Distribuidor	2	1.43 m <sup>2</sup>
	Cuarto de Rack	1	4.95 m <sup>2</sup>
	Escaleras	3	7.71 m <sup>2</sup>
	Oficinas de Profesores	15	203.51 m <sup>2</sup>

Elaboración: Autores de Tesis. Fuente: Software DesignBuilder

Ganancia solar por ventanas exteriores: Se refiere a la transmisión de radiación solar a través de ellas. Los flujos de calor en las superficies internas del acristalamiento están determinados por el tipo de material y coeficiente de transmitancia de este. Las medidas

y datos de las ventanas para la simulación fueron tomadas durante el levantamiento de datos del edificio (Tabla 18).

*Tabla 18. Ganancia solar por ventanas exteriores*

	Zona	Medidas de Ventana (m)	Cantidad de Ventanas	Tipo de Ventana	Material de Ventana	Transmitancia Térmica (W/m <sup>2</sup> -K)
Planta Baja	Cafetería	0.80x0.80/2.70	8	Celosías	Vidrio Simple de 3 mm	5.894
	Sala de Reuniones	1.10x0.40/2.70	6			
	Baño Hombres	0.78x0.80/2.70	32			
Planta Alta	Baño Mujeres	0.90x0.60/1.96	1	Celosías	Vidrio Simple de 3 mm	5.894
	Cuarto de Rack	0.90x0.60/1.96	1			
	Oficinas de Profesores	0.80x0.40/2.10	4			
		0.90x0.60/1.96	2			
		0.80x1.60/0.90	22			
		0.80x1.60/0.90	22			

*Elaboración: Autores de Tesis. Fuente: Software DesignBuilder*

- Ganancias por elementos constructivos

Durante el proceso de modelado, el software establece automáticamente el tipo de superficie al que pertenece cada elemento constructivo. Sin embargo, es necesario establecer un diagrama explicativo donde se resalta que tipos de superficies serán consideradas en el edificio evaluado (Figura 19).

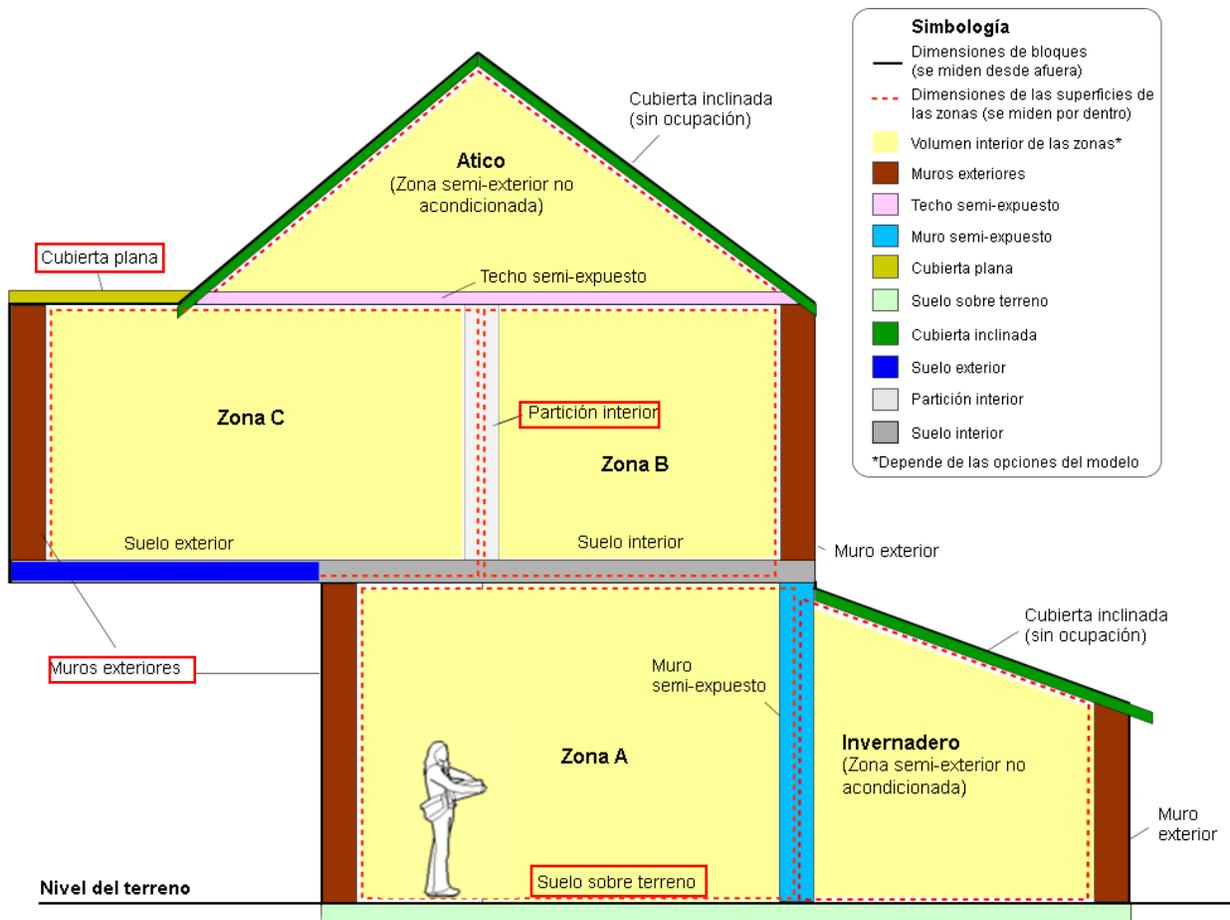


Figura 19. Elementos constructivos dentro del Software DesignBuilder

Fuente: (Ordoñez, 2017)

Dentro del diagrama también se muestra con líneas punteadas rojas la manera en que se establecen las dimensiones “reales” de las zonas que serán transferidas al motor de cálculo de EnergyPlus, dichas dimensiones se definen en la sección de geometría, áreas y volúmenes.

Por otro lado, las propiedades termo – físicas de las superficies se derivan de la descripción de las capas de material donde se define el tipo y grosor del elemento constructivo. A continuación, se describen los parámetros utilizados:

- Particiones: Son todos los muros interiores o paredes que dividen una zona con otra.
- Techos: Son todas las superficies horizontales que dividen al edificio en diferentes plantas.

- Muros exteriores: Son todas las superficies verticales del edificio que se encuentran expuestas directamente al ambiente exterior, por lo cual se ve afectada por las condiciones del aire exterior y la radiación solar dependiendo de los elementos de sombreado que tenga la superficie o de las construcciones vecinas.
- Cubierta Plana: Son todas las superficies horizontales del edificio que están expuestas directamente al ambiente exterior, por lo general se ve afectada por las condiciones del aire exterior y la radiación solar.
- Suelos interiores: Son todos los suelos interiores del edificio que dividen zonas entre sí.
- Suelos sobre terreno: Son todos los suelos del edificio que se consideran en contacto con el terreno, esta superficie se ve afectada principalmente por la temperatura del terreno.

Los datos ingresados dentro de las plantillas de cerramiento en el software DesignBuilder estaban basadas en las fichas constructivas del edificio.

#### Cuarta fase

Se realizó la simulación energética donde se evaluó la carga térmica por ganancias internas de cada zona determinada por ocupación, actividad, equipamiento, horario, mientras que para las ganancias solares en elementos constructivos del edificio se evaluó el tipo de material, espesor y la conductividad térmica del material. Como resultado se obtuvo la carga térmica en kWh de cada parámetro evaluado durante periodos mensuales y anuales.

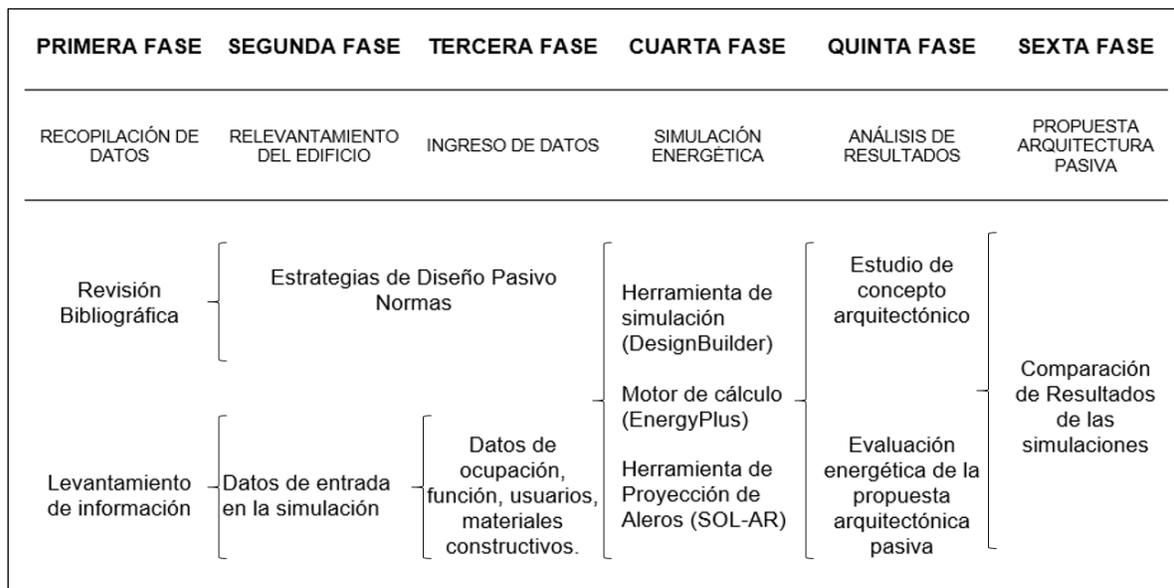
#### Quinta fase

Se analizan los resultados obtenidos de la simulación del edificio Asociación de Profesores FAU en condiciones actuales, durante el análisis mensual se determinaron los picos más altos de carga térmica, mientras que en el análisis anual se determinaron los parámetros con mayor carga térmica.

## Sexta fase

Se desarrolla la propuesta de solución implementando estrategias de arquitectura pasiva, previo a ello se estudió un concepto arquitectónico basado en la analogía biológica de la piel, con la necesidad de dar protección al edificio y mejorar el rendimiento energético del mismo. Finalmente se realizó la comparación de resultados obtenidos de las simulaciones energéticas con la finalidad de verificar si la aplicación de arquitectura pasiva reduce la carga térmica y el consumo eléctrico total del edificio.

A continuación, se presenta un esquema del proceso metodológico de la investigación:



*Figura 20. Esquema de metodología de estudio*

*Elaboración y Fuente: Autores de tesis*

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. Resultados de la evaluación energética del edificio Asociación de Profesores en condiciones actuales

Las evaluaciones energéticas del edificio Asociación de Profesores se realizaron durante un periodo mensual y anual, del periodo mensual se conocieron los picos más altos de carga térmica, mientras que en el periodo anual se determinó los elementos con mayor carga térmica durante todo el año. Los resultados de las simulaciones del edificio en condiciones actuales serán comparados con los resultados de la Propuesta de Arquitectura Pasiva.

##### 4.1.1. Evaluación mensual

En el siguiente corte (Figura 21), se detallan los parámetros analizados en ganancias internas y solares, estos son: Iluminación General, Computadoras y Equipos, Ocupación y Ganancias Solares en Ventanas Exteriores.

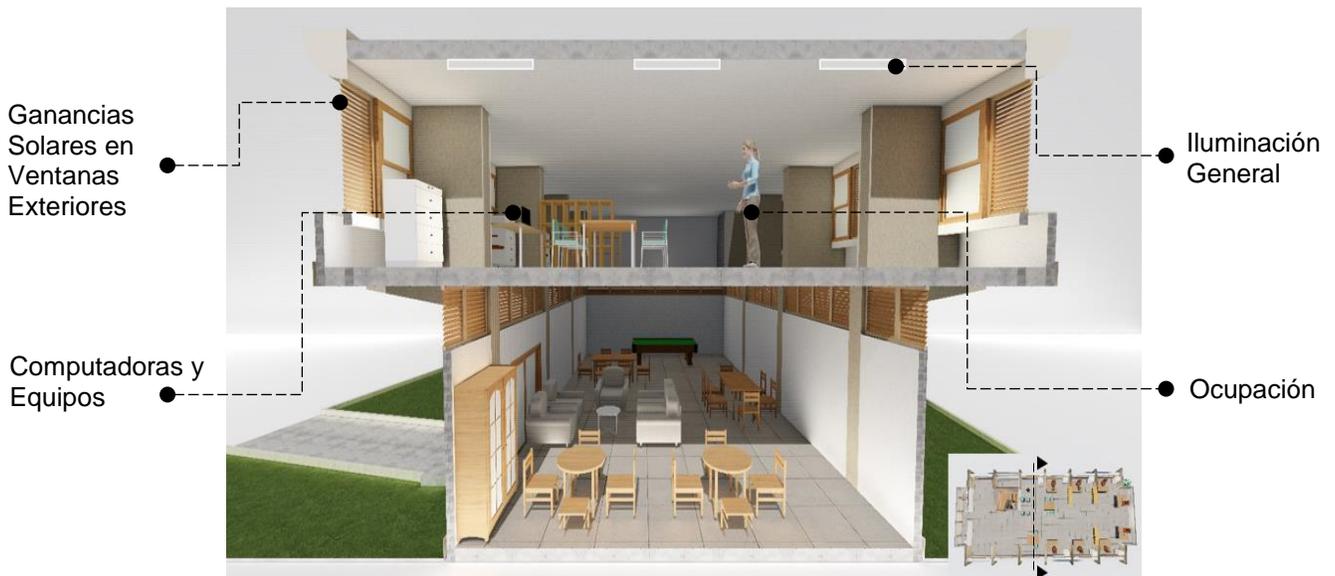


Figura 21. Vista de parámetros que generan ganancias internas y solares del edificio Asociación de Profesores

Elaboración y Fuente: Autores de tesis

A continuación, se observa en el Gráfico 1. La frecuencia del comportamiento térmico y su Tabla 19. Con los valores de las cargas térmicas en kWh durante cada mes, pudiendo registrar los picos más altos en los meses de marzo, abril y mayo, después de estos meses la ganancia térmica disminuye y vuelve a adquirir mayor ganancia en los meses de septiembre y octubre.

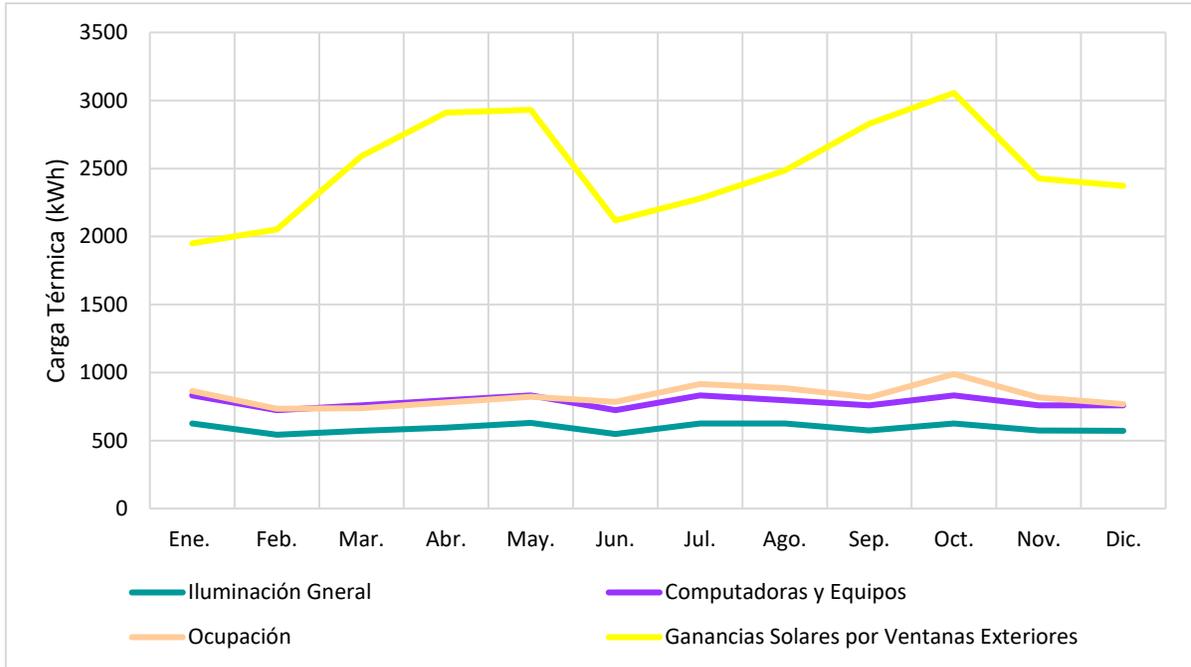


Gráfico 1. Ganancias internas y solares mensuales del edificio Asociación de Profesores

Fuente: Software DesignBuilder

Tabla 19. Carga térmica por ganancias internas y solares mensuales del edificio Asociación de Profesores

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Iluminación General (kWh)	625,64	542,81	570,65	594,70	629,83	548,06	625,87	596,29	573,87	625,16	574,12	572,09
Computadoras y Equipos (kWh)	831,81	723,31	759,48	795,64	831,81	723,31	831,81	795,64	759,48	831,81	759,48	759,48
Ocupación (kWh)	864,29	733,93	737,83	778,66	821,25	783,94	915,13	885,59	816,87	989,16	816,35	768,94
Ganancias Solares Ventanas Exteriores (kWh)	1949,28	2053,35	2589,83	2910,08	2932,48	2117,95	2279,39	2485,19	2829,42	3055,50	2427,02	2372,36

Fuente: Software DesignBuilder

Después de analizar los parámetros de ganancias internas y solares, se pudo concluir que las ganancias solares por ventanas exteriores aportan mayor cantidad de carga térmica al edificio.

En el siguiente corte (Figura 22), se detallan los parámetros analizados en ganancias térmicas por elementos constructivos, estos son: Particiones, Techos, Muros, Cubierta, Suelos Interior, Suelos sobre Terreno.



*Figura 22. Vista de parámetros que generan ganancias solares por elementos constructivos del edificio Asociación de Profesores*

*Elaboración y Fuente: Autores de tesis*

En el Gráfico 2. Se observa la frecuencia del comportamiento térmico con los valores de las cargas térmicas por elementos constructivos en kWh (Tabla 20), durante cada mes, registrando los picos más altos en los meses de marzo, abril y mayo.

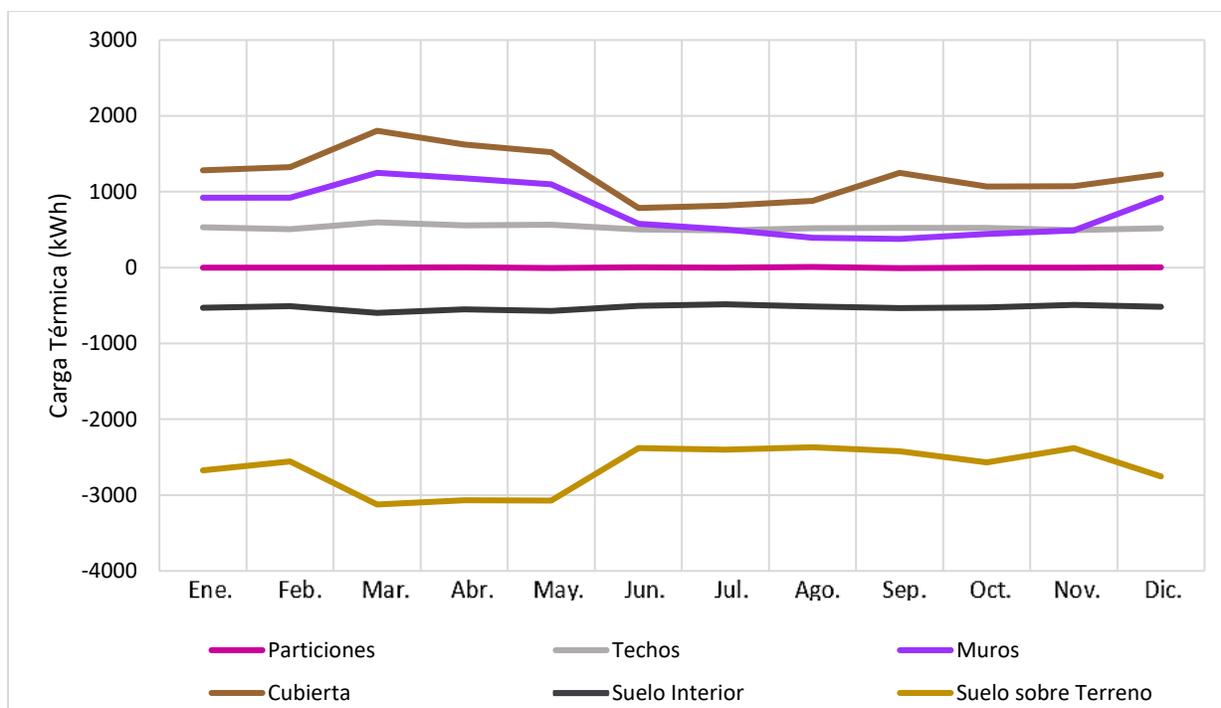


Gráfico 2. Ganancias térmicas en materiales de construcción del edificio Asociación de Profesores  
Fuente: Software DesignBuilder

Tabla 20. Carga térmica por ganancias solares mensuales en materiales constructivos del edificio Asociación de Profesores

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
<b>Particiones (kWh)</b>	0,93	-1,37	0,01	4,45	-3,78	2,26	-1,02	8,40	-7,11	-2,49	0,21	3,21
<b>Techos (kWh)</b>	530,51	504,96	596,75	557,70	565,06	504,43	490,81	521,15	524,99	523,12	493,51	520,43
<b>Muros (kWh)</b>	922,39	921,32	1249,57	1178,36	1097,25	579,34	502,62	394,90	378,17	444,63	490,75	921,56
<b>Cubierta (kWh)</b>	1282,92	1323,26	1804,08	1621,99	1520,23	785,90	821,84	880,31	1249,12	1070,45	1072,32	1230,21
<b>Suelo Interior (kWh)</b>	-529,83	-506,87	-597,24	-551,99	-569,88	-502,83	-481,48	-510,83	-533,03	-527,23	-491,38	-517,04
<b>Suelo sobre Terreno (kWh)</b>	-2674,90	-2555,46	-3123,69	-3067,27	-3070,08	-2381,14	-2399,37	-2368,79	-2422,75	-2569,20	-2380,64	-2752,43

Fuente: Software DesignBuilder

Después de analizar los parámetros de ganancias térmicas por elementos constructivos, se pudo concluir que los elementos de muros y cubierta generan una mayor aportación de carga térmica al edificio.

#### 4.1.2. Evaluación anual

En el Gráfico 3. Se presentan las ganancias internas y solares, en donde se determinó que las ganancias térmicas por ventanas exteriores aportan con una carga total de 30001,87 kWh al edificio.

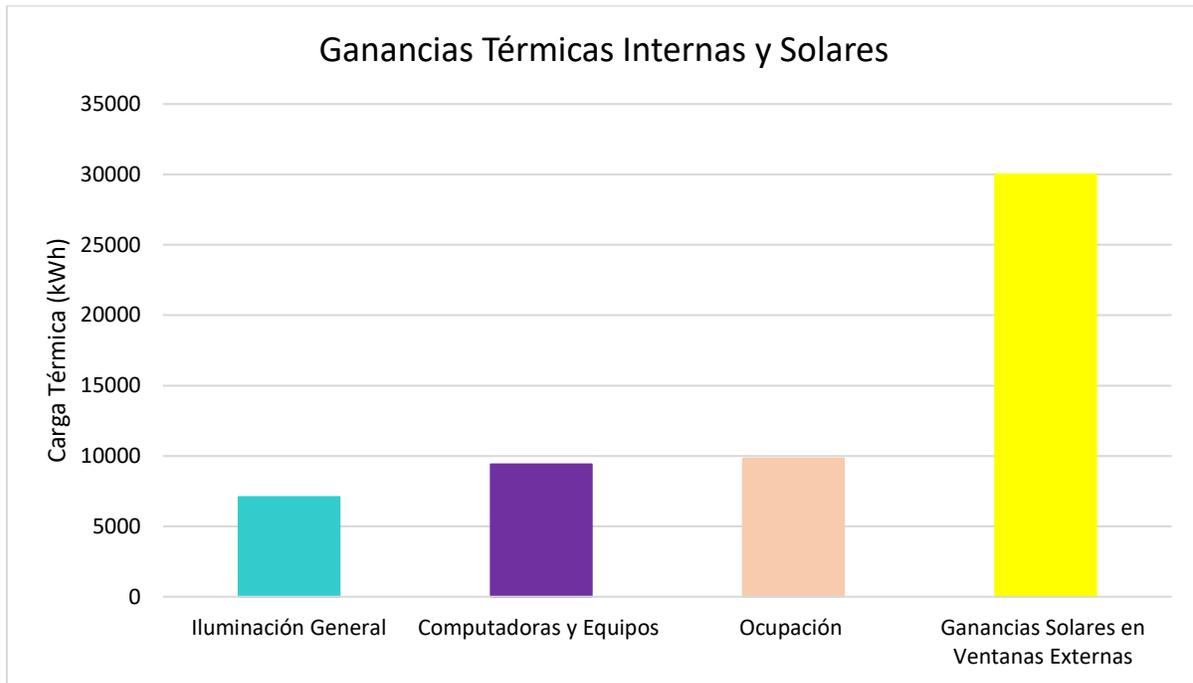


Gráfico 3. Ganancias internas y solares anuales del edificio Asociación de Profesores  
Fuente: Software DesignBuilder

En la Tabla 21. Se muestran los valores anuales de carga térmica por ganancias internas y solares.

Tabla 21. Carga térmica por ganancias internas y solares anuales del edificio Asociación de Profesores

Aspectos Evaluados	Carga Térmica (kWh)
Iluminación General	7079,10
Computadoras y Equipos	9403,04
Ocupación	9820,94
Ganancias Solares Ventanas Exteriores	30001,87

Elaboración: Autores de tesis y Fuente: Software DesignBuilder

En el Gráfico 4. Se presentan las ganancias solares por elementos constructivos, en donde se determinó que muro aporta con 9098,86 kWh y cubierta aporta con 14662,63

kWh anuales, siendo estos los elementos constructivos que aportan con mayor carga térmica al edificio.

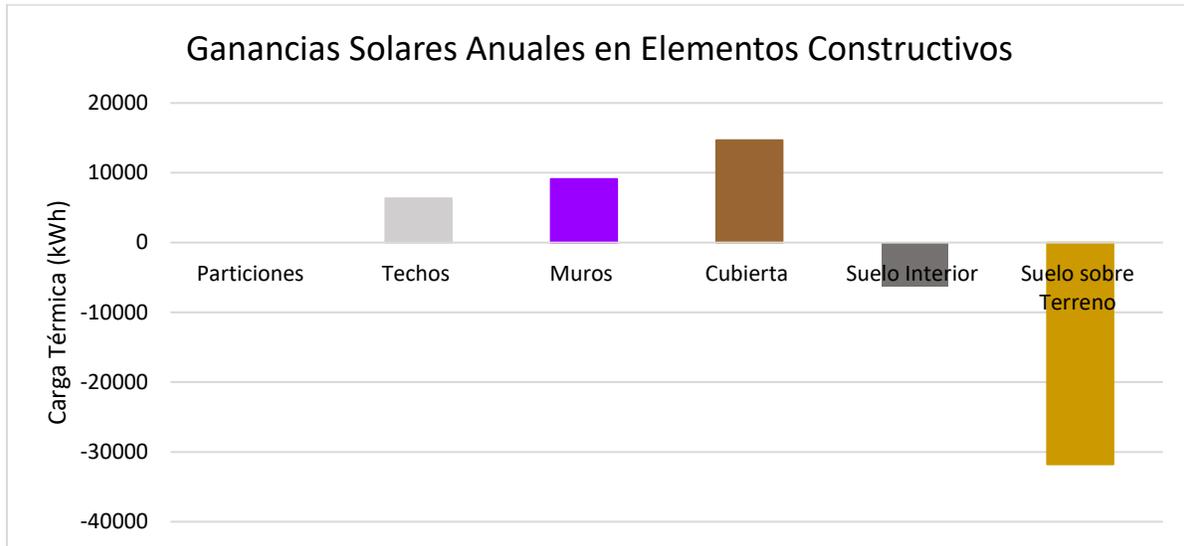


Gráfico 4. Ganancias solares anuales en elementos constructivos del edificio Asociación de Profesores

Fuente: Software DesignBuilder

En la Tabla 22. Se muestran los valores anuales de carga térmica por elementos constructivos evaluados.

Tabla 22. Carga térmica por ganancias solares anuales en elementos constructivos del edificio Asociación de Profesores

Elementos Constructivos	Carga Térmica (kWh)
Particiones	3,70
Techos	6333,43
Muros	9098,86
Cubiertas	14662,63
Suelo Interior	-6329,64
Suelo sobre Terreno	-6329,64

Elaboración: Autores de tesis y Fuente: Software DesignBuilder

El consumo total de energía del edificio en condiciones actuales es de 72082.91 kWh anualmente, los resultados se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23. Consumo energético total del edificio Asociación de Profesores

Fuente de Energía del Edificio	Energía Total (kWh)	Energía Total por Área de Construcción (kWh)	Energía por Área de Construcción Acondicionada (kWh)
Energía Total del Edificio	72082.91	201.84	354.20

Elaboración: Autores de tesis y Fuente: Software DesignBuilder

## CAPITULO V

### 5. PROPUESTA DE ARQUITECTURA PASIVA

#### 5.1. Objetivos de la propuesta

##### 5.1.1. Objetivo general

Aplicar estrategias de arquitectura pasiva al edificio Asociación de Profesores, con la finalidad de reducir el consumo energético y las ganancias térmicas de las superficies más afectadas.

##### 5.1.2. Objetivos específicos

- Desarrollar un concepto arquitectónico partiendo de analogías en función de la protección solar.
- Intervenir en las superficies de mayor ganancia térmica del edificio mediante soluciones de protección solar.
- Utilizar materiales de baja conductividad térmica en la propuesta de arquitectura pasiva.
- Reducir la carga térmica en elementos constructivos de mayor ganancia térmica.
- Evaluar la propuesta de arquitectura pasiva mediante el software DesignBuilder.

#### 5.2. Concepto arquitectónico

##### Arquitectura Biológica

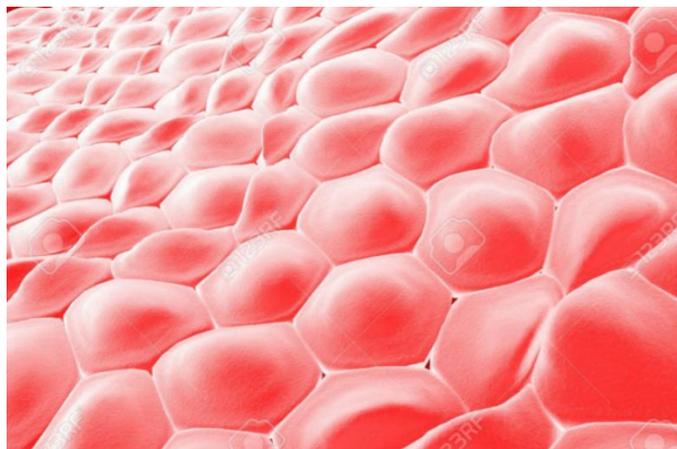
La arquitectura biología se basa en la aplicación de la geometría sensible como patrones geométricos presentes en la naturaleza (Aresta, 2018), se define en base a los siguientes principios:

- Diseños bioclimáticos comprometidos con el clima.
- Uso de plantillas de geometría sensible en el proyecto como base conceptual.
- Utilización de materiales eficientes.

El polaco B. Mandelbrot establece que la geometría se vuelve sensible cuando incorpora a la realidad física de la matemática una realidad simbólica como un objeto geométrico cuya estructura se repite en diferentes escalas, siendo ideales para describir formas de la naturaleza. Este estudio imaginativo de la forma nos da la capacidad de identificación e integración con el entorno a partir del reconocimiento de las proporciones y los patrones que se encuentran en nuestro cuerpo, ya sea una estructura celular o en la configuración de una hoja de árbol. (Aresta, 2018)

En el ámbito propiamente arquitectónico el arquitecto norteamericano Louis Sullivan fue quien convirtió a los modelos biológicos en una verdadera doctrina arquitectónica. (Giménez, Mirás, & Valentino, 2013)

Partiendo de estas ideas se va desarrollando el concepto arquitectónico que nace de la idea subjetiva de protección, la necesidad inmediata del edificio es proteger las superficies con mayor carga térmica, se toma la idea analógica de la piel humana, vista desde un nivel microscópico, en donde se puede apreciar la geometría de la que está compuesta a través de las células epiteliales.



*Figura 23. Célula Epitelial*

*Fuente: 123RF*

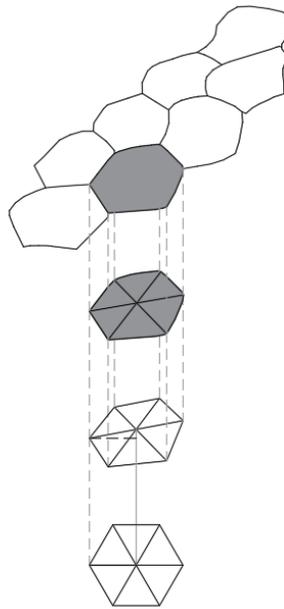
Para la Dra. Palacios las funciones principales de la célula epitelial son:

- Detectar estímulos del medio ambiente, relacionados con la temperatura, el tacto, la presión.

- Proteger al organismo de rayos ultravioleta.
- Permitir la termorregulación, que es el equilibrio de la temperatura corporal.

La analogía también parte de la relación metafórica entre las funciones de la célula epitelial y los objetivos de la propuesta, debido a que las dos están determinadas por la protección solar y la regulación de la temperatura sea este de un organismo vivo o de un edificio.

Mediante la forma de la estructura de las células epiteliales se extrae la figura base, conformado por hexágonos regulares.

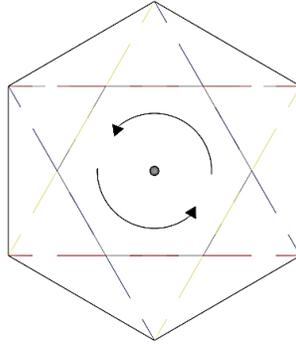


*Figura 24. Abstracción geométrica de la célula epitelial a hexágono regular*

*Elaboración y Fuente: Autores de tesis*

El hexágono regular permite la aplicación de patrones y proporciones geométricas de crecimiento presentes en la naturaleza biológica, como la proporción aurea.

Partiendo de estas ideas se concluye que el hexágono regular puede construirse a partir de un rectángulo cubico, esto se logra por el eje del centro para que las esquinas se encuentren, como se muestra en la Figura 25.



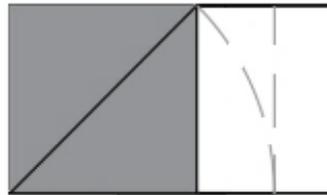
*Figura 25. Rotación del rectángulo cubico sobre el eje central del hexágono*

*Elaboración y Fuente: Autores de tesis*

Construcción de rectángulo de raíz cubica dentro del hexágono:

Los rectángulos cúbicos tienen la propiedad de permitir la construcción de un prisma regular hexagonal. Se realizó el siguiente proceso:

- Se inicia con un cuadrado, dibujando una línea diagonal dentro del cuadrado, se utiliza la diagonal como un arco que toca la línea de la base del cuadrado, encierre el rectángulo alrededor de la nueva figura. Este es un rectángulo de raíz cuadrada.



*Figura 26. Figura geométrica cuadrada*

*Elaboración y Fuente: Autores de tesis*

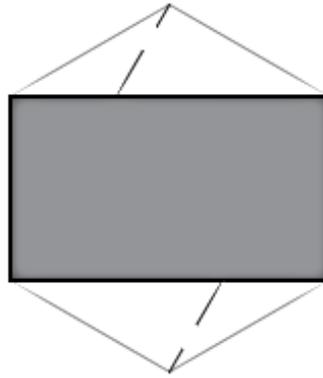
- Se dibuja una diagonal dentro del rectángulo de raíz cuadrada. Se usa la diagonal como arco que toca la línea de la base del rectángulo.



*Figura 27. Rectángulo de raíz cuadrada*

*Elaboración y Fuente: Autores de tesis*

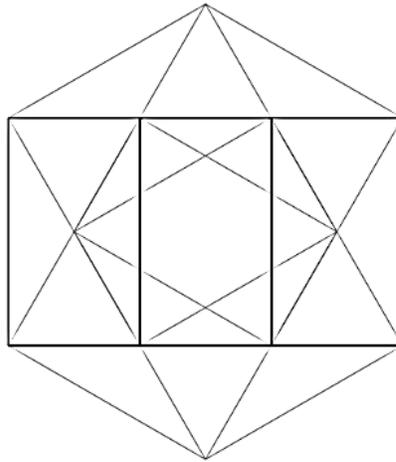
- Este es el rectángulo cubico.



*Figura 28. Rectángulo de raíz cubica  
Elaboración y Fuente: Autores de tesis*

### Subdivisión de la raíz cubica

Un rectángulo de raíz cubica puede subdividirse en rectángulos menores cúbicos. Se divide el rectángulo en tercios para crear tres rectángulos menores. (Elam, pág. 50)



*Figura 29. Subdivisión de rectángulo de raíz cubica  
Elaboración y Fuente: Autores de tesis*

La malla reticular (Figura 29), que se forma con los rectángulos menores cúbicos, es la base para el desarrollo modular de las protecciones solares en ventanas exteriores.

### 5.3. Análisis de función

La solución a la problemática que presenta el edificio Asociación de Profesores sobre las cargas térmicas se realizara a través de estrategias de arquitectura pasiva, estas estrategias no requieren de consumo de energía y mejoran el confort del edificio.

En base a los datos obtenidos en los resultados de simulación en las condiciones actuales del edificio Asociación de Profesores, se establecieron las superficies con mayor carga térmica anual y sobre las cuales se implementarán soluciones de protección solar como estrategias de arquitectura pasiva.

Tabla 24. Ganancias térmicas anuales

Elementos Constructivos Evaluados	Ganancias Térmicas Anuales (kWh)
Ventanas Exteriores	30001.87
Cubierta	14662.63
Muros	9098.86

Fuente: Software DesignBuilder

El material que se utilizara para la protección solar es el aluminio, siendo un material resistente a la corrosión, ligero y eficientemente energético, excelente a la hora de reflejar la luz y el calor, ayudando a reducir el consumo energético. En aleación con otros materiales como el zinc o el cobre mejoran sus propiedades mecánicas alargando su vida útil, y presentando una mayor resistencia al agua y a los efectos dañinos de los rayos UVA.

“Con un ciclo de vida sostenible de principio a fin, se puede afirmar que el aluminio es prácticamente un 100% reciclable. Su tasa de recuperación en construcción es de un 95%, y su reciclado ahorra el 95% de la energía usada en su producción inicial” (Gregório, 2016, pág. 23). Optimiza el aprovechamiento de la energía solar, como en la refrigeración, a través del empleo de sistemas de fachada ventilada de aluminio (Aluminio Org., 2018).

El aluminio como material permite una gran variedad de diseños, pues es muy flexible que permite obtener formas planas, curvas y mixtas.

Este material será usado como protección solar y en fachada ventilada. En la Tabla 25. Se presenta las propiedades del aluminio considerados dentro de la simulación energética.

Tabla 25. Ficha técnica de aluminio

Características		Medidas	Gráfico
Propiedades de masa térmica	Conductividad	230,00 (W/m-K)	
	Calor específico	880,00 (J/Kg-K)	
	Densidad	2700,00 (Kg/m3)	
Transmitancia Térmica	Valor U (W/m2-K)	0.69	
	Espesor	0.003 mm	

Elaboración: Autores de tesis y Fuente: Software DesignBuilder

### 5.3.1. Ventanas Exteriores

En ventanas exteriores se plantea la solución de protección solar por medio de aleros de aluminio, previo a ello se realizó un análisis de las proyecciones de las sombras en ventanas, mediante el software SOL-AR que permite calcular el ángulo alfa que determina la distancia del alero y por medio de funciones trigonométricas se calculó las distancias de los aleros correspondiente a la fachada Este y Oeste.

#### - Análisis en el software SOL-AR de Protecciones Solares en Ventanas Exteriores

Se ingresaron datos respecto a la orientación de las fachadas y latitud en la que se encuentra el edificio.

El valor de latitud ingresado en el software es constante de -2.18, mientras que el valor de orientación dependerá de la fachada que se esté analizando, estos valores se utilizaran para el cálculo de aleros en las fachadas este y oeste.

## Análisis en SOL-AR de Fachada Este

Para esta fachada el ángulo de orientación es de  $74^\circ$  en sentido Oeste-Norte (Figura 30), luego se ingresó el ángulo alfa de  $53^\circ$  que determina la distancia del alero para proteger las ventanas en horas de mayor incidencia solar.

Según el Departamento de Seguros de Texas, las horas de mayor incidencia solar se da entre las 10:00 a.m. y las 16:00 p.m. El ángulo propuesto estará en función de estas horas con la finalidad de brindar una mayor protección.

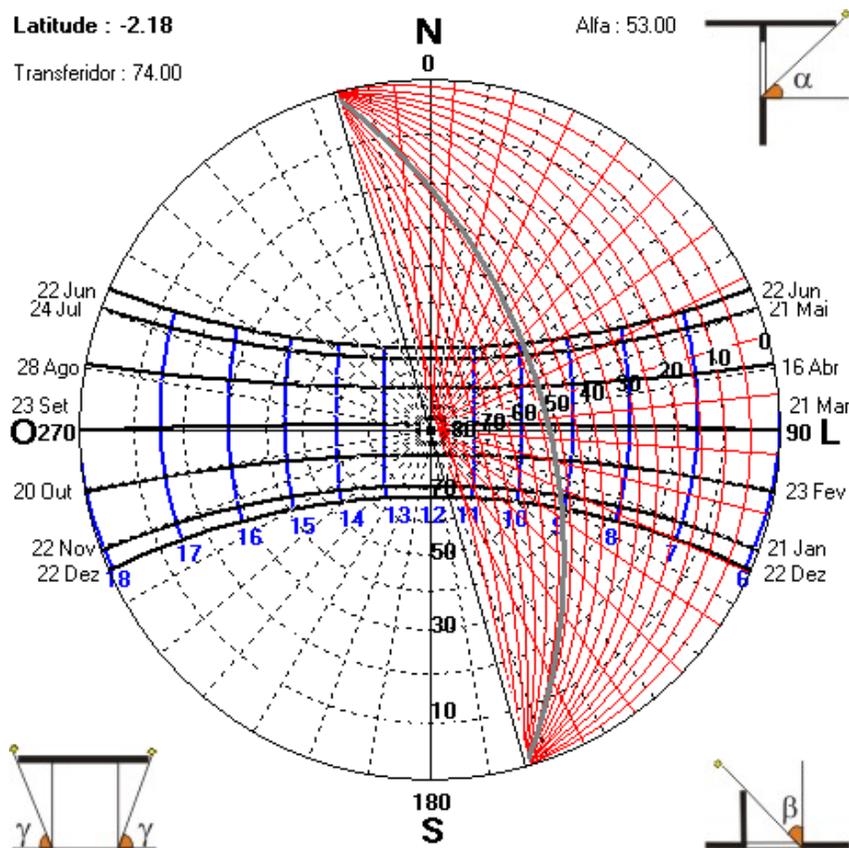


Figura 30. Angulo alfa de proyección de alero en fachada este del edificio Asociación de Profesores

Fuente: Software SOL-AR 6.2

Después de realizar variaciones en el ángulo alfa, se determinó que el ángulo de  $53^\circ$  es eficiente para la fachada este (Figura 30), dado que durante el solsticio de verano (21 de junio) el alero empieza a generar sombra a partir de las 10:00 a.m., y durante el solsticio de invierno (22 de diciembre) genera sombra a partir de las 09:00 a.m.

Una vez conocido el ángulo de  $53^\circ$  se aplicó funciones trigonométricas para determinar la distancia del alero (L.O. = Lado Opuesto), para ello se conoce que la altura de la ventana es 1.60 metros (L.A. = Lado Adyacente), y se calculó el ángulo complementario de  $53^\circ$  (A.C. =  $37^\circ$ ). La suma de los ángulos complementarios es  $90^\circ$ .

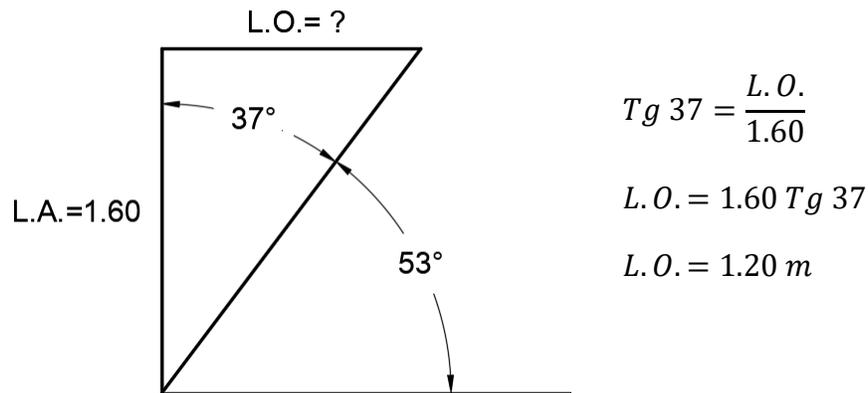


Figura 31. Esquema de cálculo de alero de fachada este del edificio

Asociación de Profesores

Elaboración y Fuente: Autores de tesis

En la Figura 31. Se observa el cálculo trigonométrico del alero (L.O.), aplicando la función trigonométrica de  $\text{Tg } x = \frac{L.O.}{L.A.}$ , obteniendo como resultado un alero de 1.20 m, esto correspondiente a la fachada este del edificio Asociación de Profesores FAU.

### Análisis en SOL-AR de Fachada Oeste

El ángulo de orientación de la fachada oeste es  $254^\circ$  (Figura 32) en sentido Oeste-Sur. Se determinó un ángulo alfa de  $28^\circ$  que define la distancia del alero con el propósito de cubrir las ventanas durante las horas de mayor incidencia solar.

El ángulo alfa de  $28^\circ$  permite cubrir las ventanas hasta las 16:15 p.m. durante el solsticio de verano (21 de junio), mientras que en el solsticio de invierno (22 de diciembre) se protegerá las ventanas hasta las 16:00 p.m.

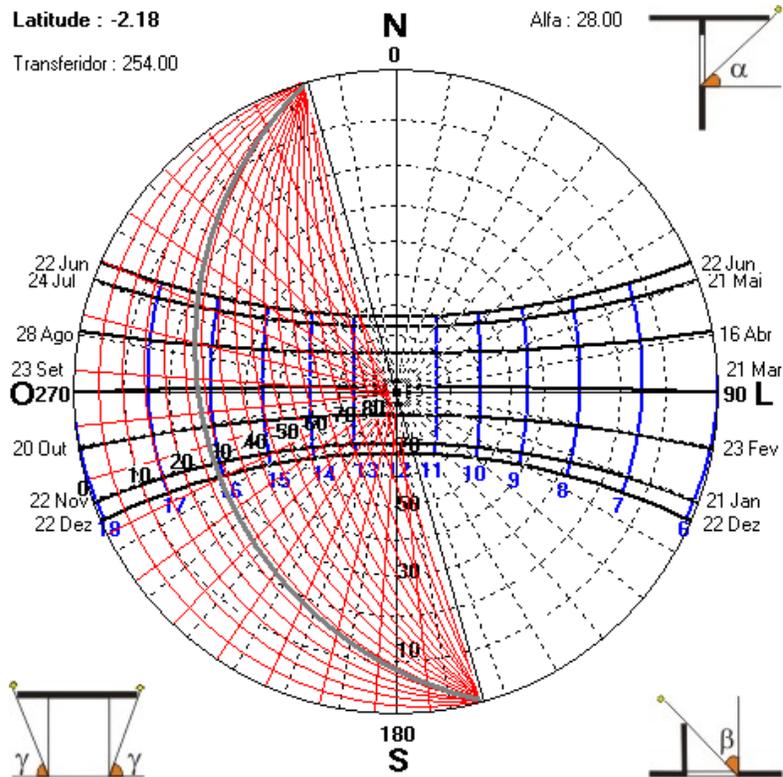


Figura 32. Angulo alfa de proyección de alero en fachada oeste del edificio Asociación de Profesores

Fuente: Software SOL-AR 6.2

Conocido el ángulo de  $28^\circ$  se aplicó funciones trigonométricas para determinar la distancia del alero (L.O. = Lado Opuesto), para ello se conoce que la altura de la ventana es 1.60 m (L.A. = Lado Adyacente), y se calculó el ángulo complementario de  $28^\circ$  (A.C. =  $62^\circ$ ). La suma de los ángulos complementarios es  $90^\circ$ .

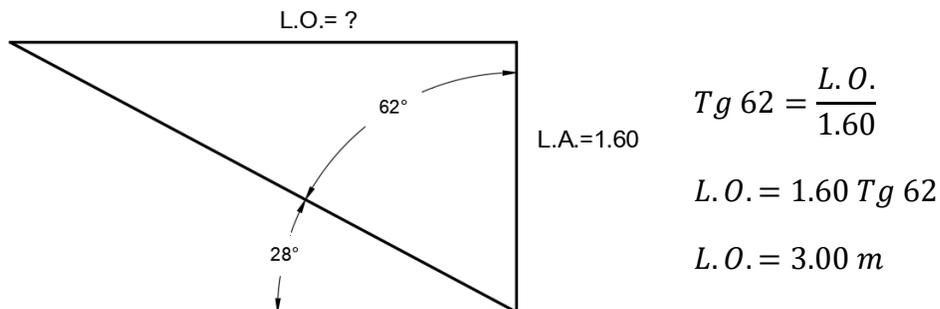


Figura 33. Esquema de cálculo de alero de fachada oeste del edificio

Asociación de Profesores

Elaboración y Fuente: Autores de tesis

En la Figura 33. Se observa el cálculo trigonométrico del alero (L.O.), aplicando la función trigonométrica de  $Tg x = \frac{L.O.}{L.A.}$ , obteniendo como resultado un alero de 3.00 m, esto correspondiente a la fachada oeste del edificio Asociación de Profesores FAU.

- Medidas de aleros

Una vez obtenidas las longitudes de los aleros por medio de las funciones trigonométricas, se establecieron parámetros más exactos sobre las medidas correspondientes de los aleros donde se implementaría la propuesta de protección solar.

Para generar una composición en las fachadas se estableció que la longitud máxima del alero es de 0.75 m, pero para cubrir la demanda de protección solar en las horas de mayor incidencia se proyecta un alero vertical que genera sombra en las ventanas durante las horas en que estas se ven más afectadas por la radiación solar directa.

En la Figura 34. Se muestra el cálculo de la igualdad de triángulos que se realizó para obtener la altura del alero vertical de la fachada este, dando como resultado de 0.60 m de altura.

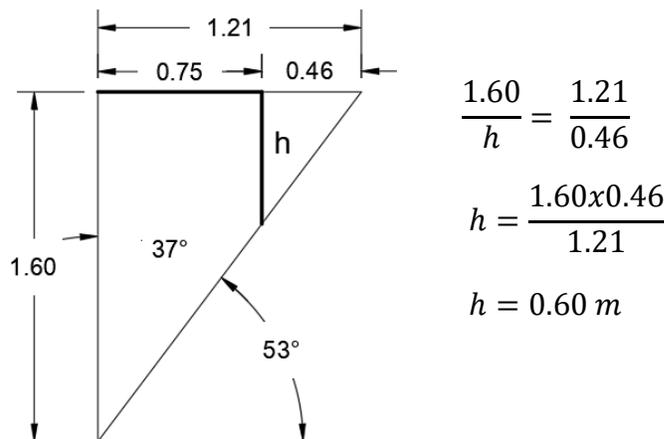


Figura 34. Esquema de solución del cálculo de alero fachada este del edificio Asociación de Profesores  
Elaboración y Fuente: Autores de tesis

En la Figura 35. Se muestra una sección del edificio Asociación de Profesores FAU con las medidas que se utilizarán para los aleros como estrategia de protección solar dentro de la arquitectura pasiva.

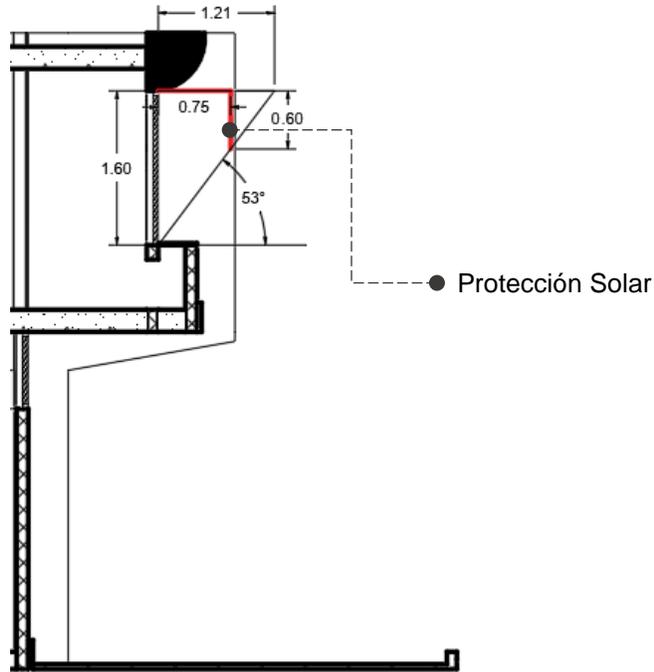


Figura 35. Corte transversal de fachada este del edificio Asociación de Profesores  
Elaboración y Fuente: Autores de tesis

En la Figura 36. Se muestra el cálculo de la igualdad de triángulos que se realizó para obtener la altura del alero vertical de la fachada oeste, dando como resultado de 1.20 m de altura.

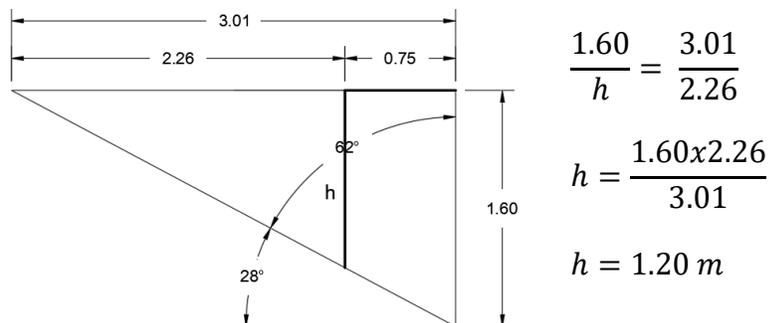
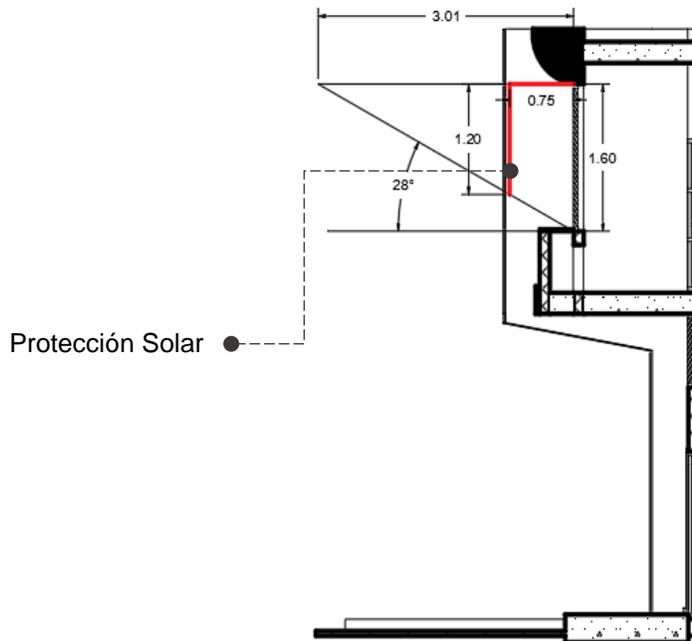


Figura 36. Esquema de solución del cálculo de alero fachada oeste del edificio Asociación de Profesores  
Elaboración y Fuente: Autores de tesis

En la Figura 37. Se muestra una sección del edificio Asociación de Profesores con las medidas que se utilizaran para los aleros con la propuesta de arquitectura pasiva.



*Figura 37. Corte transversal de fachada oeste de edificio Asociación de Profesores  
Elaboración y Fuente: Autores de tesis*

Los aleros que se implementaran son de dos tipos, el que se utilizara en la fachada este, tendrá un alero horizontal de 0.75 m y un alero vertical de 0.60 m que forman un ángulo de 90°, mientras que en la fachada oeste se implementara un alero horizontal de 0.75 m y un alero vertical de 1.20 m que forman un ángulo de 90°.

### 5.3.2. Cubierta

Para reducir la carga térmica en cubierta se planteó usar como propuesta una cubierta verde de planta de maracuyá de 2.5 m de alto, desarrollándose sobre una malla, la hoja de esta planta es beneficioso pues llega a medir de 8 a 16 cm de largo, y su producción se da durante todo el año, la propuesta logra reducir más del 75% de la demanda de energía diaria que requiere el edificio para mantener el confort en el interior.

La producción en Ecuador del maracuyá se da durante todo el año sin embargo se destaca su cosecha entre los meses de abril-septiembre y diciembre-enero, donde los

niveles de producción son superiores al promedio (El cultivo de la Maracuyá en Ecuador, 2015).

Cañizares & Jaramillo realizan un estudio sobre el proceso de cultivo de la planta de maracuyá, como se describe a continuación:

- Desinfección de semilla

Primero se desinfecta la semilla con el compuesto químico Dazomet que evita la aparición de hongos e insectos, se debe usar de 150 a 300 gramos por metro cúbico de sustrato y luego esperar 3 semanas para poder sembrar.

- Siembra

Se procederá a sembrar tres semillas en una bolsa y se colocarán a un centímetro de profundidad, luego se recomienda cubrir con cascara de arroz con la finalidad de guardar humedad.

- Riego

Es importante mantener un suministro frecuente de agua, sin producir encharcamientos que produzcan la aparición de hongos.

- Fertilización

Es recomendable aplicar un foliar completo siguiendo las indicaciones del fabricante del producto, si al apareamiento del segundo par de hojas se nota clorosis se puede aplicar sulfato de amonio diluido en agua en concentración de 0,2-0,3%. Mientras que al suelo se deberá colocar gránulos de fórmula 15-15-15 o 12-12-17.2.

- Control de plagas

Para controlar las plagas se puede utilizar Malathion 57 EC en concentración de 1 mL por litro de agua, se recomienda aplicar acaricidas para evitar la presencia de ácaros. Para evitar el ataque de hongos se debe evitar el exceso de agua y permitir la

iluminación y ventilación, es importante que una vez realizada la siembra se aplique 1 mL de Carbendazim 50% más 1 mL de Propamocarb 72% por litro de agua, repitiéndolo cada 15 días. Para prevenir enfermedades en el follaje se aplica semanalmente Oxidocloruro de cobre, en concentración de 2 gramos de producto por litro de agua.

Para que la planta de maracuyá se desarrolle y consiga una buena distribución de las guías, se construirá un sistema estructural de tipo troja, con un emparrado o malla en la parte superior, se recomienda que los cuadros de la malla tengan 90 cm de largo y 40 cm de ancho, el sistema tendrá una altura debe de 2 a 3 metros y se colocaran los postes a una distancia de 5 a 7,5 metros.

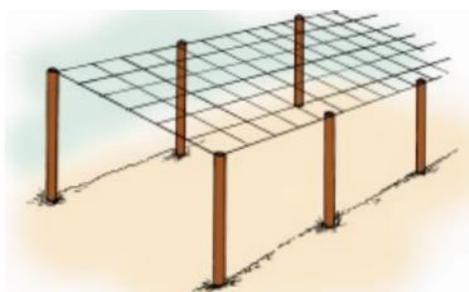


Figura 38. Sistema de conducción en ramada

Fuente: Cañizares & Jaramillo

A continuación, se describe la ficha técnica de las propiedades de la cubierta verde de maracuyá considerados dentro de la simulación energética.

Tabla 26. Ficha técnica de cubierta verde de maracuyá

Características		Medidas	Gráfico
Material	Cubierta de Maracuyá	20.73 x 10.54 m	
Propiedades de Masa Térmica	Resistencia Térmica	0,3620 (m2-K/W)	
Transmitancia térmica (U)	Valor U (W/m2-K)	1,99	
	Altura de Vegetación	0,1000	
	Índice de área de hojas	2,7000	
	Reflectividad de las hojas	0,220	
	Emisividad de las hojas	0,950	
	Espesor	0.10 cm	

Elaboración: Autores de tesis y Fuente: Asociación de Profesores

### 5.3.3. Muros

En muros exteriores se propone implementar espuma de poliuretano como solución a la carga térmica por ganancia solares, este material es un aislante térmico de alta eficiencia energética, aislante acústico e impermeabilizante, además elimina los puentes térmicos.

En la propuesta se utilizará poliuretano proyectado in situ, este material alcanza una alta capacidad aislante, esto se debe a la baja conductividad térmica que posee el gas espumante (Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, 2012).

El poliuretano proyectado es utilizado en fachadas como impermeabilizante, no es hidrófilo, es decir no absorbe agua, su colocación debe ser de forma continua y estable, y no necesita de elementos separadores lo cual favorece a su correcta instalación.

En fachadas ventiladas la aplicación de la espuma rígida de poliuretano es una solución que aporta buen aislamiento térmico eliminando los puentes térmicos e infiltraciones de aire en su totalidad, sirve de impermeabilizante de la fachada frente al agua de lluvia y proporciona una estabilidad mecánica frente al fuego. Permite la transpiración de forma natural al cerramiento, sin riesgo de condensaciones. (Guía sobre Materiales Aislantes y Eficiencia Energética, 2012)

En la intervención de muros exteriores se planteó usar como estrategia de arquitectura pasiva la implementación de un revestimiento de fachadas ventiladas compuesto por capas interpuestas como: hoja exterior lámina de aluminio, cámara de aire, aislamiento térmico de espuma poliuretano y finalmente la capa existente o muro exterior, se escogieron estos materiales por su capacidad aislante debido al bajo coeficiente de conductividad térmica, logrando una reducción de ganancia térmica en muros.

A continuación, se presenta el esquema de fachada ventilada (Figura 39) y la ficha técnica (Tabla 27) de las propiedades de la fachada ventilada considerados dentro de la simulación energética.

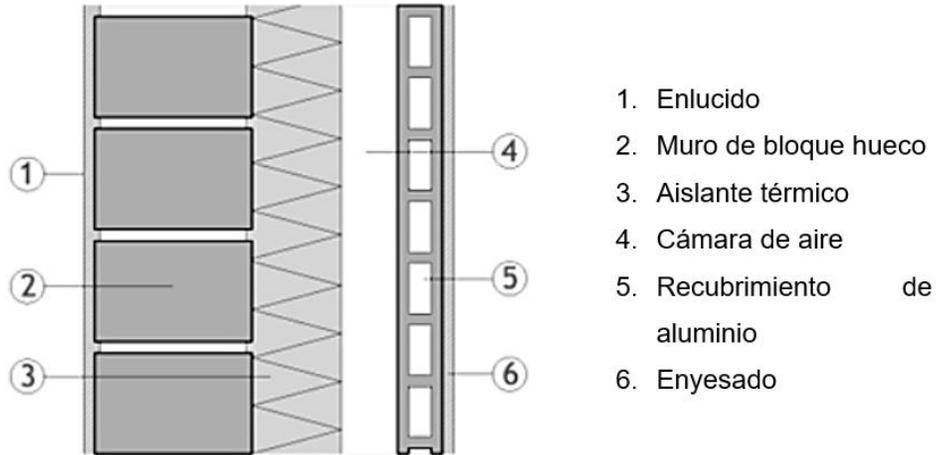


Figura 39. Corte de fachada ventilada  
Elaboración: Autores de tesis

Tabla 27. Ficha técnica de espuma de poliuretano

	Características	Medidas	Gráfico
Propiedades de masa térmica	Conductividad	0.0280 (W/m-K)	
	Calor específico	1470.00 (J/Kg-K)	
	Densidad	30.00 (Kg/m3)	
Transmitancia Térmica	Valor U (W/m2-K)	0.267	
	Espesor	0.03 cm	

Elaboración: Autores de tesis y Fuente: Asociación de Profesores

#### 5.4. Propuesta formal



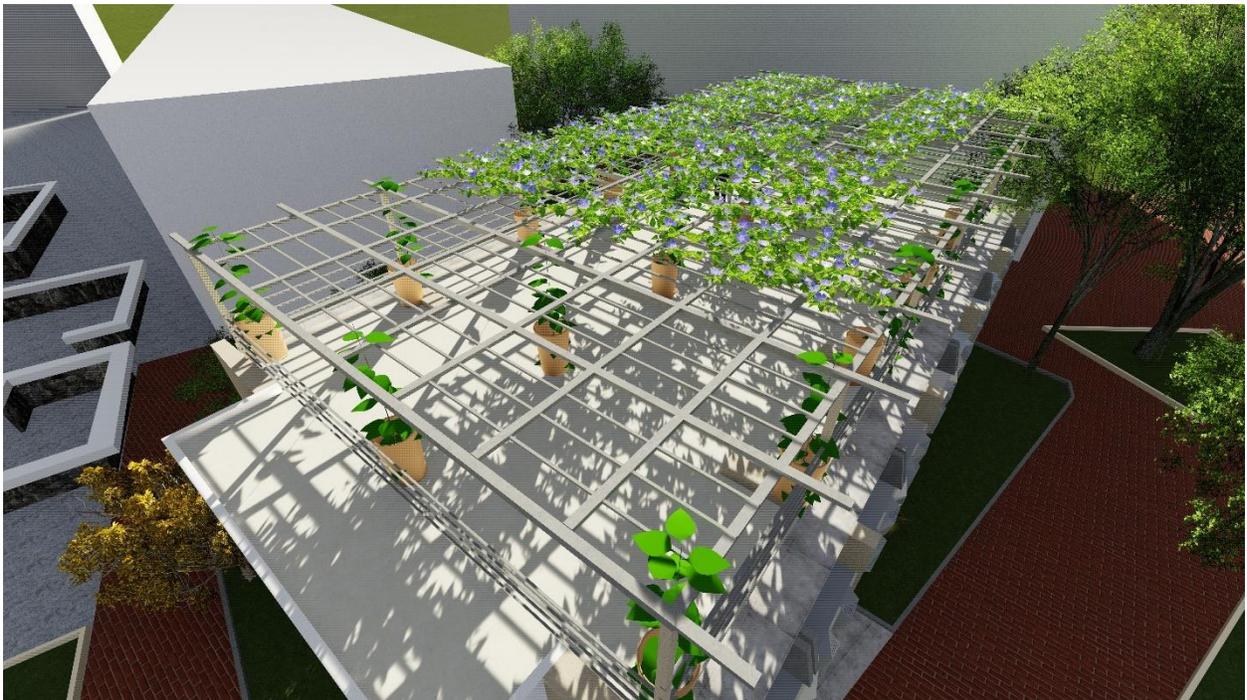
*Figura 40. Propuesta formal de estrategias de arquitectura pasiva  
Elaboración y Fuente: Autores de tesis*



*Figura 41. Estrategia de solución en ventanas exteriores  
Elaboración y Fuente: Autores de tesis*



*Figura 42. Estrategia de solución en muros exteriores  
Elaboración y Fuente: Autores de tesis*



*Figura 43. Estrategia de solución en cubierta  
Elaboración y Fuente: Autores de tesis*



Figura 44. Emplazamiento de la propuesta de arquitectura pasiva

Elaboración y Fuente: Autores de tesis

#### 5.5. Resultados de la evaluación energética del edificio Asociación de Profesores bajo condiciones de arquitectura pasiva

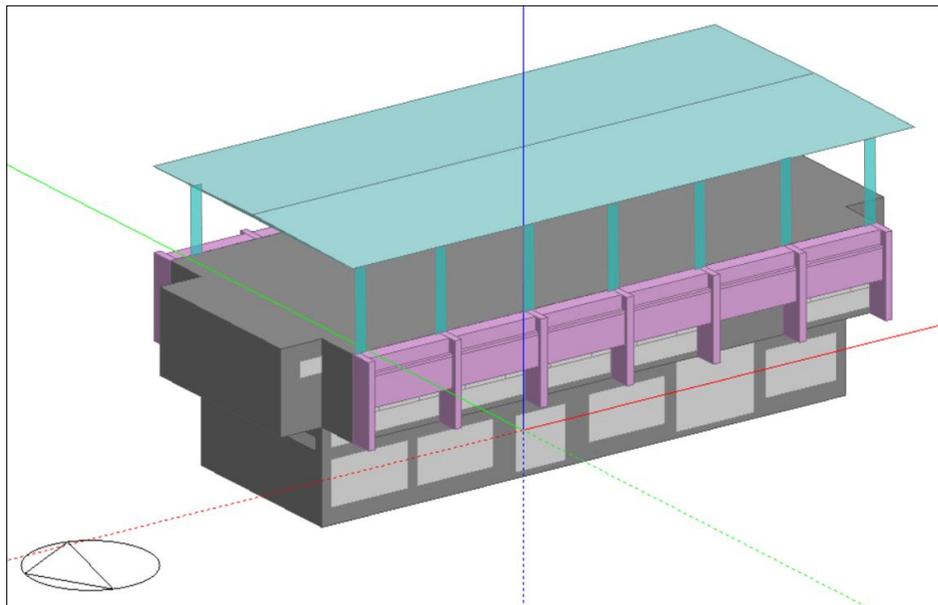


Figura 45. Edificio Asociación de Profesores en DesignBuilder con propuesta de arquitectura pasiva

Elaboración: Autores de tesis. Fuente: DesignBuilder

### 5.5.1. Evaluación mensual

En la evaluación mensual se planteó usar como estrategia de arquitectura pasiva la implementación de un sistema de protección solar para reducir los niveles de carga térmica por ganancias solares en ventanas exteriores, mediante la aplicación de láminas de aluminio simple y perforado, ya que este material permite reflejar la luz y el calor, ayudando a reducir el consumo energético del edificio, su diseño se realizó en base a la geometría establecida en el concepto arquitectónico.

Este sistema de protección solar también permite reducir la influencia directa de luz natural, regulando el flujo de la radiación directa y difusa para mejorar los niveles de iluminancia de la planta alta del edificio Asociación de Profesores.

La simulación energética del edificio con estrategias de arquitectura pasiva refleja una disminución de la ganancia térmica en ventanas exteriores, pues las protecciones solares por aleros cubren las ventanas de la incidencia solar directa.

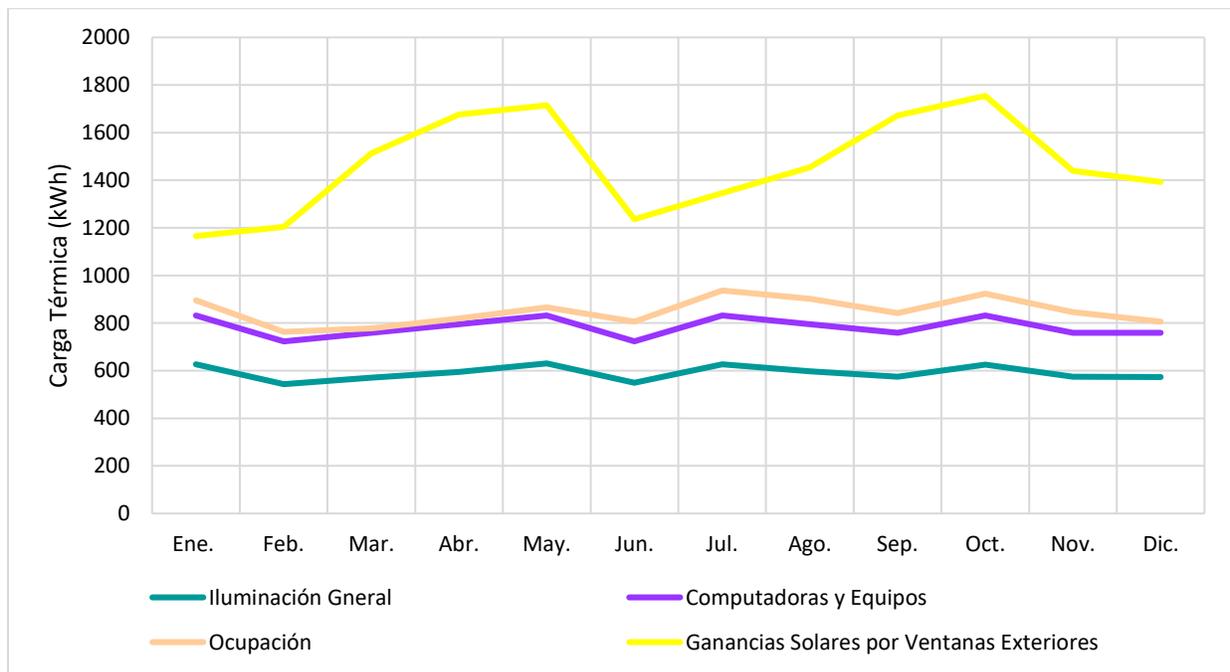


Gráfico 5. Ganancias internas y solares mensuales de propuesta de arquitectura pasiva

Fuente: Software DesignBuilder

Con las protecciones solares los picos más altos de los meses en que se adquiría mayor ganancia térmica han disminuido considerablemente, representando un ahorro significativo de energía (Tabla 28).

Tabla 28. Carga térmica por ganancia internas y solares mensuales de propuesta de arquitectura pasiva

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Iluminación General (kWh)	626,13	543,24	571,06	595,21	630,44	548,54	626,35	596,71	574,45	625,71	574,65	572,60
Computadoras y Equipos (kWh)	831,81	723,31	759,48	795,64	831,81	723,31	831,81	795,64	759,48	831,81	759,48	759,48
Ocupación (kWh)	895,93	763,03	777,51	820,31	866,29	805,59	936,96	902,55	842,48	924,02	845,41	806,36
Ganancias Solares	1165,40	1204,65	1512,85	1676,73	1715,28	1235,66	1345,92	1454,44	1672,12	1754,44	1439,53	1393,26
Ventanas Exteriores (kWh)												

Fuente: Software DesignBuilder

En el Gráfico 6. Se observa la frecuencia del comportamiento térmico con los valores de las cargas térmicas por elementos constructivos en kWh (Tabla 29), durante cada mes, registrando una reducción de la carga térmica en las superficies intervenidas (muros y cubiertas) por medio de las estrategias de arquitectura pasiva.

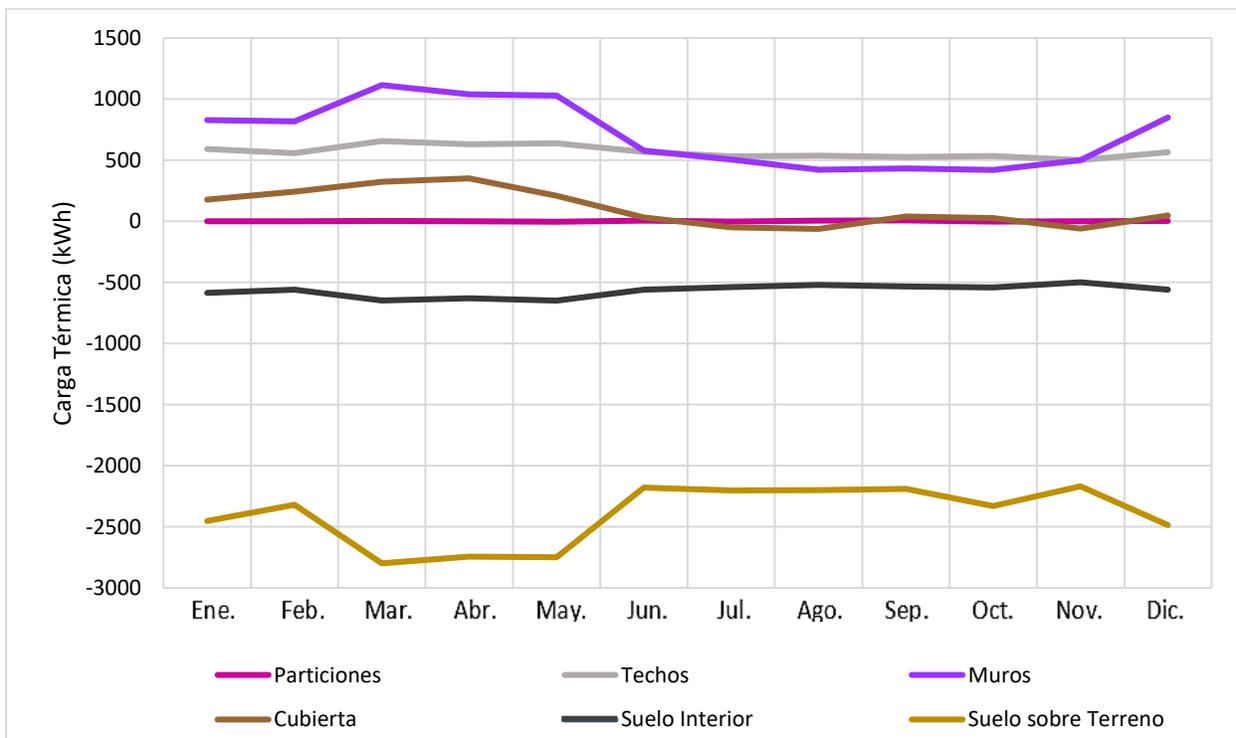


Gráfico 6. Ganancias térmicas en materiales de construcción de propuesta de arquitectura pasiva

Fuente: Software DesignBuilder

Tabla 29. Carga térmica por ganancias solares mensuales en materiales de construcción de propuesta de arquitectura pasiva

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Particiones (kWh)	1,76	-0,61	2,64	1,12	-3,35	5,35	-2,87	6,90	7,42	-2,48	0,98	2,67
Techos (kWh)	591,02	557,35	656,55	629,85	639,30	568,34	530,81	536,82	527,29	533,36	501,16	566,00
Muros (kWh)	827,94	816,99	1114,71	1039,84	1028,06	579,77	506,04	421,11	433,47	420,35	500,83	848,19
Cubierta (kWh)	176,56	243,18	323,29	351,41	209,17	31,10	-48,68	-61,90	39,53	26,59	-59,93	47,51
Suelo Interior (kWh)	-585,12	-559,64	-648,40	-629,68	-648,80	-559,91	-539,55	-519,49	-542,07	-541,98	-498,79	-559,34
Suelo sobre Terreno (kWh)	-2454,60	-2320,34	-2798,76	-2744,09	-2750,09	-2180,01	-2203,28	-2198,95	-2189,95	-2328,77	-2168,62	-2485,20

Fuente: Software DesignBuilder

### 5.5.2. Evaluación anual

La aplicación de estrategias de arquitectura pasiva en el edificio permite una notable reducción de carga térmica por ganancias solares en ventanas exteriores con 17570,28 kWh (Gráfico 7) y una mejora de los niveles de iluminación en la planta alta, mientras que, en los parámetros analizados de iluminación general, computadoras y ocupación se mantienen ya que son componentes inalterables debido al uso del edificio. Las cargas térmicas de todos los parámetros analizados se encuentran en la Tabla 30.

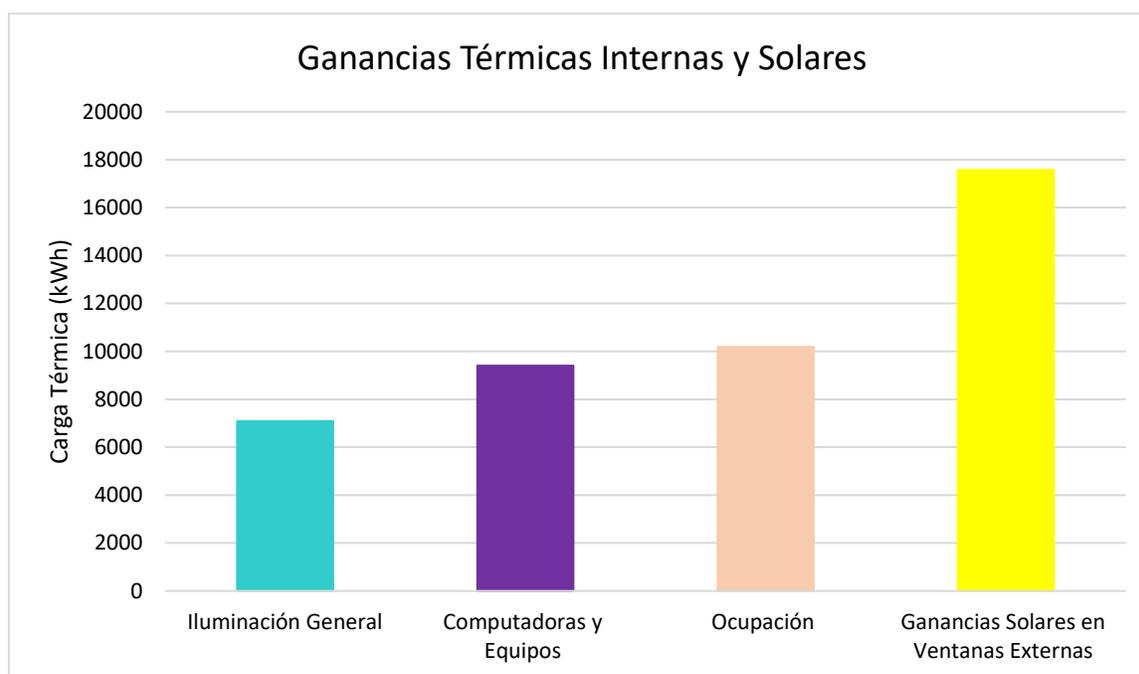


Gráfico 7. Ganancias internas y solares anuales de propuesta de arquitectura pasiva

Fuente: Software DesignBuilder

Tabla 30. Carga térmica por ganancias internas y solares anuales de propuesta de arquitectura pasiva

Aspectos Evaluados	Carga Térmica (kWh)
Iluminación General	7085,09
Computadoras y Equipos	9403,04
Ocupación	10186,47
Ganancias Solares Ventanas Externas	17570,28

Elaboración: Autores de tesis y Fuente: Software DesignBuilder

En el Gráfico 8. Se presenta la reducción de la carga térmica anual en muros y cubierta al aplicarse arquitectura pasiva, reduciendo a 8537,29 kWh en muros y en cubierta a 1277,82 kWh.

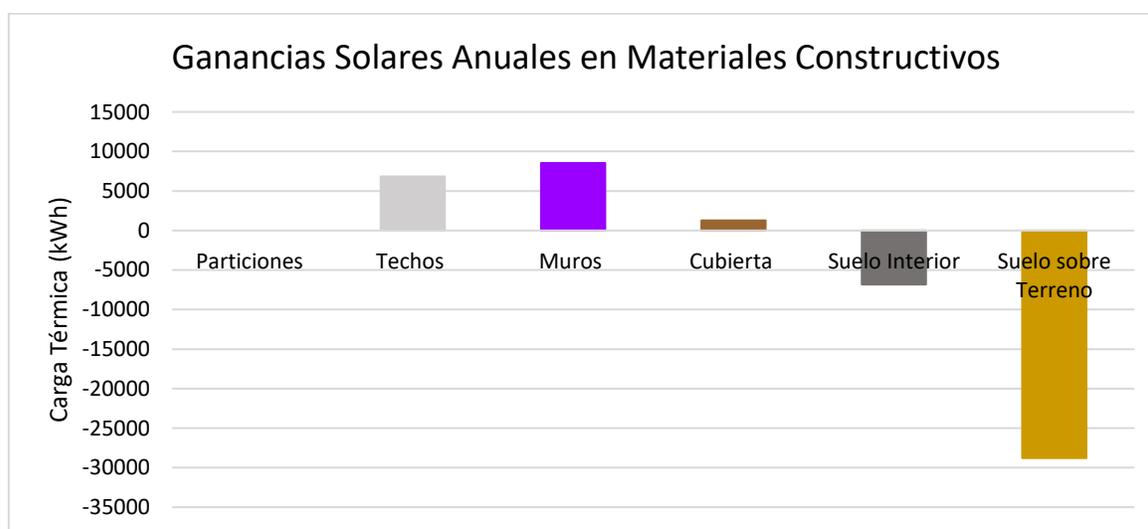


Gráfico 8. Ganancias solares anuales en materiales constructivos de propuesta de arquitectura pasiva  
Fuente: Software DesignBuilder

En la Tabla 31. Se muestran los valores anuales de carga térmica por elementos constructivos evaluados.

Tabla 31. Carga térmica por ganancias solares anuales en materiales constructivos de propuesta de arquitectura pasiva

Aspectos Evaluados	Carga Térmica (kWh)
Particiones	4,71
Techos	6837,84
Muros	8537,29
Cubiertas	1277,82
Suelo Interior	-6826,77
Suelo sobre Terreno	-28785,26

Elaboración: Autores de tesis y Fuente: Software DesignBuilder

La implementación de estrategias de protección solar de arquitectura pasiva en el edificio Asociación de Profesores FAU, ayudo a reducir el consumo de energía total anual a 54382.71 kWh, como se muestra en la Tabla 32.

Tabla 32. Consumo energético total de la propuesta de arquitectura pasiva

Fuente de Energía del Edificio	Energía Total (kWh)	Energía Total por Área de Construcción (kWh)	Energía por Área de Construcción Acondicionada (kWh)
Energía Total del Edificio	54382.71	152.28	267.22

Elaboración: Autores de tesis y Fuente: Software DesignBuilder

### 5.6. Comparación

En esta última fase se realiza un análisis comparativo de los resultados obtenidos en el software de simulación energética DesignBuilder, respecto a las cargas térmicas por ganancias internas y solares en elementos constructivos, así como también el consumo de energía eléctrica total del edificio durante un año.

En el Gráfico 9. Se muestra la comparación de las cargas térmicas entre las condiciones actuales del edificio y propuesta de arquitectura pasiva.

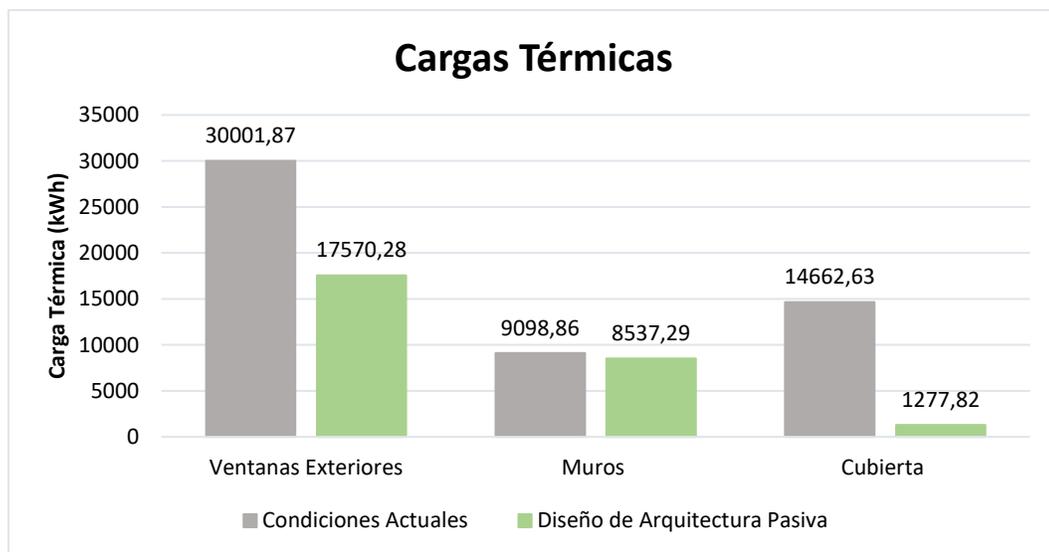


Gráfico 9. Comparación de cargas térmicas

Elaboración: Autores de tesis y Fuente: Software DesignBuilder

Se evidencia la reducción de la carga térmica anual en los elementos constructivos gracias a las soluciones de estrategias de arquitectura pasiva.

El edificio en condiciones actuales anualmente consume 72082,92 kWh de energía total, mientras que en condiciones de estrategia de arquitectura pasiva disminuye el consumo de energía a 54382,71 kWh, habiendo un ahorro de 17700,21 kWh anualmente.

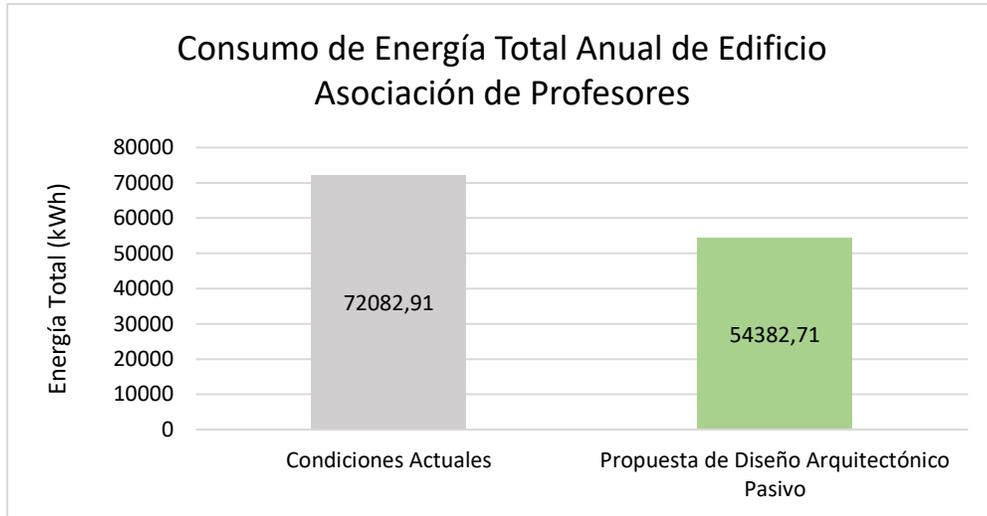


Gráfico 10. Comparación de consumo de energía total anual  
Elaboración: Autores de tesis y Fuente: Software DesignBuilder

El ahorro de energía total que representa el implementar estrategias de arquitectura pasiva al edificio Asociación de Profesores FAU es de 24.56% anualmente.

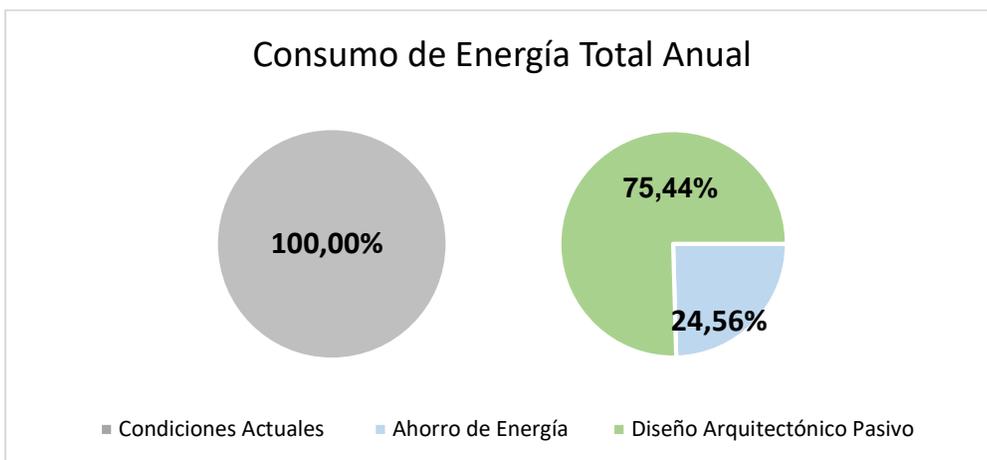


Gráfico 11. Porcentajes de consumo de energía total anual  
Elaboración: Autores de tesis y Fuente: Software DesignBuilder

A continuación, en el Gráfico 12, se muestra la disminución de carga térmica en porcentaje de los elementos constructivos al aplicar estrategias de arquitectura pasiva, existiendo un ahorro energético significativo en cubiertas con un 91,29% seguido de ventanas exteriores con un 41,43% y muros con un 6,18% de ahorro de energía anualmente.

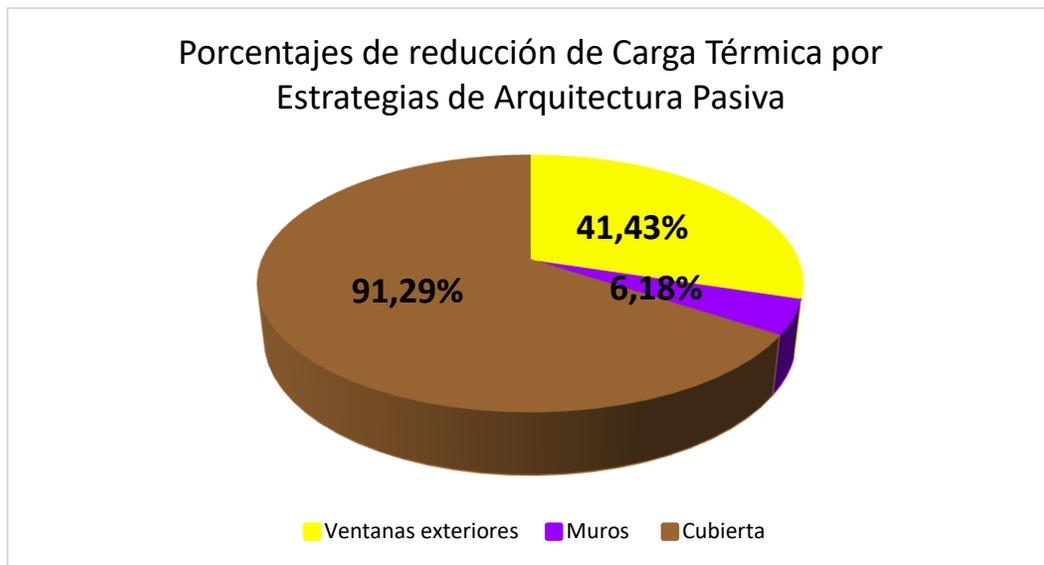


Gráfico 12. Porcentajes de reducción de carga térmica por estrategias de arquitectura pasiva  
Elaboración: Autores de tesis y Fuente: Software DesignBuilder

## CONCLUSIONES

En base a la investigación se puede evaluar en el edificio Asociación de Profesores FAU los elementos que generan mayor carga térmica al edificio por ganancias térmicas solares, representando en primera instancia una carga térmica anual de 30001.87 kWh en Ventanas Exteriores, seguido de 14662.63 kWh en Cubierta y 9098.86 kWh en Muros.

Como una alternativa de solución a la problemática existente en el edificio se aplicaron estrategias de arquitectura pasiva como protección solar, fachada ventilada y cubierta verde, obteniendo una reducción de 12431,59 kWh en Ventanas Exteriores representando una reducción de 41,43% de carga térmica, en Muros se redujo 561,57 kWh lo que representa un 6.18% de carga térmica y en Cubiertas se redujo 13384,81 kWh lo que representa un 91,29% de carga térmica anualmente y una disminución del consumo eléctrico anualmente de 17700,21 kWh, esto representa un 24,56% de ahorro.

Se concluye que, al hacer uso de arquitectura pasiva si es posible reducir la carga térmica y en consecuencia obtener un ahorro en el consumo de energía, y por consecuente al existir una reducción en el consumo de energía también existe una disminución del consumo de energía eléctrica primaria, lo que conlleva a disminuciones de emisiones de CO<sub>2</sub>.

## RECOMENDACIONES

- Analizar la orientación, protección solar, factor de forma y materiales a utilizar en el proyecto durante la fase de diseño y en edificaciones existentes.
- Considerar el uso de materiales de baja conductividad térmica, a fin de mejorar el confort en espacios interiores y reducir costos en consumo de energía eléctrica.
- Realizar evaluaciones energéticas previo a la construcción de un proyecto arquitectónico, para determinar las estrategias de arquitectura pasiva dependiendo de la zona climática donde se encuentra el proyecto.
- Se recomienda utilizar el software DesignBuilder para evaluar la eficiencia energética de los edificios, antes y después de aplicar soluciones de arquitectura pasiva.
- Se sugiere nivelar la cubierta para crear un punto de encuentro y darle un uso como terraza ajardinada.
- Partiendo de este estudio se recomienda realizar investigaciones futuras de eficiencia energética en las edificaciones y la implementación de estrategias de arquitectura pasiva en Ecuador.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Estatal de Meteorología - AEMet. (s.f.). *Radiación Solar*.
- Aluminio Org. (2018). *El Aluminio Aumenta el Rendimiento Energético de los Edificios*.  
Obtenido de <http://aluminio.org/?p=1280>
- Aresta, M. (2018). *Geometría Sensible en la Arquitectura Biológica*. FADU-UBA.
- Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas - ASEFAVE.  
(Abril de 2016). *Manual de Protección Solar*. Madrid : Printed in Spain.
- Blender, M. (2015). *La transmisión del calor en edificios*. Obtenido de  
<http://www.arquitecturayenergia.cl/home/quien-invento-la-arquitectura-bioclimatica/>
- Briceño, R. (2013). *Estudio y Simulación Energética del Edificio de la FIEC con Energy Plus*. Guayaquil : Escuela Superior Politécnica del Litoral .
- Camara de Industrias y Comercio Ecuatoriano-Alemana. (Agosto de 2016). *Eficiencia Energética*. Obtenido de Camara de Industrias y Comercio Ecuatoriano-Alemana: <http://ecuador.ahk.de/es/servicios/proyectos/tecnologia-ambiental/eficiencia-energetica/>
- Campos, J., & Odone, L. (2012). *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos* (Vol. 1). Santiago de Chile, La Concepción, Chile : Sociedad Impresora R&R Ltda. Recuperado el 22 de Mayo de 2018
- Cañizares, A., & Jaramillo, E. (2015). *El cultivo de la Maracuyá en Ecuador*. Machala : Universidad Técnica de Machala .
- Cañizares, A., & Jaramillo, E. (2015). *El cultivo de la Maracuyá en Ecuador*.
- Centro Empresarial ENERTIC . (s.f.). Obtenido de  
<http://www.izaskunlarzabal.com/admin/imagenes/Centro%20empresarial%20ENERTIC.pdf>
- Cinquegrana, A. (Septiembre de 2017). *Edificios hacia el límite del balance energético cero nZEB (Nearly Zero Energy Building) e integración con autoconsumo fotovoltaico*. Cartagena : Universidad Politécnica de Cartagena .
- Comisión Europea. (30 de Noviembre de 2016). *Energía limpia para todos los europeos*. Bruselas . Obtenido de Comisión Europea.
- Constitución de la Republica del Ecuador. (2008). *Plan Nacional del Buen Vivir*. Montecristi .

- Departamento de Seguros de Texas, D. d. (s.f.). *Protección del Sol*. Texas . Obtenido de <http://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresourcessp/spt5sun.pdf>
- DEXMA - Energy Management. (s.f.). *Consumo Energético*. Obtenido de <https://www.dexma.com/es/que-es-consumo-energetico/>
- Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid. (2012). *Guía sobre Materiales Aislantes y Eficiencia Energética*. Madrid: Gráficas Arias Monyano, S.A.
- Echeverría, B. (2012). *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos* (Vol. 1). Santiago de Chile, La Concepción, Chile : Sociedad Impresora R&R Ltda. Recuperado el 22 de Mayo de 2018
- Eco Housing. (2009). *PASSIVE ARCHITECTURE DESIGN SYSTEMS* . 1.
- EcoHabitar . (8 de Marzo de 2013). *Arquitectura Pasiva* . Obtenido de <http://www.ecohabitar.org/arquitectura-pasiva/>
- Ecohabitar. (2013). *Conceptos y técnicas de la Arquitectura Bioclimática*. Obtenido de <http://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2013/09/Conceptos-y-tecnicas-de-la-Arquitectura-Bioclimatica.pdf>
- Eficiencia Energética Inversión. (13 de Junio de 2011). *Ahorro y Eficiencia Energética*. Obtenido de <https://eficienciaenergeticainversion0.wordpress.com/2011/06/13/definicion-de-ahorro-energetico/>
- Elam, K. (s.f.). *Geometría del Diseño* . Trillas . Obtenido de <https://www.udocz.com/read/geometria-del-diseno-kimberly-elam-1>
- Empresa Pública Estratégica Corporación Eléctrica del Ecuador . (2016). *Plan Nacional de Eficiencia Energética*. Guayaquil .
- García, D. (2017). *Estudio de creación de una cubierta verde en los edificios de la EPSG*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Garrido, L. d. (2014). *Arquitectura Bioclimática Extrema* . Barcelona : Instituto Monsa .
- Garrido, L. d. (2014). *Arquitectura Energía-Cero*. Barcelona : Instituto Monsa de ediciones .
- Giménez, C., Mirás, M., & Valentino, J. (2013). *La analogía biológica desde la perspectiva de la teoría contemporánea*. Buenos Aires: Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo.
- Gregório, C. (2016). *Fachadas Ventiladas: Hacia un diseño eficiente en Brasil*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña .

- Grupo Unamacor. (2 de Mayo de 2011). *Aislamiento térmico, tipos y recomendaciones*. Obtenido de <http://www.grupounamacor.com/?p=1147>
- Guillén, V., Quesada, F., López, M., Orellana, D., & Serrano, A. (2015). *Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales*. Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo . Cuenca: Universidad de Cuenca . Recuperado el 20 de Mayo de 2018
- Hernández, J. (2012). *Consumo energético y emisiones asociadas del sector residencial*. Cataluña : Departament de Projectes d'Enginyeria.
- Hormigón. (Febrero de 2008). Hormigón para Edificios Energéticamente Eficientes. Obtenido de Hormigón para Edificios Energéticamente Eficientes.
- Horrillo, L. (2017). *METODOLOGÍA DE DISEÑO Y ANÁLISIS DE SOLUCIONES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA CONSECUCCIÓN DE EDIFICIOS DE CONSUMO CASI NULO (NZEB)*. Badajoz: Universidad de Extremadura .
- Instituto Ecuatoriano de Normalización - INEN. (2009). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 506:2009 - Eficiencia Energética en Edificaciones. Requisitos*. Quito: First Edition. Obtenido de Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones - IECA . (s.f.). *Inercia Térmica* . Obtenido de <https://www.ieca.es/sinhor/>
- Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables - INER. (2014). *Eficiencia Energética en Edificaciones*. Quito. Obtenido de Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.
- Interempresas . (24 de Abril de 2015). *Cerramientos y Ventanas* . Obtenido de Simulación Energética : [https://www.interempresas.net/Cerramientos\\_y\\_ventanas/Articulos/136314-Simulacion-energetica-por-que-es-necesaria.html](https://www.interempresas.net/Cerramientos_y_ventanas/Articulos/136314-Simulacion-energetica-por-que-es-necesaria.html)
- International Energy Agency. (2017). *CO2 EMISSIONS FROM FUEL COMBUSTION*. IEA Publications.
- Kastillo, P., & Beltrán, R. (Enero de 2015). *Optimización Energética para el Aprovechamiento de Ventilación Natural en Edificaciones en Climas Cálidos del Ecuador*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Laboratorio de Eficiencia Energetica en Edificaciones . (s.f.). *Analysis SOL-AR*. Obtenido de <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable - MEER. (2014). *Dirección Nacional de Eficiencia Energética*. Obtenido de Ministerio de Electricidad y Energía

Renovable: <https://www.energia.gob.ec/direccion-nacional-de-eficiencia-energetica/>

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2016). *Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador*.

Ministerio de la Presidencia - BOE. (5 de Abril de 2013). *Agencia Estatal Boletín Oficial de Estado*. Obtenido de Ministerio de la Presidencia.

Mundo HVACR. (2012). *Carga Térmica* . Obtenido de <https://www.mundohvacr.com.mx/2012/06/carga-termica/>

Naranjo, C., Rouse, D., & Quesada, G. (2015). Simulación transitoria de un sistema de climatización solar por absorción bajo las condiciones climatológicas de Guayaquil. *Université du Québec Montréal, 2*.

Nieva, A. B. (s.f.). *La Arquitectura Bioclimática: Términos Nuevos, Conceptos Antiguos*. Madrid: Universidad de Alcalá.

Norma Ecuatoriana de la Construcción . (2011). *EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA CONSTRUCCION EN ECUADOR* . Quito.

Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC. (2011). *NEC-11 Capítulo 13 - Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador*. Quito. Obtenido de Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC.

Olgay, V. (2015). *Arquitectura y Clima* . Málaga : Podiprint .

Ordóñez, A. (2014). *Manual de ayuda Desing Builder en español*. Sade creative.

Ordoñez, A. (03 de Marzo de 2017). *Manul de ayuda DesignBuilder en Español*. Sade creative.

Organización Meteorológica Mundial. (30 de Octubre de 2017). Boletín de la Organización Meteprológica Mundial sobre los Gases de Efecto Invernadero.

Palacios, J. R. (s.f.). *Tejidos. Membranas. Piel. Derivados de la Piel*. Barcelona : COLLEGI OFICIAL INFERMERES I INFERMERS.

Parlamento Europeo y Consejo. (19 de Mayo de 2010). *Directiva 2010/31/UE*. Obtenido de Parlamento Europeo.

Redondo, Ó. (Junio de 2015). *Eficiencia Energética en Edificios - Volumen 1*. Madrid: Tornapunta Ediciones.

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo . (s.f.). *Plan Nacional del Buen Vivir* .

Thibault Q. Péan, B. T. (2018). *Representation of daily profiles of building energy flexibility*. Montréal, Canadá: Proceedings of eSim 2018, the 10<sup>th</sup> conference of IBPSA-Canada.

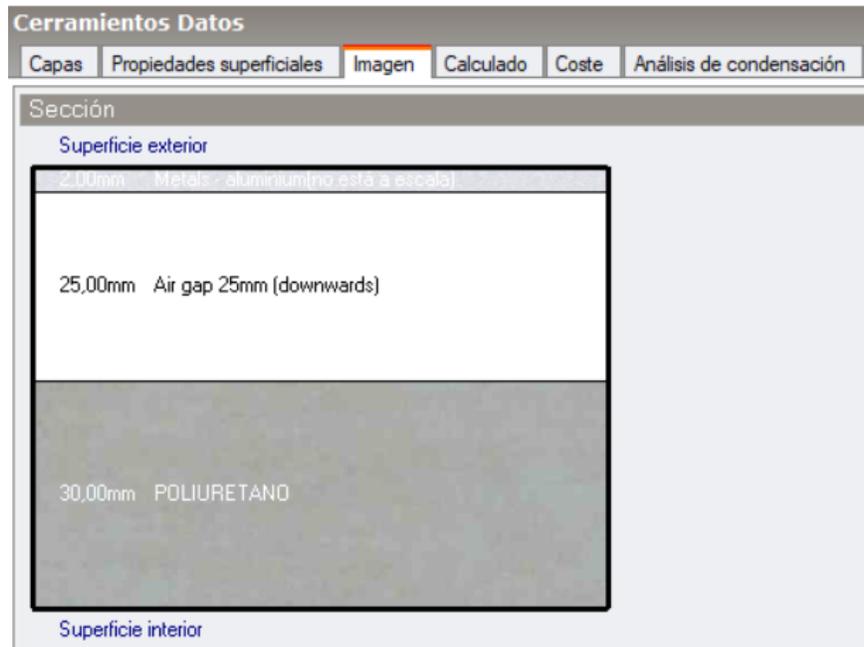
Torres, J. (2014). *Eficiencia de las Edificaciones en el Ámbito de las Consecuencias Generadas por el Diseñor Arquitectónico y el Consumo Energético*. Guayaquil : Universidad de Guayaquil .

Ulma Architectural . (Julio de 2017). *Fachadas Ventiladas*. Obtenido de <http://www.ulmaarchitectural.com/es/fachadas-ventiladas/descargas/dossier-fachadas-ventiladas-ulma.pdf>

## **ANEXOS**

## Anexo1. Detalle de Propiedades de Fachada Ventilada en el Software DesignBuilder

Editar cerramientos - FACHADA VENTILADA P1

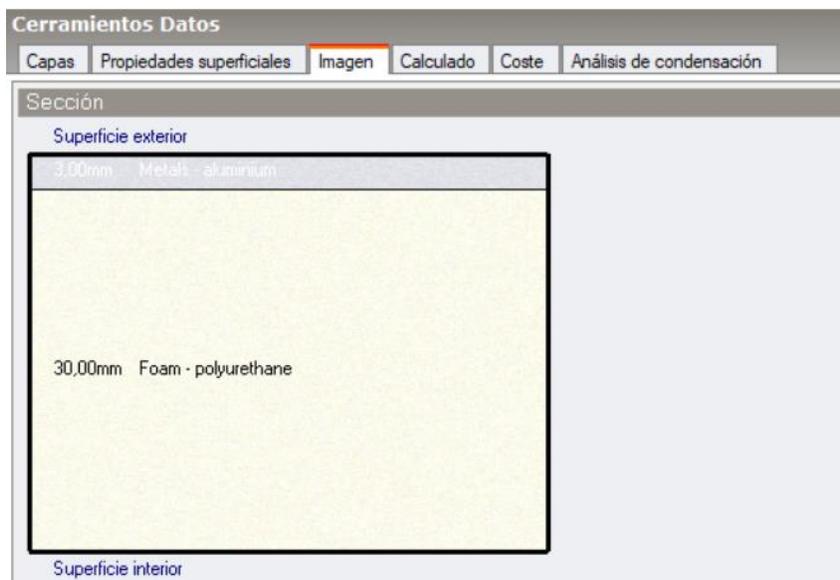


Editar cerramientos - FACHADA VENTILADA P1

Cerramientos Datos	
Capas	Propiedades superficiales
<p>Superficie interior</p> <p>Coefficiente de transferencia de calor por convección (W/m<sup>2</sup>-K) 2,152</p> <p>Coefficiente de transferencia de calor por radiación (W/m<sup>2</sup>-K) 5,540</p> <p>Resistencia superficial (m<sup>2</sup>-K/W) 0,130</p> <p>Superficie exterior</p> <p>Coefficiente de transferencia de calor por convección (W/m<sup>2</sup>-K) 19,870</p> <p>Coefficiente de transferencia de calor por radiación (W/m<sup>2</sup>-K) 5,130</p> <p>Resistencia superficial (m<sup>2</sup>-K/W) 0,040</p> <p>Sin Puentes Térmicos</p> <p>Valor U de superficie a superficie (W/m<sup>2</sup>-K) 0,793</p> <p>Valor R (m<sup>2</sup>-K/W) 1,431</p> <p><b>Valor U (W/m<sup>2</sup>-K) 0,699</b></p> <p>Con puentes térmicos (BS EN ISO 6946)</p> <p>Espesor (m) 0,0570</p> <p>Km - Capacidad térmica interna (KJ/m<sup>2</sup>-K) 0,0000</p> <p>Límite superior de resistencia (m<sup>2</sup>-K/W) 1,431</p> <p>Límite inferior de resistencia (m<sup>2</sup>-K/W) 1,431</p> <p>Valor U de superficie a superficie (W/m<sup>2</sup>-K) 0,793</p> <p>Valor R (m<sup>2</sup>-K/W) 1,431</p> <p><b>Valor U (W/m<sup>2</sup>-K) 0,699</b></p>	

## Anexo 2. Detalle de Propiedades de Aislante en Muros con Espuma de Poliuretano en el Software DesignBuilder

Editar cerramientos - AISLANTE POLIURETANO ALUMINIO



Editar cerramientos - AISLANTE POLIURETANO ALUMINIO

Cerramientos Datos							
Capas	Propiedades superficiales						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Capas</th> <th>Propiedades superficiales</th> <th>Imagen</th> <th>Calculado</th> <th>Coste</th> <th>Análisis de condensación</th> </tr> </thead> </table>		Capas	Propiedades superficiales	Imagen	Calculado	Coste	Análisis de condensación
Capas	Propiedades superficiales	Imagen	Calculado	Coste	Análisis de condensación		
Sección							
Superficie exterior							
3,00mm Metals - aluminum							
30,00mm Foam - polyurethane							
Superficie interior							
Superficie interior							
Coefficiente de transferencia de calor por convección (W/m <sup>2</sup> -K)	2,152						
Coefficiente de transferencia de calor por radiación (W/m <sup>2</sup> -K)	5,540						
Resistencia superficial (m <sup>2</sup> -K/W)	0,130						
Superficie exterior							
Coefficiente de transferencia de calor por convección (W/m <sup>2</sup> -K)	19,870						
Coefficiente de transferencia de calor por radiación (W/m <sup>2</sup> -K)	5,130						
Resistencia superficial (m <sup>2</sup> -K/W)	0,040						
Sin Puentes Térmicos							
Valor U de superficie a superficie (W/m <sup>2</sup> -K)	0,933						
Valor R (m <sup>2</sup> -K/W)	1,241						
<b>Valor U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	<b>0,806</b>						
Con puentes térmicos (BS EN ISO 6946)							
Espesor (m)	0,0330						
Km - Capacidad térmica interna (KJ/m <sup>2</sup> -K)	0,7276						
Límite superior de resistencia (m <sup>2</sup> -K/W)	1,241						
Límite inferior de resistencia (m <sup>2</sup> -K/W)	1,241						
Valor U de superficie a superficie (W/m <sup>2</sup> -K)	0,933						
Valor R (m <sup>2</sup> -K/W)	1,241						
<b>Valor U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	<b>0,806</b>						

### Anexo 3. Detalle de Propiedades de Cubierta Verde de Maracuyá en el Software DesignBuilder

Editar material - FOLLAJE DE MARACUYA

Materiales Datos					
General	Propiedades superficiales	Cubierta verde	Carbono incorporado	Cambio de fase	Coste
Cubierta Verde					
<input checked="" type="checkbox"/> Cubierta verde					
Altura de la vegetación (m)	0,1000				
Índice de área de hojas (LAI)	2,7000				
Reflectividad de las hojas	0,220				
Emisividad de las hojas	0,950				
Resistencia estómicia mínima (s/m)	100,000				
Máximo contenido volumétrico de humedad en saturación	0,500				
Mínimo contenido volumétrico de humedad residual	0,010				
Contenido volumétrico de humedad inicial	0,150				

Editar cerramientos - CUBIERTA FOLLAJE DE MARACUYA

Cerramientos Datos					
Capas	Propiedades superficiales	Imagen	Calculado	Coste	Análisis de condensación
Superficie interior					
Coeficiente de transferencia de calor por convección ( $W/m^2-K$ )	4,460				
Coeficiente de transferencia de calor por radiación ( $W/m^2-K$ )	5,540				
Resistencia superficial ( $m^2-K/W$ )	0,100				
Superficie exterior					
Coeficiente de transferencia de calor por convección ( $W/m^2-K$ )	19,870				
Coeficiente de transferencia de calor por radiación ( $W/m^2-K$ )	5,130				
Resistencia superficial ( $m^2-K/W$ )	0,040				
Sin Puentes Térmicos					
Valor U de superficie a superficie ( $W/m^2-K$ )	2,000				
Valor R ( $m^2-K/W$ )	0,640				
<b>Valor U (<math>W/m^2-K</math>)</b>	<b>1,563</b>				
Con puentes térmicos (BS EN ISO 6946)					
Espesor (m)	0,1500				
Km - Capacidad térmica interna ( $KJ/m^2-K$ )	100,0000				
Límite superior de resistencia ( $m^2-K/W$ )	0,640				
Límite inferior de resistencia ( $m^2-K/W$ )	0,640				
Valor U de superficie a superficie ( $W/m^2-K$ )	2,000				
Valor R ( $m^2-K/W$ )	0,640				
<b>Valor U (<math>W/m^2-K</math>)</b>	<b>1,563</b>				

## **Anexo 4. Planos Generales del Proyecto**