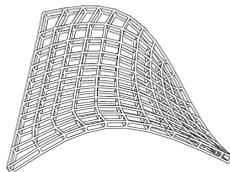


Universidad de Las Américas  
Master en Diseño Arquitectónico Avanzado - MADAA

**Envolvente Cinético: Diseño de estructura envolvente basada en la naturaleza que regule el confort térmico y visual del edificio de la Universidad Internacional del Ecuador de la ciudad de Loja**

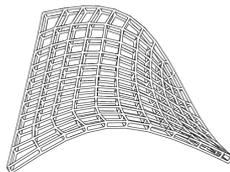
Josué David Maldonado Morales  
2023



Universidad de Las Américas  
Mater en Diseño Arquitectónico Avanzado - MADAA

**Envolvente Cinética: Diseño de estructura envolvente basada en la naturaleza que regule el confort térmico y visual del edificio de la Universidad Internacional del Ecuador de la ciudad de Loja**

Josué David Maldonado Morales  
2023





# MADAA 2021-2023

MASTER EN DISEÑO ARQUITECTÓNICO AVANZADO.....

## Envolvente Cinético: Diseño de estructura envolvente basada en la naturaleza que regule el confort térmico y visual del edificio de la Universidad Internacional del Ecuador de la ciudad de Loja

**Josué David Maldonado Morales**

*Línea de especialización: Modelos*

---

*Nombre de los directores del Trabajo de Fin de Máster:*

*Sergio del Castillo*

*Kenny Espinoza*

*Correo electrónico:*

*josuemaldonado1220@gmail.com*

**ES**

---

### **RESUMEN**

*Esta investigación se realizó en el Edificio de la UIDE en Loja-Ecuador, donde se identificó problemas como el confort térmico y visual en las aulas ubicadas hacia el oeste del edificio. El objetivo es diseñar una estructura envolvente basada en el movimiento de enfriamiento de la colmena de la abeja Apis mellifera para regular el confort térmico y visual. Se utilizará una metodología de diseño basado en la teoría y se desarrollará una preevaluación con modelo simulado del edificio en estado actual y una postevaluación con modelo simulado con la estructura envolvente cinética en el edificio, además se desarrollara un modelo físico beta de la estructura envolvente cinética.*

*PALABRAS CLAVE: Biomimesis, Envolventes Cinéticas, Modelo Simulado, Modelo Físico*

---

*EN*

---

*ABSTRACT.*

*This research was conducted in the UIDE Building in Loja-Ecuador, where problems such as thermal and visual comfort were identified in the classrooms located towards the west of the building. The objective is to design an envelope structure based on the cooling movement of the Apis mellifera bee hive to regulate thermal and visual comfort. A design methodology based on theory will be used and a pre-evaluation will be developed with a simulated model of the building in its current state and a post-evaluation with a simulated model with the kinetic envelope structure in the building. In addition, a beta physical model of the kinetic envelope structure will be developed.*

*KEYWORDS: Biomimicry, Kinetic Envelopes, Simulated Model, Physical Model*

---

## **MADAA 2021-2023**

MASTER EN DISEÑO ARQUITECTÓNICO AVANZADO.....

### **Envolvente Cinético**

Diseño de estructura envolvente basada en la naturaleza local que regule el confort térmico y visual del edificio de la Universidad Internacional de la Ecuador de la ciudad de Loja

**Josue David Maldonado Morales**



**SERGIO DEL CASTILLO TELLO**

*FECHA: 31/05/23*



**KENNY ESPINOZA CARVAJAL**

*FECHA: 31/05/23*

## **AGRADECIMIENTO**

A mis queridos padres Guillermo y Judith les expreso mi más sincero agradecimiento por todo el apoyo, consejos, valores y motivación que me brindaron durante el transcurso de mis estudios de cuarto nivel. Sin su ayuda y sacrificio no podría haberlo logrado.

También quiero agradecer a mis hermanos, familiares, amigos y amigas quienes fueron un apoyo durante toda mi vida de estudios.

Asimismo, quiero expresar mi gratitud al Mgs. Arq. Sergio del Castillo por brindarme su guía y conocimientos para la culminación del presente trabajo de calidad. También agradezco al Mgs. Arq. Kenny Espinoza y a la PhD. Ana Medina por sus consejos y apoyo. Y gracias a la UDLA por la oportunidad que me brindo de seguirme preparado como profesional.

Este trabajo no hubiera sido posible sin la ayuda de personas como ustedes que me brindaron su apoyo en todo momento. Espero que este logro sea uno de tantos que vendrán en mi carrera profesional.

Josué David Maldonado Morales

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 0. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
0.0. Introducción a la arquitectura cinética y biomimética en el diseño de estructuras envolventes .....	1
0.1. Problemática.....	2
0.2. Lo cinético y biomimético, Estado del arte. ....	3
0.3. Justificación .....	14
0.4. Hipótesis .....	14
0.5. Objetivo General.....	14
0.6. Objetivos Específicos: .....	15
0.7. Metodología .....	15
<b>CAPÍTULO I. MARCO DESCUBRIMIENTO DEL MOVIMIENTO COMO ACCIÓN DINÁMICA</b> ...	17
1.0 Brecha histórica sobre creadores y fabricantes de arquitectura .....	17
1.1. Transición de fachada a envolvente .....	17
1.2. Sistemas cinéticos, arte y arquitectura .....	18
1.3. Arquitectura cinética .....	18
1.4. Estructura Cinética enbebida.....	18
1.5. Alexander Calder, exponente del movimiento .....	19
1.6. Ecocentrismo .....	19
1.7. El diseño ecomimético y biomimético en la arquitectura de Ken Yeang .....	19
1.8. Arquitectura biomimética .....	20
1.9. Variables de confort térmico en áreas de aprendizaje.....	20
<b>CAPITULO II. ESTUDIO DEL MOVIMIENTO DEL ALA DE LA ABEJA</b> .....	23
2.0. Definir, Biologizar y descubrir los parámetros a tomar en cuenta de la naturaleza.....	23
2.1. Definir el reto: .....	23
2.2. Biologizar el reto: .....	23
2.3. Descubrimiento.....	23
2.4. Abstracción de información de las Abejas .....	30
<b>CAPITULO III. DEL DISEÑO A LA FABRICACIÓN DEL MECANISMO DE ESTRUCTURA ENVOLVENTE</b> .....	31
3.0. Normativa .....	31
3.1. Diseño de mecanismo para estructura envolvente Fase 1.....	33
3.2. Búsqueda y Emulación de la forma óptima fase 2 .....	40
3.3. Coeficientes de modelado de materiales ligeros en Loja-Ecuador .....	59

<b>CAPITULO IV. PREEVALUACIÓN Y POST EVALUACIÓN DE LAS AULAS DE LA UIDE-SEDE LOJA</b> .....	62
4.0. Caso de estudio UIDE-Sede Loja, Ubicación .....	62
4.1. Actividades a desarrollarse dentro del edificio .....	77
Preevaluación del Edificio de la UIDE-Sede Loja.....	73
4.2. Preevaluación del Edificio de la UIDE-Sede Loja.....	79
4.3. Preevaluación del Edificio de la UIDE-Sede Loja.....	86
4.4. Discusión sobre resultados obtenidos en la pre y post evaluación de la UIDE-Sede Loja.....	100
<b>CAPITULO V. ....REFLEXIONES DEL DISEÑO DE ESTRUCTURA ENVOLVENTE BASADA EN LA NATURALEZA PARA LA UIDE-SEDE LOJA</b> .....	102
5.0. Movimiento como solución dinámica .....	102
5.1. Abstracción soluciones dinámicas mediante la abstracción de parámetros de diseño inspirados en la naturaleza .....	102
5.2. Diseño evolutivo y fabricación del prototipo de estructura envolvente en 3D .....	103
5.3. Evaluación de la estructura envolvente mediante simulación de materiales .....	103
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	104
<b>ANEXOS</b> .....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1 Radiación Solar Esquemática .....	2
Figura. 2 Torres Al Bahar de Aedas Architects en Abu Dhabi.....	4
Figura. 3 Proyecto Allianz Arena ubicado en Múnich, Alemania .....	4
Figura. 4 Horden Cherry Lee desarrolló la Micro-Compact Village .....	4
Figura. 5 Esfera. Caracas, Venezuela.....	4
Figura. 6 Construcción lineal en el espacio nº 2», plexiglás y filamento de nailon .....	6
Figura. 7 Colombo, great pulsating surface.....	6
Figura. 8 Enguerrand, Mobile Sculpture.....	6
Figura. 9 «Penetrable» Jesus Rafael Soto.....	6
Figura. 10 «Armonía movil.....	6
Figura. 11 La Grande Vitesse, Grand Rapids, Michigan .....	8
Figura. 12 Silver Lining, Columbus, Ohio, Ned Kahn.....	10
Figura. 13 Instituto del Mundo Árabe, Jean Nouvel .....	10
Figura. 14 Pasos de Diseño de Espiral Biomimética.....	12
Figura. 15 Parámetros del Confort Térmico .....	21
Figura. 16 Mapa de la biodiversidad de las abejas .....	24
Figura. 17 Apis Mellífera.....	24
Figura. 18 Anatomía de abejas.....	26
Figura. 19 Alas de las Abejas .....	26
Figura. 20 Trayectoria de las Alas de la Abeja .....	26
Figura. 21 Rotación de las Alas de la Abeja.....	28
Figura. 22 Emulación de Movimiento de Ala de Abeja .....	30
Figura. 23 Abstracción de Movimiento de Enfriamiento .....	30
Figura. 24 Texto donde rige la Normativa de la Ciudad de Loja.....	31
Figura. 25 Transmisión por Cadena 3ª.....	32
Figura. 26 Isometría Explotada del Mecanismo .....	32
Figura. 27 Dimensiones Base Lateral .....	34
Figura. 28 Dimensiones Piñon Conducido .....	34
Figura. 29 Dimensiones Piñon Conductor.....	34
Figura. 30 Dimensiones Eslabon de Cadena.....	34
Figura. 31 Dimensiones Cadena.....	34
Figura. 32 Tipo de Adherencia.....	36
Figura. 33 Calidad .....	36
Figura. 34 Relleno. ....	36
Figura. 35 Material.....	36

Figura. 36 Piezas Impresas con PLA .....	37
Figura. 37 Piezas Impresas con PET .....	37
Figura. 38 Piezas Impresas con Resina.....	38
Figura. 39 Prototipo Final Fase 1 .....	38
Figura. 40 Trayectoria de Rotación .....	41
Figura. 41 Eje de Rotación .....	41
Figura. 42 Desplazamiento de Punto en "X" y "Y".....	41
Figura. 43 Insertar el Componente Galápagos .....	42
Figura. 44 Conexión de Galápagos con los Genes.....	42
Figura. 45 Sombra Arrojada .....	43
Figura. 46 Visibilidad Interna .....	43
Figura. 47 Area Mínima Total.....	43
Figura. 48 Flujo de Aire .....	44-45
Figura. 49 Galapagos Editor Opciones .....	46
Figura. 50 Galapagos Editor Soluciones .....	46
Figura. 51 Formas Finales de la Fase 2.1.....	48-49
Figura. 52 Forma 1 .....	50
Figura. 53 Forma 2.....	50
Figura. 54 Forma 3.....	50
Figura. 55 Forma 4.....	51
Figura. 56 Forma 5.....	51
Figura. 57 Forma 6.....	51
Figura. 58 Forma 7 .....	51
Figura. 59 Forma 8.....	51
Figura. 60 Forma 9.....	52
Figura. 61 Forma 10.....	52
Figura. 62 Forma 11 .....	52
Figura. 63 Forma de Ala Óptima para la Estructura Envolvente .....	53
Figura. 64 Estructura de Ala Óptima para Envolvente .....	54
Figura. 65 Componentes para el Prototipo de Estructura Envolvente .....	57
Figura. 66 Registro de un nuevo Dispositivo en Ubidots.....	58
Figura. 67 Variables Creadas en Ubidots.....	58
Figura. 68 Diseño Final de la Aplicación Web .....	58
Figura. 69 Ubicación de la Universidad Internacional del Ecuador -Sede Loja .....	62
Figura. 70 Corte de Franja de Trabajo UIDE -Sede Loja .....	62
Figura. 71 Emplazamiento UIDE-Sede Loja.....	64-65
Figura. 72 Corte Perspectivo del Edificio de la UIDE-Sede Loja.....	66-67

Figura. 73 Planta Baja del Edificio de la UIDE-Sede Loja.....	68-69
Figura. 74 Primera Planta Alta del Edificio de la UIDE-Sede Loja .....	70
Figura. 75 Segunda Planta Alta del Edificio de la UIDE-Sede Loja .....	71
Figura. 76 Tercera Planta Alta del Edificio de la UIDE-Sede Loja .....	72
Figura. 77 Cuarta Planta Alta del Edificio de la UIDE-Sede Loja .....	73
Figura. 78 Quinta Planta Alta del Edificio de la UIDE-Sede Loja. ....	74
Figura. 79 Vista Frontal y Posterior de la Universidad Internacional del Ecuador-Sede Loja .....	75
Figura. 80 Estudiantes y Docentes como Actores Principales que Ocupan el Espacio.....	76
Figura. 81 Actividades a Desarrollarse en Aula de Clases.....	76
Figura. 82 Diagrama Solar .....	78
Figura. 83 Temperatura del Bulbo Seco .....	78
Figura. 84 Bobeda Celeste.....	79
Figura. 85 Radiacion Incidente Externa de la UIDE-Sede Loja .....	80
Figura. 86 Radiación Incidente de la UIDE-Sede Loja .....	80
Figura. 87 Factor de Luz Diurna Externa de la UIDE-Sede Loja.....	81
Figura. 88 Factor de Luz Diurna Interna de la UIDE-Sede Loja.....	81
Figura. 89 Porcentaje de Visualización Externa de la UIDE-Sede Loja .....	82
Figura. 90 Porcentaje de Visualización Interna de la UIDE-Sede Loja .....	82
Figura. 91 Temperatura Interna de la UIDE-Sede Loja .....	83
Figura. 92 Radiación Incidente Interna del Aula de Computo 2 de la UIDE-Sede Loja .....	84
Figura. 93 Luz de día interna del Aula de Computo 2 de la UIDE-Sede Loja .....	84
Figura. 94 Porcentaje de visualización interna del Aula de Computo 2 de la UIDE-Sede Loja .....	85
Figura. 95 Temperatura Interna del Aula de Computo 2 de la UIDE-Sede Loja.....	85
Figura. 96 Radiación Incidente Externa de la UIDE-Sede Loja .....	86
Figura. 97 Porcentaje de Visualización Externa de la UIDE-Sede Loja .....	86
Figura. 98 Ángulos Principales para Evaluar .....	87
Figura. 99 Radiación Incidente Interna 0°-15°-30°-45°, Policarbonato .....	88
Figura. 100 Radiación Incidente Interna 0°-15°-30°-45°, Acrílico.....	89
Figura. 101 Radiación Incidente Interna 0°-15°-30°-45°, Madefibra .....	90
Figura. 102 Radiación Incidente Interna 0°-15°-30°-45°, EFTE .....	91
Figura. 103 Factor de Luz Diurna Interna 0°-5°-30°-45°, Policarbonato .....	92
Figura. 104 Factor de Luz Diurna Interna 0°-5°-30°-45°, Acrílico.....	93
Figura. 105 Factor de Luz Diurna Interna 0°-5°-30°-45°, Madefibra .....	94
Figura. 106 Factor de Luz Diurna Interna 0°-5°-30°-45°, EFTE .....	95
Figura. 107 Porcentaje de Visualización Interna 0°-15°-30°-45° .....	96
Figura. 108 Temperatura Interna Policarbonato-Acrílico-Madefibra-EFTE .....	98
Figura. 109 Representación de la estructura envolvente en el Edificio de la UIDE-Sede Loja.....	101

# CAPÍTULO 0 INTRODUCCIÓN

## 0.0 Introducción a la arquitectura cinética y biomimética en el diseño de estructuras envolventes

Iniciamos con la famosa frase del arquitecto Norman Foster donde dice “Lo único constante es el cambio” (XLSemanal, 2017) y nos ayuda a abrir un abanico de posibilidades donde la arquitectura es una disciplina que ha estado en constante evolución a lo largo de la historia, adaptándose a las necesidades de la sociedad y las tecnologías disponibles. Los seres humanos somos seres dinámicos y nuestras necesidades cambian con el tiempo, por lo que es importante dar soluciones dinámicas, mas no estáticas. Teniendo en cuenta la dinamicidad que tenemos que aportar al proyecto, en los últimos años ha surgido un enfoque en el diseño de edificios que se basa en la naturaleza, y es la biomimética, que busca inspirarse en los procesos y patrones de la naturaleza para crear soluciones innovadoras y sostenibles.

En el contexto que se aborda, uno de los principales retos que enfrenta la arquitectura es el diseño de estructuras envolventes construibles que regulen el confort térmico y visual de un edificio. La envolvente es la piel del edificio, la barrera que lo separa del medio ambiente exterior, y su diseño tiene un gran impacto en la eficiencia energética y la comodidad de los ocupantes.

Para abordar este reto, se puede recurrir a la arquitectura cinética, que utiliza sistemas móviles y activos en la envolvente para mejorar su eficiencia energética y la relación con el entorno. La arquitectura cinética también se puede inspirar en la naturaleza para crear soluciones eficientes y sostenibles.

En este proyecto, se busca diseñar una estructura envolvente basada en la naturaleza que regule el confort térmico y visual del edificio de la UIDE-Sede Loja, ubicado en la ciudad de Loja-Ecuador, utilizando la arquitectura cinética y biomimética que son dos enfoques que buscan imitar los procesos y sistemas naturales para diseñar edificios más confortables y eficientes energéticamente. En el caso de la arquitectura cinética, se trata de diseñar estructuras que sean capaces de moverse y cambiar su forma en respuesta a las condiciones ambientales, como la luz solar o el viento. Por otro lado, la biomimética se basa en la observación de los sistemas y procesos naturales para encontrar soluciones a los desafíos del diseño.

El estudio de la estructura cinética pretende garantizar el confort térmico y visual del edificio, proporcionando una experiencia agradable y saludable para sus ocupantes a partir de visualizar la fachada como un elemento dinámico y no estático que ayuda a mejorar la relación que tienen los edificios con el entorno inmediato.

Esta investigación se divide en 4 capítulos en los cuales el primero se determinó el movimiento como una solución dinámica. En el segundo capítulo se abstraen los parámetros que usa la abeja melífera para regular la temperatura de su colmena. Esta primera parte teórica nace a partir de la metodología de investigación propuesta por la bióloga Janine Benyus en el cual da un pensamiento donde la ciencia puede innovar inspirándose en la naturaleza.

En el tercer capítulo, se desarrolla el diseño y fabricación del prototipo de estructura envolvente inspirándose en la abstracción de parámetros de la abeja *Apis mellifera* y para finalizar en el cuarto capítulo se realiza una preevaluación del edificio de la Universidad internacional del Ecuador-Sede Loja (UIDE) simulando las condiciones y materiales del estado actual y post evaluación del mismo edificio con el prototipo de estructura envolvente.

## 0.1. Problemática

A través de la experiencia personal de 5 años cursando el pregrado en el Edificio de la UIDE, ubicada la provincia de Loja-ciudad de Loja, se determinó problemas de confort térmico y visual que presentan las aulas orientadas al oeste del mismo. El mal emplazamiento u orientación (fig. 1) es la causa de que la radiación de 171.40 kw/m<sup>2</sup> incida directamente a la fachada oeste, lo que provoca un alza en las temperaturas que oscilan entre 23° a 27.41°C y la incomodidad por no tener las condiciones adecuadas de un centro educativo universitario, lo cual requiere una solución eficiente

La naturaleza ha perfeccionado su eficiencia a lo largo de 3.8 mil millones de años y la biomímesis es una estrategia que nos permite aprender de ella y adoptar una visión más integral de nuestro planeta para vivir en armonía con sus límites. Esta herramienta nos muestra que podemos aprender de los miles de organismos que han evolucionado y se han adaptado a lo largo de millones de años para convivir y prosperar en la Tierra (BIOMIMICRY, 2015). Otra estrategia son las fachadas o envolventes cinéticas, que no solo nos protegen del ambiente exterior sino que también interactúan activamente con el interior para mejorar el acondicionamiento y funcionamiento del edificio.

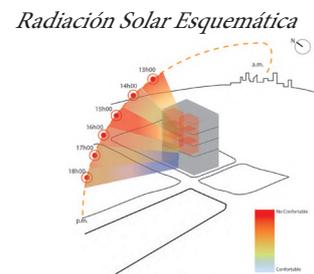
Según García Arquitecta graduada en la universidad de Alicante (2017) afirma “ las fachadas o envolventes cinéticas son una buena estrategia de mejora de la eficiencia energética y control confort, pero se debe sistematizar algunos de los sistemas de fachada activa para poder incorporarlos fácilmente al diseño de los edificios y descomplejizar su aplicación en la realidad”. Sin embargo, el problema principal no sería la falta de información sistematizada, sino que la arquitectura como tal se la concibe como un acto de notación. Es decir, según Soriano, Colmenares, Gil-Lopesino, & CastilloVinuesa (2019, pág. 492) afirman que “la arquitectura es pensada, transmitida y construida por el conjunto de tres documentos gráficos: planta, alzado y sección. Conceptualmente esos documentos caracterizan a una arquitectura objetual, estática, volumétrica, con lenguajes y estilos definidos resolviendo las complejidades específicas individualmente”, esto hace que la separación entre el diseño (pensador) y la elaboración(creador) se haga más visible (Carpo, 2018).

Tradicionalmente, se consideraba que los arquitectos tenían un papel limitado como agentes de notación y no estaban involucrados en el proceso de fabricación. Sin embargo, en la actualidad se comprende que la tecnología ya no se opone a la artesanía, y que ambas se han combinado en sistemas mixtos en los que la tecnología digital no solo sirve para mejorar la eficiencia del dibujo, sino también para la concepción y construcción de los proyectos arquitectónicos (Carpo, 2018).

Finalmente, se plantea el siguiente problema general tomando en cuenta lo anteriormente expuesto:

¿De qué forma se puede regular el confort térmico y visual del edificio de la Universidad Internacional del Ecuador de la ciudad de Loja?

Figura 1



Fuente: Autor

## **0.2. Lo cinético y biomimético. Estado del arte**

### **0.2.1. Cinética-definición**

La palabra cinético tiene sus orígenes el termino griego " kinesis" que significa movimiento o el acto de moverse (Ruth, 2012). La Real Academia Española, (2022) afirma que "La definición de la cinética en la rama de la física es perteneciente o relativo al movimiento".

Otra definición para entender la cinética es de Vaz Ferra (2017) afirma "el esfuerzo que se necesita para acelerar a un cuerpo con una masa determinada, haciéndola pasar del estado de reposo a un estado en movimiento". Y si nos vamos al origen del término acuñado por William Thomson dice que la energía cinética es aquella que se asocia a todo cuerpo que fuese hallado en movimiento dependiendo tanto de la masa como de la velocidad del mismo (Diccionario Actual, 2018).

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto se puede definir la palabra cinética en el contexto de la arquitectura como la aplicación de objetos que tiene partes mecánicas que pueden ponerse en movimiento (Fox & Yeh, 2000).

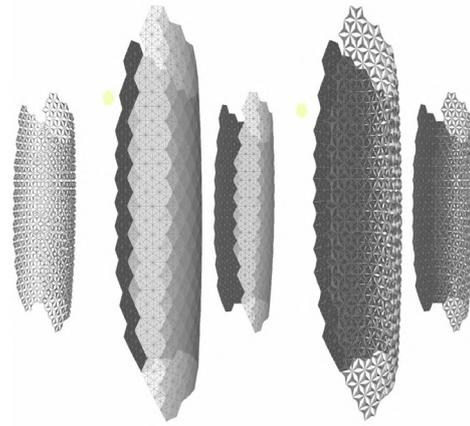
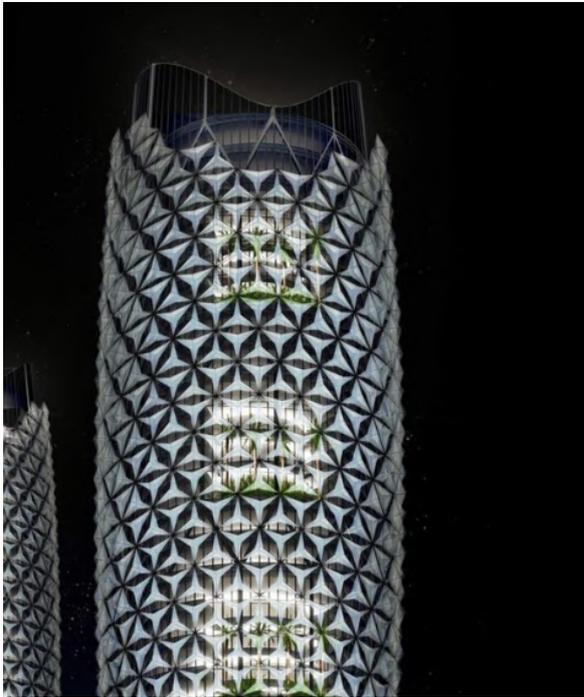
### **0.2.2. Sistemas cinéticos**

Se tiene en cuenta que los sistemas cinéticos aplicados en la arquitectura no son nuevos, pues puertas y ventanas son componentes cinéticos primitivos donde está representado el concepto del mismo. Partiendo de esta primicia estos sistemas han tenido un desarrollo notable, empezando por lo manual a lo mecánico y hasta la actualidad sistemas electrónicos inteligentes. (Ramzy & Fayed, 2011)

Según Fox & Yeh, (2000) "Los sistemas cinéticos inteligentes son un enfoque para utilizar la tecnología para crear una arquitectura que aborde las actividades dinámicas, flexibles y en constante cambio de la actualidad".

**Figura 2**

*Torres Al Bahar de Aedas Architects en Abu Dhabi. Fuente: José Tomas Franco [Fotografía], ArchDaily, 2019.*



**Figura 3**

*Proyecto Allianz Arena ubicado en Múnich, Alemania. Fuente: Fox & Yeh [Fotografías], Fox & Yeh, 2000.*



**Figura 4**

*Proyecto Esfera. Caracas, Venezuela. Fuente: Tomada de Fox & Yeh [Fotografías], Fox & Yeh, 2000.*



**Figura 5**

*Micro-Compact Village. Fuente: Fox & Yeh [Fotografías], Fox & Yeh, 2000.*



### 0.2.3. Arquitectura cinética

En la última década, la tendencia de los sistemas cinéticos inteligentes comenzó a tener lugar en la arquitectura como aplicaciones en sistemas inteligentes de ascensor, sistemas automatizados de aparcamiento, etc. (Ramzy & Fayed, 2011)

Las fachadas cinéticas son fachadas arquitectónicas que cambian dinámicamente, transformando edificios de monolitos estáticos a superficies en constante movimiento. Estas fachadas pueden tomar muchas formas y a menudo median entre la estética y la utilidad, ofreciendo visuales impresionantes junto con protección ambiental (ArchDaily, 2019).

Las Torres Al Bahar son dos edificios de oficinas de 25 pisos cada uno (fig. 2), diseñados por Aedas Architects para albergar la nueva sede del Consejo de Inversiones de Abu Dhabi. Estas torres cuentan con una fachada inteligente que reacciona a las condiciones climáticas y se inspira en la “mashrabiya”, un elemento tradicional islámico de sombreado en forma de red. (ArchDaily, 2019).

El sistema de sombreado de las torres fue desarrollado por el equipo de diseño computacional de Aedas y se estima que reduce la ganancia solar en más de un 50 por ciento y reduce la necesidad de uso de aire acondicionado. Las torres fueron galardonadas con el Premio Tall Building Innovation 2012 Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH) - Consejo de Edificios Altos y Hábitat Urbano (ArchDaily, 2019). Los paneles en forma de paraguas de la fachada se abren y cierran en respuesta al movimiento del sol, protegiendo a los usuarios del edificio del calor y el deslumbramiento, disminuyendo la necesidad de aire acondicionado y haciendo que el edificio sea más sostenible (ArchDaily, 2019).

### 0.2.4. Tipologías cinéticas generales en arquitectura

Michael A. Fox y Bryant P. Yeh son autores del artículo “Intelligent Kinetic Systems in Architecture” publicado en 2000. Formaron parte del Grupo de Diseño Cinético en el Departamento de Arquitectura, Sala de Tecnología de Diseño 10-461M, Instituto de Tecnología de Massachusetts, Cambridge y clasifican las estructuras cinéticas en 3 categorías generales :

#### **Estructuras cinéticas embebidas**

Las estructuras cinéticas embebidas son sistemas que existen dentro de un conjunto arquitectónico más grande en una ubicación fija. La función principal es controlar el sistema arquitectónico o edificio más grande en respuesta a los factores cambiantes. El ingeniero Guy Nordstrom indica que si un edificio (Fig. 3) se construyera como un cuerpo, podría cambiar su postura tensar músculos y sostenerse contra el viento, como consecuencia su masa estructural podría reducirse a la mitad literalmente.

#### **Estructura Cinética Desplegable**

Las estructuras cinéticas desplegables normalmente tienen una localización temporal y son fáciles de transportar. Dichos sistemas poseen la capacidad inherente de ser construidos y deconstruidos. (Fig. 4)

#### **Estructuras cinéticas dinámicas**

Los sistemas dinámicos actúan de forma independiente respecto al conjunto arquitectónico. Las aplicaciones pueden incluir persianas, puertas, techos, paredes y varios componentes modulares. (Fig. 5)

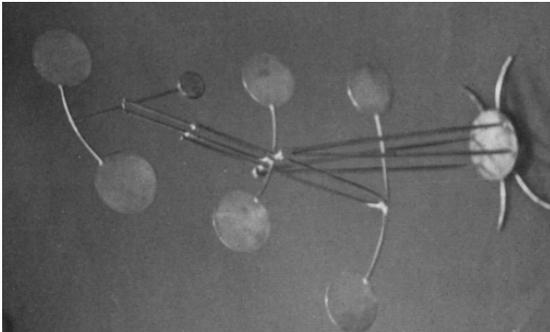
**Figura 6**

*Construcción Lineal en el espacio .Fuente: Tomada de google imagenes [Fotografías].*



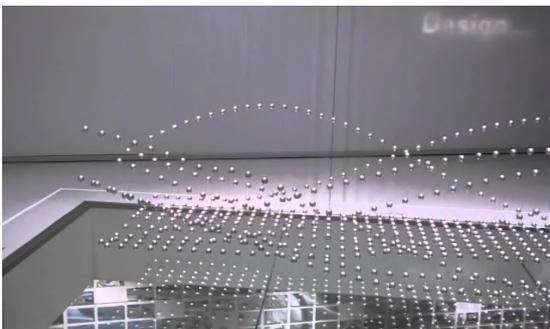
**Figura 7**

*Enguerrand, Mobile Sculpture.Fuente: Tomada de google imagenes [Fotografías].*



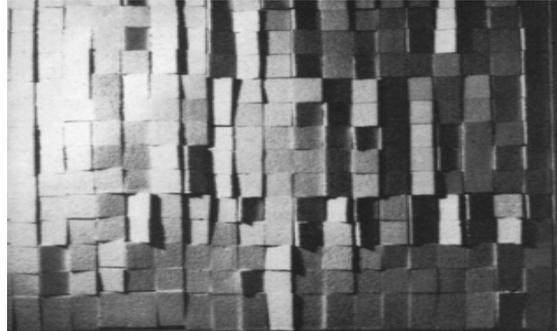
**Figura 10**

*Armonía Móvil. Fuente: Fnievessaenzm [Fotografías], Nievessaenzm, 2014.*



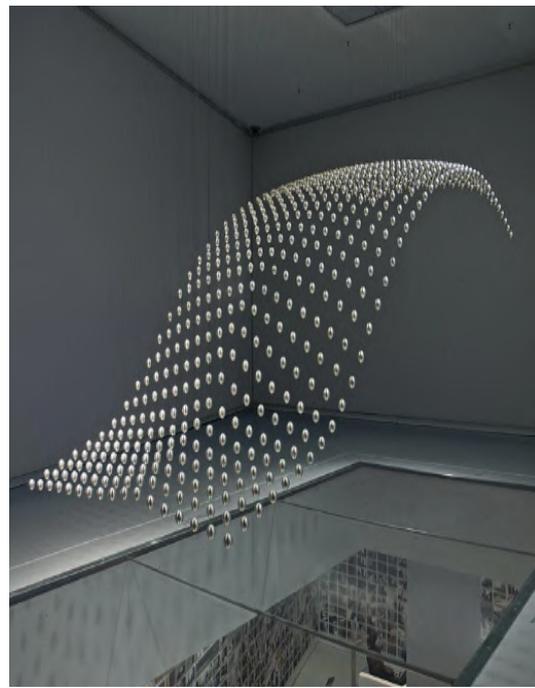
**Figura 8**

*Colombo, great pulsating surface .Fuente: Tomada de google imagenes [Fotografías].*



**Figura 9**

*Penetrable.Fuente: Tomada de google imagenes [Fotografías].*



*Nota:* La interacción de componentes mecánicos y electrónicos crea una pieza de arte dinámica.

### 0.2.5. Arte cinético

La cinética que, en una de las ramas de la ciencia, como la física se ha nombrado anteriormente para definir los movimientos proporciona diferentes expresiones del arte.

El arte cinético fue presentado en primer lugar por los constructivistas. El constructivismo y el dadaísmo habían sido la fuente de este movimiento. Los hermanos Pevsner y Gabo defienden este concepto (Fig. 6) de arte como sigue en sus manifestaciones: “debemos librarnos de la ilusión milenaria del arte que viene de Egipto y la ilusión de que sólo puede estar formada por ritmos estáticos (Yilmaz, 2014).

Sam Kench (2020) afirma que:

“El arte cinético es cualquier tipo de obra de arte que contiene elementos en movimiento o requiere movimiento en el espectador para percibir completamente el efecto deseado. El arte cinético no se limita a ningún medio en particular u otro estilo artístico, sino que es una propiedad que puede acompañar a las obras de arte de todo tipo si se requiere movimiento para experimentar”. (Kench, 2020).

De acuerdo con el estudio STGO (2012), existen distintos tipos de obras cinéticas que producen sensación de movimiento, entre ellas se encuentran las obras estables, las cuales tienen elementos fijos dispuestos de tal manera que el espectador debe rodearlos para percibir el movimiento (Fig. 7)

Otro tipo de obras se denomina móviles, como su nombre mismo lo indica tiene movimiento debido a diferentes factores y pueden cambiar constantemente su estructura. (Fig.8).

También existe las denominadas obras penetrables, lo curioso de estas obras ensambladas es que el espectador para poder entenderla en su totalidad necesita entrar en ella y observarla desde diferentes ángulos. (Fig. 9)

El arte Cinético se convirtió en uno de los tipos comunes de expresión utilizados en EE. UU. y Europa en la década de 1960. Algunos exponentes como Mary Martin (1907-1969) obtuvo el movimiento en obras de arte formadas con reglas matemáticas como la proporción áurea a través de la luz natural en Inglaterra. Otro autor muy importante en esta rama es Alexander Calder (1898-1976) que desarrolló obras capaces de operar manualmente o mediante un motor y que Duchamp denominó “móviles” son los ejemplos de arte cinético más significativos de esta época. (Yilmaz, 2014)

#### 0.2.5.1. Escultura cinética

Según Cecilia Candia en su obra de 2012, el arte cinético se encuentra principalmente en el ámbito de la escultura, donde se utilizan elementos móviles como recursos en las obras. Es una corriente artística que se fundamenta en el movimiento usando elementos que son la energía impulsadora como el viento, los espectadores y/o mecanismos motorizados que permiten un movimiento real de las obras (Candia Fuentes, 2012).

Según Cecilia Candia (2012) esta corriente busca la integración entre la obra y el espectador y generalmente las obras se insertan en el espacio público, formando parte de la ciudad. Uno de los artistas más innovadores del siglo XX, reconocido a nivel mundial por sus esculturas móviles y en alambre que han transformado el campo del arte, es considerado como tal por algunos expertos.(fig. 10)

A continuación, se presentará uno de los autores más reconocidos a nivel mundial de arte cinético

**Figura 11**

*La Grande Vitesse, Grand Rapids, Michigan. Fuente: [Fotografías], Experience Grand Rapids, 2022.*



#### **0.2.5.2. Alexander Calder**

Nacido en Pensilvania en 1898 y fallecido en Nueva York en 1976 fue hijo y nieto de escultores, sus estudios los realizó en ingeniería Mecánica. Conocido como el inventor del móvil, nombre que Marcel Duchamp le puso por sus obras innovadoras que capturan el movimiento de una serie de formas siempre cambiantes. El alambre con el que elaboraba sus esculturas era un material que siempre fue familiar para él por lo cual pudo dar alternativas radicales al lenguaje de la abstracción y al arte existente de su época (Museo de Física, 2021).

Inicialmente, Alexander utilizó motores como medio para lograr la suspensión de sus obras, pero luego optó por explorar el efecto de las corrientes de aire y abandonar ese enfoque. Una idea que le dio más valor a su trabajo

Una de sus obras a destacar es La Grande Vitesse en Calder Plaza o más conocida como El Calder (Fig.11). En 1967, ubicada en la gran plaza que rodea el ayuntamiento y el edificio del condado de Kent en Michigan – Estados Unidos, obra que le encargaron en 1967 como parte de renovación urbana siendo la primera obra de arte pública financiada por parte del Fondo Nacional de las Artes. (Experience Grand Rapids, 2022). La idea de una obra de arte original para un sitio cívico específico que el arte perteneciera a todas las personas, no solo a unos pocos elegidos, que estarían en el corazón de la comunidad, no aislada en algún museo en algún lugar (Tweddale, 2019).

## 0.2.6. Fachadas y Envolventes Arquitectónicos

### 0.2.6.1. Fachadas en la arquitectura

Etimológicamente hablando proviene del latín “facies” y de italiano “facciata”, o del francés “facade”, “cara exterior”. Este vocablo se define como un adorno, ornamento o una decoración exterior de cualquier edificación («Definiciona, definición y etimología, 2016).

La fachada de un edificio es como la piel de un ser vivo, ya que es la encargada de establecer la relación directa con el entorno. Al igual que la piel, la fachada separa el interior del exterior, lo protege de los daños del entorno y colabora en el metabolismo y sistema inmunológico.

Según Iván Coellar (2018), la envolvente de un edificio tiene la función de protegerlo y conectarlo con las condiciones ambientales, regulando la captación o disipación de energía del entorno y los intercambios de luz, calor, presión de aire, sonido y otros elementos entre el interior y el exterior.

A lo largo de la historia, las fachadas han evolucionado y se han adaptado tecnológicamente para ser cada vez más eficientes en su defensa y aislamiento de condiciones desfavorables (Baixas, 2012). Esta evolución se enfoca en reducir el consumo de energía en las ciudades e incrementar la autosuficiencia energética de las construcciones, lo que está estrechamente vinculado con el diseño de la envolvente arquitectónica

González & Molina (2017) afirman que “la envolvente es un concepto contemporáneo que reemplaza e integra la fachada, la cual se concebía como un plano que establecía límites entre los espacios interiores y exteriores de la edificación”. Por ende, Bustamante (2014) afirma que:

“La envolvente se puede definir como el espacio limítrofe entre el adentro y el afuera, y que, si se diseña y maneja adecuadamente, puede solucionar y optimizar el desempeño de la edificación, obteniendo eficiencia energética, confort térmico y optimización lumínica, entre otras calidades técnicas y arquitectónicas requeridas”. (Bustamante, 2014)

“Redefinir la piel es por tanto una de las operaciones que más necesita la arquitectura contemporánea” (De Canales, 2001, pág. 64).

Es decir, la envolvente es un elemento clave en la arquitectura moderna que actúa como una barrera entre el interior y el exterior de un edificio. Si se diseña de manera adecuada, puede mejorar significativamente el rendimiento de la edificación en términos de eficiencia energética, confort térmico y optimización de la luz. Por lo tanto, es importante prestar atención al diseño de la envolvente para lograr un mejor desempeño en la arquitectura contemporánea.

A continuación, se mostrará una clasificación sobre los tipos de fachadas o envolventes.

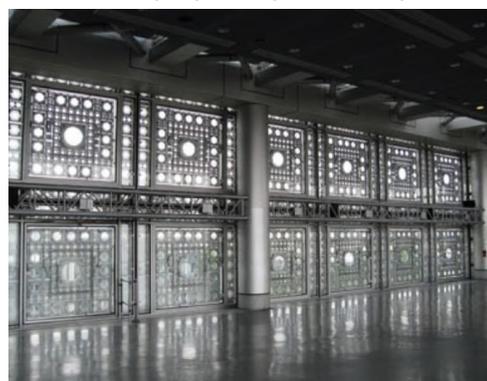
**Figura 12**

*Silver Lining, Columbus, Ohio, Ned Kahn. Fuente: Tomada de google imagenes [Fotografías].*



**Figura 13**

*Instituto del Mundo Árabe, Jean Nouvel. Fuente: Tomada de google imagenes [Fotografías].*



### **0.2.6.2. Fachadas activas**

Según Carolina Hernández (2015) “una fachada se considera activa cuando, aunque un enunciado simplista, deja de ser un elemento exclusivamente pasivo en el comportamiento del edificio”.

Al entrar al vasto mundo de fachadas activas se la puede asociar a términos de producción de energía principalmente por la incorporación de generadores fotovoltaicos, recuperadores de calor e incluso incorporando mini aerogeneradores; inclusive los elementos vegetales en la fachada de una edificación pueden convertir a la misma en un elemento en cierto modo activo y que interactúa con su entorno (Hernandez Martinez, 2015). Además, se devuelve a la naturaleza el espacio que es ocupado por la obra construida y se contribuye al acondicionamiento ambiental del mismo.(Fig. 12)

### **0.2.6.3. Fachada Cinética o adaptativa**

Según Carolina Hernández (2015) Una fachada cinética puede lograr su movimiento a través de su adaptación a las condiciones climáticas como temperatura, iluminación, ventilación, etc. Esto puede implicar un comportamiento activo que requiere el uso de dispositivos integrados o tecnologías domóticas, o un enfoque pasivo que utiliza generadores fotovoltaicos, materiales de cambio de fase, entre otros.

Uno de los mejores exponentes que se considera en las fachadas cinéticas o adaptativas contemporáneas es la obra de Jean Nouvel (Figura 13) con el Instituto del Mundo Árabe en París, inaugurado en 1987 proponiendo uso tecnológico en su fachada para el control de la entrada de la luz natural por un mecanismo de diafragmas igual que una cámara fusionando así lo contemporáneo con lo islámico.

#### **0.2.6.4. Fachada de Alto Rendimiento**

Si hablamos de alto rendimiento en fachadas arquitectónicas nos va a surgir las ideas o energía o sostenibilidad, y ambas tiene una relación directa con la economía.

La reducción de energía usada en el funcionamiento de la edificación y su incremento en la durabilidad son las primeras preocupaciones al hablar de edificios sostenibles según el libro de Dr. John Straube en su libro “High Performance Enclosures” (Hernandez Martinez, 2015).

Carolina Hernández (2015) afirma que “La energía utilizada por edificios institucionales, comerciales, industriales y de vivienda colectiva resulta sustancialmente alto, la envolvente del edificio y su comportamiento tiene, casi siempre, mayor impacto en la energía consumida por el edificio que otro tipo de instalaciones”.

Entonces se tiene en cuenta que el comportamiento de la envolvente ayudara al impacto de la energía consumida en una edificación. No obstante, otro factor es la iluminación que tiene un gran impacto en los edificios comerciales e institucionales que en el resto.

#### **0.2.6.5. Fachadas Inteligentes**

La fachada inteligente desempeña la función como envolvente de un espacio interior que se habita. Si lo comparamos con la metáfora antes mencionado de la piel, es más apropiado describirla como una piel inteligente, enfatizando su afinidad con la epidermis humana (Wigginton & Harris, 2002).

Iván Coellar (2018) afirma que:

“Arquitectos como Herzog de Meuron, Bernard Tschumi y Jean Nouvel exploraron a la fachada como modo de comunicación, como expresadoras de significados, mediante superficies transparentes y pinturas impresas; y en su libro la iconografía y la electrónica sobre una arquitectura genérica: una vista desde la sala de redacción” (1998), Venturi examina ejemplos de la cultura popular de la cartelera electrónica gigante, explicando el uso de la tecnología de la comunicación como elemento simbólico en la arquitectura, sin modificar el espacio como tal, ni su estructura o su programa; es decir, lo mantiene genérico y lo usa como comunicador dando como resultado que la fachada pueda comenzar a concebirse y entenderse como un elemento cambiante y dinámico” . (Coellar, 2018)

Para concluir este apartado se debe tener en cuenta que al hablar de fachadas inteligente no solo nos referimos a los nuevos materiales que día a día están surgiendo; sino, a los mecanismos y soluciones tecnológicas que vuelvan a la fachada un elemento integrado e independiente que favorezca en términos de ahorro energético al funcionamiento interior en la edificación y aporta al ser humano y su entorno (Coellar, 2018).

### 0.2.7. Biomimesis

Para empezar este apartado se tiene que tener claro lo que significa la biomimesis. Según BIOMMICY (2015) afirma que “es la práctica de aplicar las lecciones de la naturaleza a la invención de tecnologías más saludables y más sostenibles para la gente”. No quiere decir que se debe copiar al reino animal sino más bien emularlo, es decir, aprender de los organismos vivos y emplear todo ese conocimiento en los retos que se quieren resolver (LaVanguardia, 2016).

El planeta tiene experiencia albergando vida, por ende, miles de organismos se han adaptado y evolucionado para satisfacer sus propias necesidades en los límites del planeta creando sistemas complejos interconectados (BIOMIMICRY , 2015).

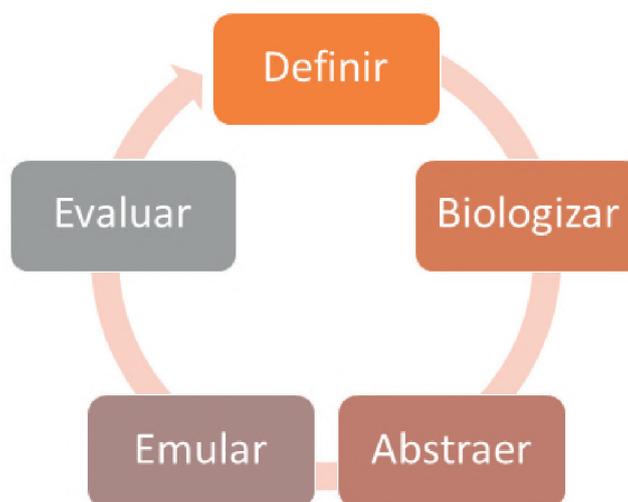
La biomimesis es la oportunidad que se presenta en la actualidad para adoptar una visión más sistémica de la tierra y comenzar a adoptar la vida dentro de sus límites. Esta herramienta reconoce que estamos rodeados de miles de organismos que gracias a la adaptación y evolucionaron millones de años nos pueden enseñar a cómo sobrevivir y prosperar en el planeta. (BIOMIMICRY , 2015).

Para que exista un cambio deberá haber un proceso que resulta de mucha ayuda cuando se tiene un reto de diseño. Según BIOMMICY (2015) afirma que “ La Espiral de Diseño Biomimético ofrece una descripción concisa de los elementos esenciales de un proceso de diseño que usa a la naturaleza como guía para crear soluciones”. Describe 6 pasos importante que se deben dar para buscar una correcta solución biomimética para el reto del diseño (fig.14).

Sin embargo, como se podría trasladar este termino a la arquitectura. En el siguiente apartado se definirá como la biomimesis se puede aplicar en la arquitectura.

**Figura 14**

*Pasos de Diseño de Espiral Biomimética. Fuente: Autor*



### 0.2.8. Arquitectura Biomimética

La arquitectura biomimética se basa en la observación y el estudio de los principios y estructuras presentes en la naturaleza, para inspirar y guiar el diseño de edificios y sistemas construidos. La idea es aprovechar las soluciones eficientes y sostenibles desarrolladas por la naturaleza a lo largo de millones de años de evolución, y adaptarlas a las necesidades de la arquitectura humana.

Según Espinoza (2017, pág. 34) afirma que:

“La actual problemática social y ambiental nos está llevando, en lo que se refiere a la arquitectura, a buscar soluciones más eficaces a la hora de diseñar, con proyectos que puedan desarrollar un equilibrio entre el ser humano y la naturaleza”. (Espinoza, 2017)

Esto puede lograrse a través de la aplicación de la arquitectura biomimética, que busca comprender y emular los principios de la naturaleza para aplicarlos en proyectos arquitectónicos, Tanto en la concepción del diseño como en la ejecución de la construcción del edificio. Buscando diseños más eficientes y naturales a través de la comprensión de criterios que por muchos años se han ido adaptando al contexto donde se encuentran.

La arquitectura biomimética se centra en la sostenibilidad ambiental, el uso eficiente de recursos y la adaptación al entorno natural. Puede incluir características como la ventilación natural, la captación de agua de lluvia, la generación de energía renovable y la integración de la vegetación en los edificios. También puede abordar problemas más complejos, como la regulación de la temperatura y la iluminación natural, la purificación del aire y el control de la humedad.

Como se recalca no se trata de imitar la naturaleza directamente, ni diseñar edificios que parezcan flores sino, por ejemplo, que al igual que las plantas use energía solar como se realiza la fotosíntesis; el edificio funcione con los mismos principios. Espinosa (2017) afirma que “estos mecanismos naturales en muchas ocasiones funcionan mejor que algunas de las tecnologías más avanzadas, requiriendo menos energía, sin producir tantos residuos ni generando gran impacto ambiental”.

### **0.3. Justificación**

Según Hernández Martínez (2015) afirma que “en un contexto urbano, las personas pasan la mayoría de sus vidas dentro de los edificios, tiempo que ha llegado a estimarse hasta en un 90%”. Por lo tanto, el confort térmico y visual es un aspecto de gran importancia y en arquitectura proveer al ser humano de espacios confortables y saludables es uno de los principales objetivos del diseño.

En la actualidad, las soluciones de protección solar se enfocan principalmente en mejorar la temperatura y reducir la carga de refrigeración en los edificios, pero muchas veces se descuida la cantidad de luz natural disponible en el interior. En ocasiones, las protecciones solares son tan eficientes que se requiere iluminación artificial, lo cual resulta en un consumo excesivo de energía eléctrica. Es importante encontrar un equilibrio entre la eficiencia de las protecciones solares y la adecuada iluminación natural en el interior.

Se determino el uso de estrategias como la biomímesis y ver como la naturaleza ha afrontado los mismos problemas hace millones de años, es decir, reconocer que estamos rodeados de millones de organismos y ecosistemas que tienen algo que enseñarnos sobre cómo sobrevivir y prosperar en la Tierra y en consecuencia enfrentan a muchos de los mismos retos que nosotros nos enfrentamos con soluciones mucho más eficientes poniendo mucha atención en el funcionamiento de la naturaleza e ir aprender como emular su inteligencia usando la metodología de la espiral de diseño biomimético y la fachada cinética para control del confort y eficiencia energética.

Esta estrategia acompañada del giro digital que se está dando en la actualidad se determina como una herramienta inherente a la profesión del arquitecto que dará el fin de la separación entre el diseño y la fabricación, porque se entiende que la tecnología ha dejado de ser lo opuesto a lo artesano. Ambas se han fundido en sistemas mixtos que la puesta en práctica dará varios resultados de diseño, se sabe que no se resolverá todos los problemas, pero esta herramienta está ahí ¿porque no se debería intentar?

Concluyo con una frase de Mario Carpo que dice, donde los problemas son cuantificables, las computadoras son de gran ayuda porque se optimiza soluciones, se ahorra tiempo, dinero, recursos, materiales y se minimiza el desperdicio de energía. (Carpo, 2018)

### **0.4. Hipótesis**

A través del diseño de una estructura envolvente basada en la naturaleza se regulará el confort térmico y visual del edificio de la Universidad Internacional del Ecuador de la ciudad de Loja

### **0.5. Objetivo general**

Diseñar una estructura envolvente basada en la naturaleza que regule el confort térmico y visual del edificio de la Universidad Internacional del Ecuador de la ciudad de Loja.

## 0.6. Objetivos Especificos

- Determinar los parámetros del diseño de estructura envolvente a partir de una revisión de literatura.
- Definir y Abstracter los parámetros del diseño de estructura envolvente basadas en la naturaleza y aplicarlos al diseño del modelo de simulación.
- Fabricar y Emular los parámetros de diseño de estructura envolvente basadas en la naturaleza a través de automatización en Arduino
- Evaluación simulada comparando el Edificio de la UIDE-Sede Loja en su estado actual y con la estructura envolvente cinética

## 0.7. Metodología

Este trabajo se basa en la metodología del diseño basado en teoría que permite orientar una investigación desde las necesidades del entorno (Garcia & Sanchez, 2020). Esta metodología permite articular una serie de elementos necesarios con el objetivo de poder identificar lo que genera la necesidad de investigar y luego describir cómo se llevará a cabo la investigación

En el caso específico de la investigación se encontró una brecha en la arquitectura por motivo que a la misma se la concibe como un acto netamente de notación, por ende, el arquitecto tenía un papel limitado como agentes de notación y no estaban involucrados en el proceso de fabricación, esto hace que la separación entre el diseño (pensador) y la elaboración(creador) se haga más visible. Sin embargo, en la actualidad, la tecnología ha permitido ha dejado de ser lo contrario a lo artesanal y fomenta una mayor integración entre el diseño y la fabricación en la arquitectura , lo cual se va a probar.

Se eligió la Universidad Internacional del Ecuador-Sede Loja por la experiencia personal brindada durante 5 años cursando el pregrado en el edificio, además de una preevaluación simulada de parámetros como la radiación incidente, porcentaje de visualización del interior al exterior, luz que entra a las aulas y la temperatura interna. Por los datos obtenidos se determinó la falta de confort térmico y visual que presenta las aulas que están ubicadas en la parte posterior del mismo, sea por el mal emplazamiento o la mala orientación de sus fachadas principales (orientadas de este a oeste).

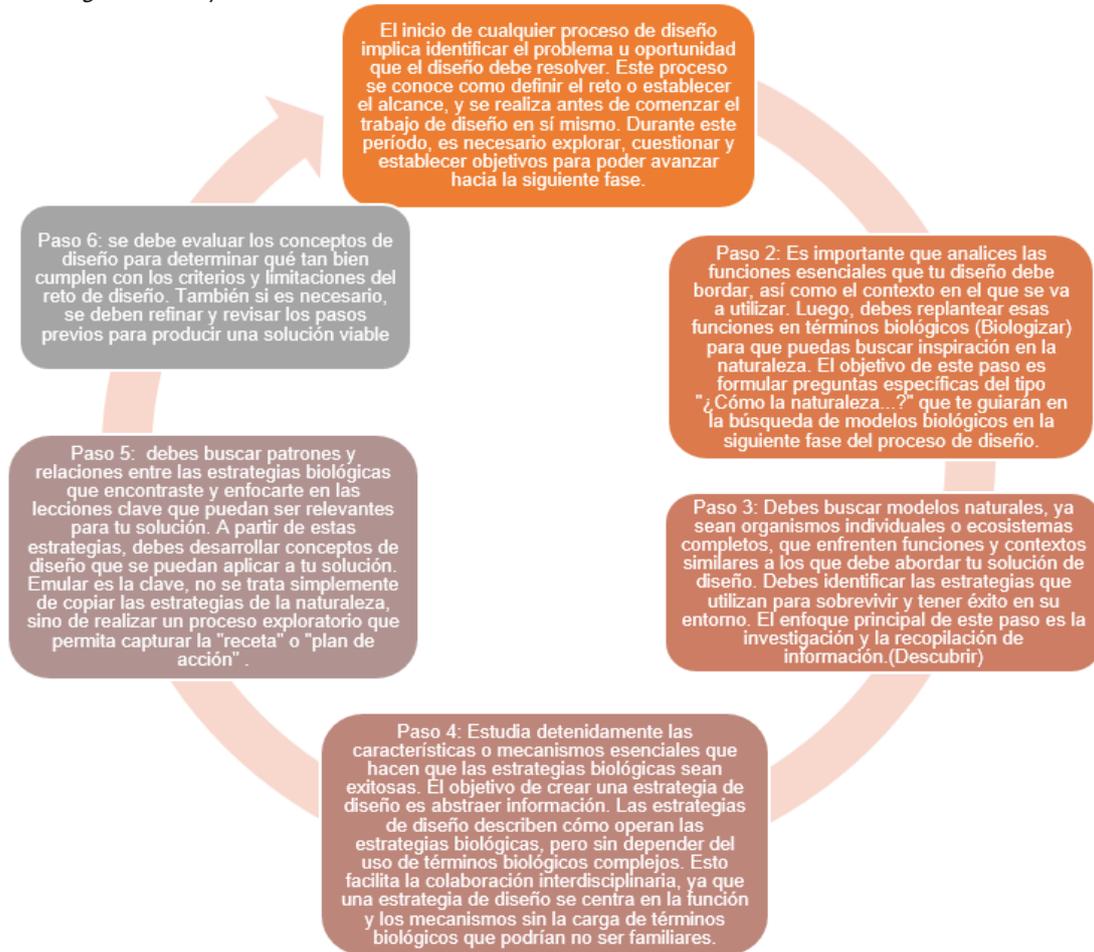
Teniendo en cuenta el problema del caso de estudio, en base a toda la información teórica obtenida se determinó que los seres humanos (sociedad) somos seres dinámicos y nuestras necesidades cambian con el tiempo, por lo que es importante dar soluciones dinámicas, mas no estáticas. Por tal motivo se utilizó el método de diseño en espiral biomimético del Biomimicry Institute. Este método se basa en la observación de la naturaleza para encontrar soluciones a problemas de diseño (BIOMIMICRY , 2015). En este proceso se definiría la solución para encontrar como regular el confort térmico y visual del Edificio de la UIDE en base a cómo la naturaleza resuelve este problema.

Para ello, Janine Benyus bióloga y confundidora del instituto de Biomimética describe 6 pasos (Tabla 1) más importantes que se deben dar cuando se buscan soluciones biomiméticas.

Para poder cumplir la integración entre el diseño y fabricación en el paso 5 del método de diseño espiral se aumentó la fabricación de la estructura envolvente en base al método experimental y en el paso 6 se evaluará en base al método de simulación.

Tabla 1

Metodología de la Espiral de Diseño Biomimético. Fuente: Autor



David Castelló afirma que "tratar de definir las variables que deben ser observadas, la relación entre elementos, cómo van a ser las variables medidas y cómo procederemos a analizar los datos". Daran la pauta para desarrollar el método experimental, junto con el método de simulación que se refiere la posibilidad de crear de modo deliberado un proceso artificial se podrá representar un proceso real. En otros términos, la simulación es la emulación del comportamiento en el tiempo de un sistema real por un sistema artificial (Treuil et al. 2008). Es decir, la simulación y la experimentación del modelo físico serán el camino que se recorrer en la investigación

Finalmente en el trabajo de investigación presentado se desarrollará una preevaluación del estado actual y postevaluación con los tipos de materiales seleccionados en base a su maleabilidad simulando su radiación incidente, porcentaje de visibilidad, porcentaje de luz de día que entra al aula y temperatura interior del edificio de la UIDE-Sede Loja para ello se utilizará el programa Rhino-Grashopper y se desarrollará con los componentes de ladybug y honey bee. Además se fabricará el prototipo beta de la estructura envolvente cinética utilizada en el edificio, el cual se podrá controlar en base a servomotores con Arduino para demostrar la integración de los sistemas mixtos en el diseño.

# **CAPÍTULO I. DESCUBRIMIENTO DEL MOVIMIENTO COMO ACCIÓN DINÁMICA**

## **1.0 Brecha histórica sobre creadores y fabricantes en arquitectura**

Hace mucho tiempo que la arquitectura se la comunica y se construye a través de tres documentos gráficos: la planta, el alzado y la sección. Estos documentos representan una arquitectura objetual, estática y volumétrica, con lenguajes y estilos definidos que resuelven las complejidades específicas de manera individual. Esto hace que la separación entre el diseño (pensador) y la elaboración (creador) sea más evidente.

Según Haramoto (2002), la brecha entre el diseño y la elaboración en la arquitectura se refiere a la separación entre el proceso de análisis y síntesis en el diseño arquitectónico. Esta brecha se produjo como resultado de la aplicación práctica de las etapas clásicas del proceso de diseño: análisis, síntesis y evaluación. Esto llevó a un enfrentamiento entre dos posiciones: una con énfasis en lo analítico y otra con énfasis en lo formal.

Sin embargo, en la actualidad, la tecnología ha dejado de ser lo contrario a lo artesanal y fomenta una mayor integración entre el diseño y la fabricación en la arquitectura. La tecnología digital no solo mejora la eficiencia del dibujo sino también la concepción y construcción de proyectos arquitectónicos.

### **1.1. Transición de fachada a envolvente**

González & Molina (2017) afirman que “la envolvente es un concepto contemporáneo que reemplaza e integra la fachada, la cual se concebía como un plano que establecía límites entre los espacios interiores y exteriores de la edificación”. Por ende, Bustamante (2014) afirma que:

“La envolvente se puede definir como el espacio limítrofe entre el adentro y el afuera, y que, si se diseña y maneja adecuadamente, puede solucionar y optimizar el desempeño de la edificación, obteniendo eficiencia energética, confort térmico y optimización lumínica, entre otras calidades técnicas y arquitectónicas requeridas”. (Bustamante, 2014)

## **1.2. Sistemas cinéticos, arte y arquitectura**

### **1.2.1. Cinética - Definición**

Este término se utiliza en la física para referirse a todo lo relacionado con el movimiento y el esfuerzo necesario para acelerar un cuerpo con una masa determinada, pasando del estado de reposo a un estado en movimiento.

### **1.2.2. Sistemas cinéticos en arquitectura**

Un sistema cinético en arquitectura se refiere a la incorporación de elementos móviles en el diseño de edificios y estructuras. Estos elementos pueden ser controlados por tecnología avanzada para mejorar la funcionalidad y adaptabilidad del edificio a las necesidades cambiantes de sus ocupantes. Aunque la idea de incorporar elementos móviles en la arquitectura no es nueva, los sistemas cinéticos inteligentes llevan este concepto más allá al utilizar tecnología para crear espacios dinámicos y flexibles.

## **1.3. Arquitectura cinética**

La arquitectura cinética es aquella que se caracteriza por su capacidad de cambiar su ubicación, movilidad y/o geometría de manera variable. Con la ayuda de sistemas informáticos, se puede interpretar las circunstancias funcionales y sistematizar los movimientos controlados por el generador de energía para adaptarse mejor a situaciones cambiantes y cumplir con las premisas de diseño establecidas para el sistema cinético. (Fox & Yeh, 2000)

## **1.4. Estructura Cinética enbebida**

Una estructura cinética enbebida es un tipo de sistema dinámico que actúa de forma independiente con respecto al control del sistema arquitectónico más grande (Oneistox, 2023). Estos sistemas pueden incluir persianas, puertas, techos, paredes y varios componentes modulares que pueden moverse y adaptarse para responder a las condiciones ambientales y mejorar el confort térmico y visual del edificio.

Las estructuras cinéticas enbebidas ofrecen soluciones dinámicas y adaptables que pueden mejorar tanto la estética como la funcionalidad de los edificios. Por ende, es una buena opción para categorizar la estructura envolvente basada en la naturaleza que regule el confort térmico y visual de un edificio utilizando la arquitectura cinética y biomimética.

## **1.5. Alexander Calder, especialista del movimiento**

Según el estudio STGO (2012) hay varios tipos de obras cinéticas que crean una sensación de movimiento. Dentro estas obras cinéticas, un tipo interesante son las obras móviles. Estas obras tienen movimiento debido a diferentes factores y pueden cambiar constantemente su estructura. El movimiento en estas obras puede ser generado por medios mecánicos, electrónicos o incluso por la interacción con el espectador o el medio ambiente. Las obras móviles ofrecen una experiencia dinámica y siempre cambiante para el espectador, ya que su estructura y apariencia pueden variar constantemente.

Alexander Calder fue un escultor estadounidense conocido por inventar las esculturas de alambre y de lo de lo "móvil", un tipo de arte cinético que dependía de un cuidadoso equilibrio para lograr el equilibrio y la suspensión en el aire (Tate, s.f.). Inicialmente, Calder utilizó motores para hacer que sus obras se movieran, pero pronto abandonó este método y comenzó a utilizar únicamente corrientes de aire.

Calder fue un pionero de la escultura del siglo XX y uno de los primeros en dotar a sus obras con una cuarta dimensión: el movimiento (MoMA, s.f.). Sus móviles se movían libremente en respuesta a las corrientes de aire o la intervención del espectador y estaban suspendidos del techo o colocados directamente en el suelo. La idea fuerte en su obra según mi criterio es que la obra de arte parte de la premisa que perteneciera a todas las personas, no solo a unos pocos elegidos, que estaría en el corazón de la comunidad y no aislada en un museo (Tweddale, 2019). Esto lleva a pensar que el arte que está a disposición de todos es mucho más aceptado porque puede interactuar con su entorno inmediato.

## **1.6. Ecocentrismo**

Desde hace 3.8 mil millones de años, la tierra ha albergado millones de organismos que se han adaptado y han evolucionado para establecer un equilibrio en el planeta generando vida. Los humanos hemos habitado el 0.01 % de la línea del tiempo en la historia del planeta en el calendario cósmico. Todos los organismos que habitamos el planeta, estamos interconectados de maneras complejas y de todas formas no lo hemos comprendido. Tal vez porque nos imponemos sobre la naturaleza con el fin de sobrevivir lo que nos ha colocado en el centro del planeta como parte de la evolución. Esta nueva era, nos está conduciendo a la destrucción total para los próximos años, incluyéndonos a nosotros como la especie más compleja y destructiva de su historia denominada era del Antropoceno. En la actualidad existes muchas opciones y uno de ellos es la Biomímesis en la arquitectura.

## **1.7. El diseño ecomimético y biomimético en la arquitectura de Ken Yeang**

Ken Yeang es un arquitecto, ecologista y autor malayo conocido por su enfoque ecológico en el diseño arquitectónico. En su libro "Eco Skyscrapers" (Images Publishing, 2007), Yeang presenta su trabajo sobre el diseño de rascacielos ecológicamente responsables y su ensayo sobre la aplicación de principios de diseño ecológico a la tipología de rascacielos. (Yeang, 2007)

Yeang ha hablado sobre la importancia del diseño ecológico basado en la ciencia de la ecología y ha enfatizado que el diseño debe ser "eco mimético", es decir, diseñar para emular y replicar los atributos de los ecosistemas y remodelar nuestro entorno construido para convertirse en ecosistemas hechos por el hombre (como "ecosistemas construidos") con resultados que permitan que el entorno construido se integre sinérgicamente, de manera biointegrada y benigna con los sistemas naturales del planeta. (AIA JAPAN, 2021)

El diseño ecológico y bioclimático se enfoca en aprovechar las condiciones climáticas y ambientales locales para mejorar la eficiencia energética y el confort de los edificios. Una estrategia para lograr esto es el uso de envolventes cinéticas, que son sistemas de fachada que pueden adaptarse y responder a las condiciones climáticas y ambientales cambiantes para mejorar el rendimiento energético y el confort de los ocupantes. (Wang & Li, 2010)

El objetivo de este tipo de sistemas es mejorar la eficiencia energética y el confort térmico de los ocupantes al controlar la cantidad de radiación solar que entra en el edificio y adaptarse a las condiciones climáticas locales (Wang & Li, 2010).

En este punto resaltan dos términos el diseño biomimético y el diseño eco mimético son conceptos relacionados, pero no son exactamente lo mismo. El diseño biomimético se refiere a la imitación de los modelos, sistemas y elementos de la naturaleza para resolver problemas humanos. Por otro lado, el diseño eco mimético, como lo describe Ken Yeang, se refiere a diseñar para imitar y replicar los atributos de los ecosistemas y remodelar nuestro entorno construido para convertirse en ecosistemas hechos por el hombre con resultados que permitan que el entorno construido se integre sinérgicamente, de manera biointegrada y benigna con los sistemas naturales del planeta.

## **1.8. Arquitectura biomimética**

Para hablar sobre arquitectura biomimética antes tenemos que entender que es la biomímesis. La biomímesis es un enfoque que busca soluciones a problemas humanos mediante la observación y el aprendizaje de los procesos y sistemas de la naturaleza. Al utilizar la naturaleza como modelo, medida y mentor, podemos aprovechar las soluciones eficientes y sostenibles que ha desarrollado a lo largo de millones de años de evolución y adaptarlas a nuestras necesidades. Esto puede lograrse a través de tecnologías innovadoras o sistemas más sencillos.

La problemática social y ambiental actual está llevando a la arquitectura a buscar soluciones más eficaces para desarrollar un equilibrio entre el ser humano y la naturaleza. Una de estas soluciones es la arquitectura biomimética, que se basa en la observación y el estudio de los principios y estructuras presentes en la naturaleza para inspirar y guiar el diseño de edificios y sistemas construidos. La idea es aprovechar las soluciones eficientes y sostenibles desarrolladas por la naturaleza a lo largo de millones de años de evolución y adaptarlas a las necesidades de la arquitectura humana (Espinoza, 2017).

Actualmente, no hay información disponible sobre la existencia de envolventes cinéticas basadas en la naturaleza. Por esta razón, se va a desarrollar un proyecto de investigación que consistirá en el diseño de una estructura envolvente basada en la naturaleza que regule el confort térmico y visual del edificio de la Universidad Internacional del Ecuador en la ciudad de Loja.

Este proyecto de investigación buscará aplicar los principios de la biomímesis para crear una envolvente cinética que pueda mejorar el confort térmico y visual del edificio. Al utilizar la naturaleza como modelo, se espera desarrollar una solución eficiente y sostenible que pueda mejorar el bienestar de los ocupantes del edificio y reducir su impacto ambiental.

Para ello se necesitará entender el confort térmico que se explicará a continuación

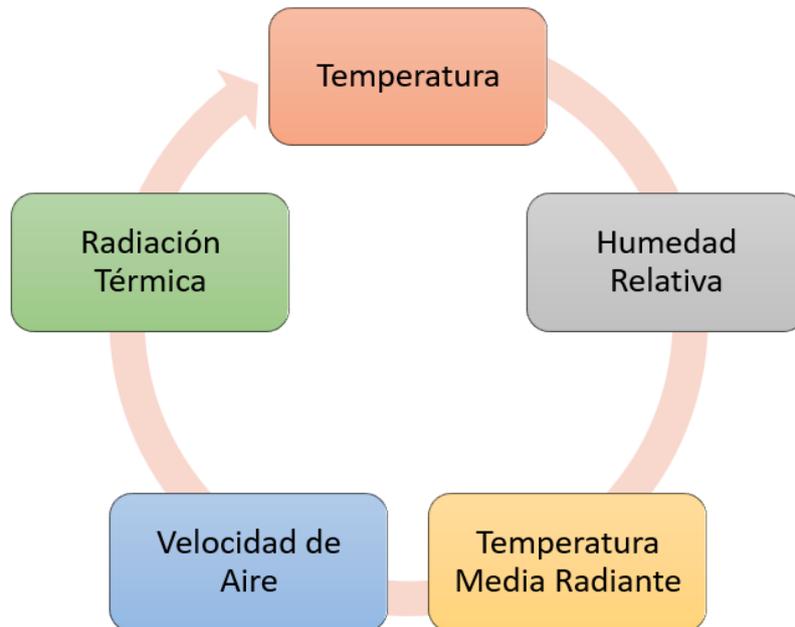
## **1.9. Variables de confort térmico en áreas de aprendizaje**

### **1.9.1. Definición**

Según Sergio Gargallo (2017) el término “confort térmico” se refiere a cuando las personas que ocupan un espacio no experimentan sensaciones incómodas de calor o frío. Esto implica que las condiciones de humedad, temperatura y circulación del aire sean confortables y apropiadas para la actividad que se lleva a cabo en el interior del espacio.

**Figura 15**

*Parámetros del Confort Térmico. Fuente: Autor*



*Nota. Se tiene en cuenta 5 parámetros principales para brindar un confort térmico a un espacio determinado, además estos parámetros están conectados, es decir, si se modifica uno los demás se van a modificar*

Otro autor como lo es Kronoshomes (s.f.) afirma que “el confort térmico es una métrica que alude a la comodidad y satisfacción de las personas con respecto a la temperatura que les ofrece la construcción en la que se encuentran”.

Teniendo en cuenta ambas definiciones anteriormente presentadas damos nuestro propio concepto donde el confort térmico se refiere a la sensación de satisfacción y comodidad que experimentan las personas con respecto a la temperatura, humedad y movimiento del aire en un espacio.

### **1.9.2. Parámetros a considerar para el confort térmico**

Para evaluar el confort térmico en un ambiente, se los principales parámetros a intervenir son: La temperatura, radiación térmica, humedad relativa, velocidad de aire y temperatura media radiante (fig. 15).

Estos factores son clave para lograr una sensación de neutralidad térmica y evitar el calor o el frío excesivo. La temperatura media radiante se refiere a la temperatura percibida en las superficies que rodean a una persona. Por otro lado, la velocidad del aire y la radiación térmica influyen en la transferencia de calor entre el cuerpo humano y el ambiente (acdis.org, 2019).

Es importante tener en cuenta que estos parámetros están interrelacionados y que un cambio en uno de ellos puede afectar la percepción del confort térmico. Por lo tanto, se considera que si regulamos más de un parámetro de los anteriormente mencionados (radiación y velocidad de viento) se podría para lograr un ambiente térmico confortable y adecuado para la actividad que se realiza en su interior.

### 1.9.3. Importancia del confort térmico en las aulas universitarias

El confort en las aulas universitarias es importante porque puede afectar el rendimiento académico de los estudiantes. En edificios educativos, la incomodidad térmica puede crear condiciones insatisfactorias tanto para profesores como para estudiantes (UIJRT, s.f.).

Además, el estrés continuo causado por el ambiente puede agotar las habilidades físicas y mentales del estudiante y afectar su eficiencia (UIJRT, s.f.). Cuando los estudiantes están físicamente cómodos, pueden relajarse, bloquear pensamientos negativos y concentrarse más efectivamente en la instrucción (Spaces4Learning, 2020). Además, estudios sugieren que el confort térmico y el ambiente del aula son factores significativos que afectan el rendimiento académico (PSSA, s.f.).

Por lo tanto, características como el diseño del aula, la ergonomía, el confort térmico, la ventilación y la iluminación juegan un papel importante en la creación de condiciones propicias para un aprendizaje efectivo.

Un estudio realizado por Hoque y Weil en la universidad de Massachusetts (2016) encontró que al mejorar el confort térmico en las aulas universitarias puede mejorar el rendimiento académico de los estudiantes. Otro estudio realizado por Chiou, Saputro y Sari (2020) encontró que más del 70% de los estudiantes encuestados experimentaron síntomas físicos adversos y casi el 50% sintió que las condiciones de iluminación no eran ideales para el desempeño de tareas

### 1.9.4. Valores óptimos para el confort térmico

Es importante tener en cuenta que, si la temperatura del lugar donde estamos estudiando no es cómoda para nosotros, nuestra capacidad de concentración puede verse afectada negativamente. Para poder alcanzar nuestro máximo potencial, es esencial contar con una temperatura adecuada.

Según American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, (2020) afirma que "el rango de temperatura recomendado para aulas universitarias es de 20 a 23 grados Celsius y la Humedad recomendada para aulas universitarias es del 40% al 60%".

Y según Soler & Palau Sistemas de ventilacion (2006) afirman que:

"La velocidad de viento óptima para un confort térmico se pudo determinar que, si el aire se mueve a una velocidad entre 0,5 y 1 m/s, las personas sentirán una agradable sensación de frescura, hasta que la velocidad del aire alcance entre 1,3 y 2,5 m/s cuando la persona está más agitada. Sin embargo, si la velocidad del aire supera este rango, en lugar de alivio, las personas sentirán incomodidad y debería evitarse."

## **CAPITULO II. ESTUDIO DEL MOVIMIENTO DEL ALA DE LA ABEJA**

### **2.0. Definir, Biologizar descubrir y extraer los parámetros a tomar en cuenta de la naturaleza**

En base a la metodología propuesta se hizo unas preguntas con las cuales la respuesta nos encaminara a una alternativa de diseño

#### **2.1. Definir el reto:**

Según BIOMIMICRY (2015) afirma que " El objetivo de este paso no es decidir lo que vas a hacer o diseñar sino más bien entender lo que tu diseño debe hacer, para quién y en qué contexto." (anexo 1 y 2)

- ¿Como podríamos ayudar a regule el confort térmico y visual del edificio de la Universidad Internacional del Ecuador de la ciudad de Loja?

#### **2.2. Biologizar el reto:**

Según BIOMIMICRY (2015) El propósito de esta etapa es plantear preguntas como "¿Cómo la naturaleza...?" que puedan actuar como guía al buscar modelos biológicos en el siguiente paso.( anexo 3)

- ¿Como regula el confort térmico y visual la naturaleza?

#### **2.3. Descubrimiento**

Según BIOMIMICRY (2015) En este paso, se centra en la investigación y recopilación de información, con el objetivo de generar la mayor cantidad posible de fuentes de inspiración, utilizando las preguntas anteriormente expuestas como guía.

- Apis Melífera (Abeja)

Figura 16

Mapa de la Biodiversidad de las Abejas. Fuente: *Climaterra.org [Fotografías]*, Climaterra, 2019.

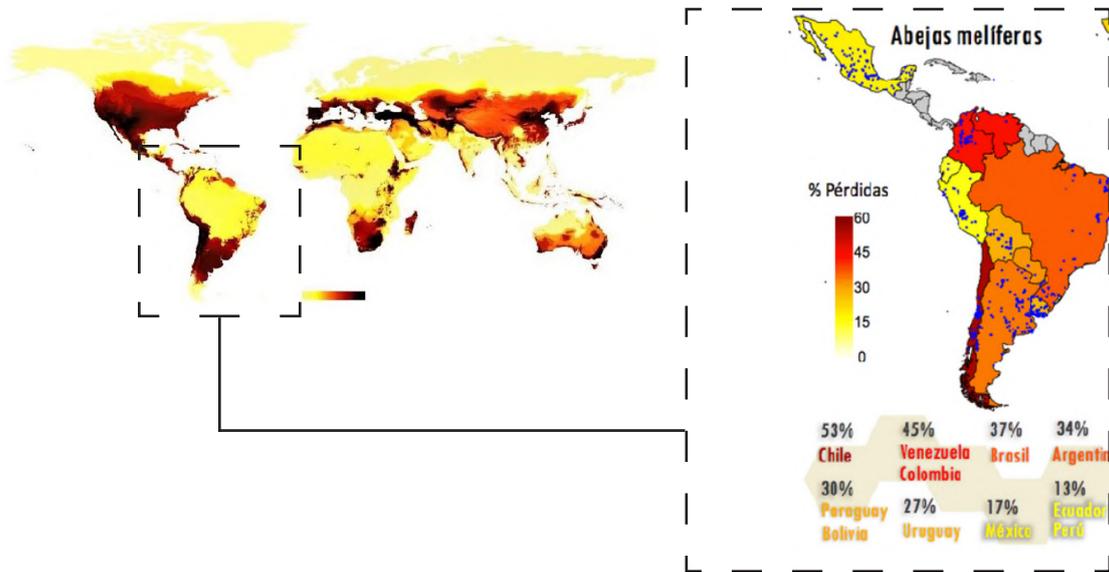


Figura 17

*Apis Mellífera*. Fuente: Contemporary Architecture Generator AI, 2023



### **2.3. Abstracción de información de las Abejas**

Según Rodríguez (2020) afirma que “en la Tierra existen más de 20.000 especies de abejas”. El mapa que muestra la distribución global (fig. 16) es un importante paso adelante en la conservación de uno de los polinizadores más esenciales del planeta.

Según una encuesta diseñada con métodos estandarizados internacionalmente y realizada por la Sociedad Latinoamericana de Investigación Apícola (Solatina) a 1000 productores de 10 países latinoamericanos, las pérdidas anuales de colmenas de abejas melíferas variaron entre 56,1% en Chile y 12,6% en Ecuador y Perú.

John Ascher, profesor asistente de ciencias biológicas en la Universidad Nacional de Singapur y autor principal de un artículo en la revista *Current Biology* bajo el título “Global patterns and drivers of bee distribution” comenta que:

“Generalmente, la mayoría de la gente piensa que el grupo de las abejas está comprendido únicamente por esos insectos que recolectan el polen de las flores para fabricar miel y algunos abejorros. Sin embargo, la realidad es que podemos encontrar miles de especies de ellas con distintas funciones en la naturaleza; no todo son abejas melíferas. La verdad es que existen más especies de abejas que de aves y mamíferos combinados, pero ese es dato bastante desconocido”

#### **2.3.1. Historia de la abeja Apis Melífera**

La abeja *Apis Mellifera*, originaria del Viejo Mundo, fue trasladada a América por colonos europeos en el siglo XVII. En 1956, investigadores en Brasil introdujeron reinas de la raza *Apis Mellifera scutellata*, originaria del sur de África, en el estado de Sao Paulo. El objetivo era establecer un programa de mejora genética liderado por científicos sudamericanos para desarrollar una abeja más productiva y mejor adaptada. Como resultado las colonia de abejas africanas se adaptaron de manera silvestre y se cruzaron con las abejas europeas para formar un híbrido mejor adaptado a los países americanos (Ernesto, Adriana, Laura G., & Guadalupe, 2011).

La abeja melífera (fig. 17) es una especie de abeja que es comúnmente utilizada para la producción de miel en Ecuador y en muchos otros países. Esta abeja es nativa de Europa, Asia y África, pero ha sido introducida en América del Norte y en muchos otros lugares del mundo. La *Apis melífera* es una abeja social que vive en colonias y es conocida por su capacidad para producir grandes cantidades de miel. También es importante para la polinización de plantas y cultivos, y es valorada por sus productos y servicios para el desarrollo agrícola.

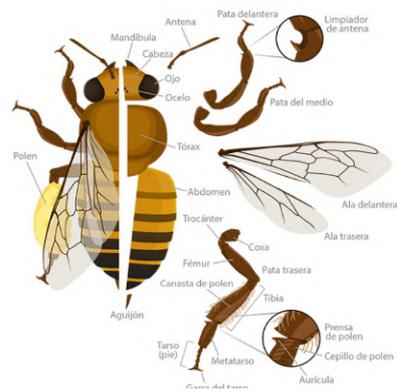
**Figura 18**

*Anatomía de Abejas. Fuente: google imagenes [Fotografías].*



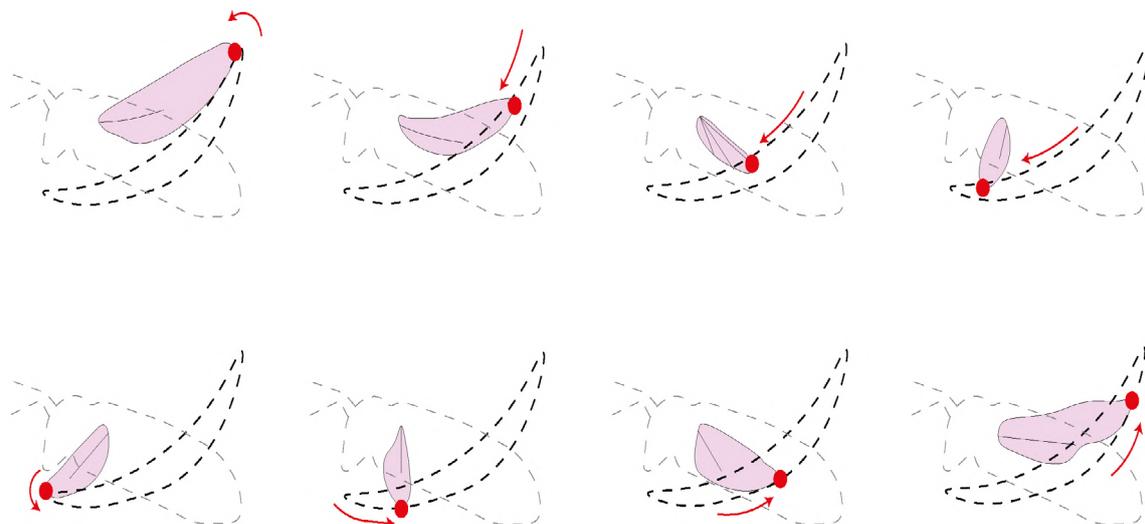
**Figura 19**

*Alas de la abeja. Fuente: google imagenes [Fotografía].*



**Figura 20**

*Trayectoria de las Alas de la Abeja. Fuente: Autor*



### **2.3.2. Generalidades de la Abeja Apis Mellifera**

La abeja Apis Mellifera es una de las especies más conocida como la productora de miel y por los rendimientos productivos y almacenamiento de miel, posee glándulas productoras de cera que se ubican en el abdomen con las cuales elaboran nidos utilizando ceras de mala calidad o que son segregadas por las obreras de la colmena. Es la especie doméstica más explotada con fines comerciales debido a que durante varios años brinda: miel, polen, propóleo, ceras y demás productos que se beneficia el ser humanos. (SIMBAÑA, 2015)

Es probable que la idea de importar otras razas de abejas más productivas haya pasado por la mente de muchos apicultores. Sin embargo, pocos técnicos recomiendan estas prácticas, ya que las abejas están altamente adaptadas a un entorno específico. (fig. 18)

### **2.3.3. Anatomía de la abeja Apis Mellifera**

Según Arizona State University (s.f) afirma que “las abejas son insectos y poseen características que son comunes en la mayoría de los insectos” (fig. 19):

- Tienen un duro escudo exterior llamado exoesqueleto.
- Tienen tres partes del cuerpo principales: cabeza, tórax y abdomen, y dos pares de alas.
- Tienen un par de antenas y 3 pares de piernas que usan para caminar

### **2.3.4. Vuelo de las Abejas**

Según Arizona State University (s.f) afirma que:

“Las abejas tienen dos juegos de alas, unas más grandes y externas y otras más pequeñas e internas, en cada juego de alas, la grande y la pequeña se conectan con hamuli, que son como dientes de peine ganchudos. (fig. 18) Para poder batir estas alas, las abejas tienen músculos que causan que su tórax se oprima en dos direcciones: hacia arriba-y-abajo, y a la izquierda-y-derecha. Las abejas alternan estas pulsaciones torácicas rítmicas, algo similar a la forma en que respiramos, pero en lugar de inhalar aire, estas pulsaciones hacen que las alas de las abejas se muevan hacia atrás y hacia delante”.

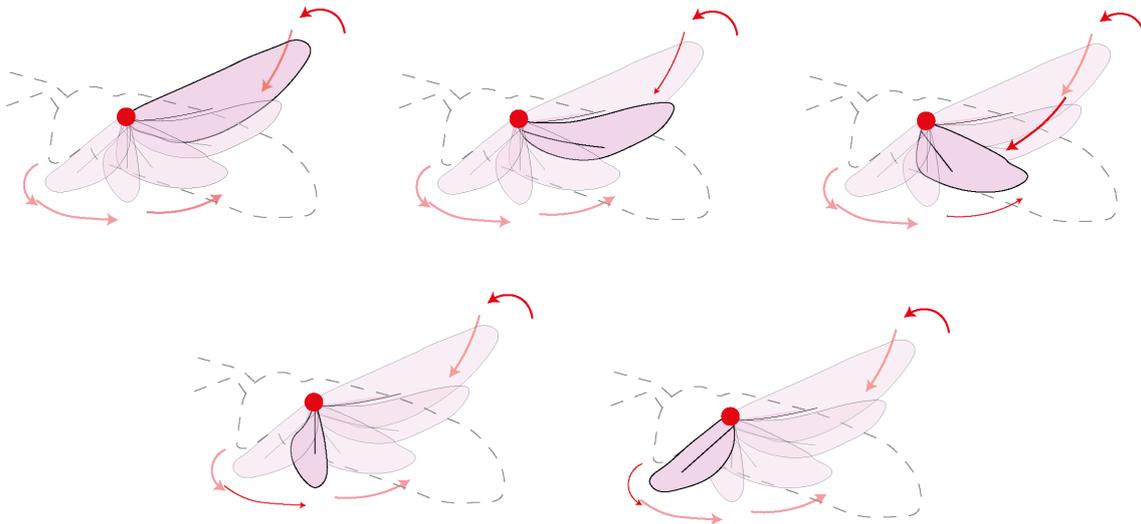
### **2.3.5. La ciencia del vuelo de las abejas**

En el pasado, los científicos solían teorizar que las alas de las abejas eran rígidas y las comparaban con el movimiento de las alas de pequeños aviones donde sus movimientos eran hacia arriba y hacia abajo. Sin embargo, dado que las alas de las abejas son relativamente pequeñas en comparación con el tamaño de su cuerpo, se creía que alas rígidas no podrían permitirles volar, incluso a una velocidad de 230 aleteos por segundo. (Arizona State University, s.f).

Las abejas se ciernen en una posición ligeramente erguida, y el movimiento de sus alas implica un golpe de ala hacia adelante y hacia atrás (Figura 20).

**Figura 21**

*Rotación de las Alas de la Abeja. Fuente: Autor*



El vuelo de las abejas es un tema de gran interés en la ciencia de la aerodinámica y la biomecánica. Las abejas son capaces de volar con gran precisión y estabilidad, y esto se debe a sus características físicas y a su comportamiento

La estructura física de las alas de las abejas es muy diferente a la de otros insectos, y esto les permite tener un gran control sobre su vuelo. Las alas de las abejas tienen una estructura especial que les permite generar un gran número de golpes por segundo, lo que les permite mantener una alta velocidad y estabilidad en el vuelo. Además, las abejas tienen un sistema de control muscular altamente desarrollado que les permite controlar la posición de sus alas y ajustar su vuelo en tiempo real.

El estilo de vuelo que las abejas permite llevar cargas pesadas cuando es necesario y el ángulo de ataque del ala de la abeja tiene un promedio de 41,1 a 50,5 grados con carga alta. Durante el vuelo estacionario con carga baja, el ala de la abeja opera dentro de un rango de movimiento (fig. 21) de adelante hacia atrás de 90 grados (Arizona State University, s.f).

### **2.3.6. Cómo las abejas trabajan juntas para controlar la temperatura en su colmena**

Las abejas trabajan juntas para controlar la temperatura en su colmena mediante varios mecanismos. Algunos de estos mecanismos incluyen:

**Abanicado:** Las abejas trabajadoras usan sus alas para mover el aire caliente fuera de la colmena. Esto ayuda a refrescar el aire dentro de la colmena y a mantener una temperatura constante.

**Regulación de la humedad:** Las abejas trabajadoras producen una sustancia llamada “panal de cera” que ayuda a regular la humedad dentro de la colmena. La cera se utiliza para construir las celdas del panal, y cuando se calienta, absorbe la humedad del aire.

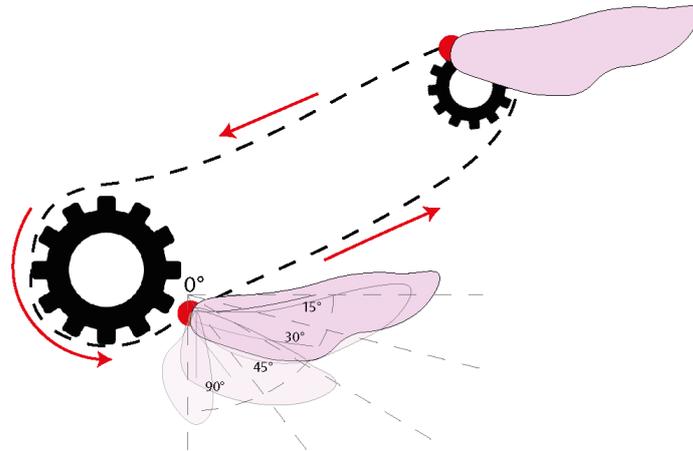
**Aislamiento:** Las abejas trabajadoras construyen paredes y techos gruesos de cera para aislar la colmena del calor externo. Esto ayuda a mantener una temperatura constante en el interior de la colmena.

**Ventilación:** Las abejas trabajadoras construyen ventilaciones específicas para permitir la entrada y salida de aire fresco en la colmena. Esto ayuda a mantener un flujo constante de aire fresco dentro de la colmena.

**Comunicación química:** Las abejas trabajadoras se comunican entre sí mediante feromona, para indicar diferentes estados de la colmena, como la temperatura, la humedad, la posición de la comida, y otros factores. Por ejemplo, las abejas trabajadoras emiten feromonas específicas para indicar cuándo es necesario aumentar el abanicado, cuándo se necesita más cera para construir celdas, o cuándo se necesita más ventilación. Esto ayuda a coordinar el comportamiento de las abejas trabajadoras y a mantener un ambiente estable en la colmena.

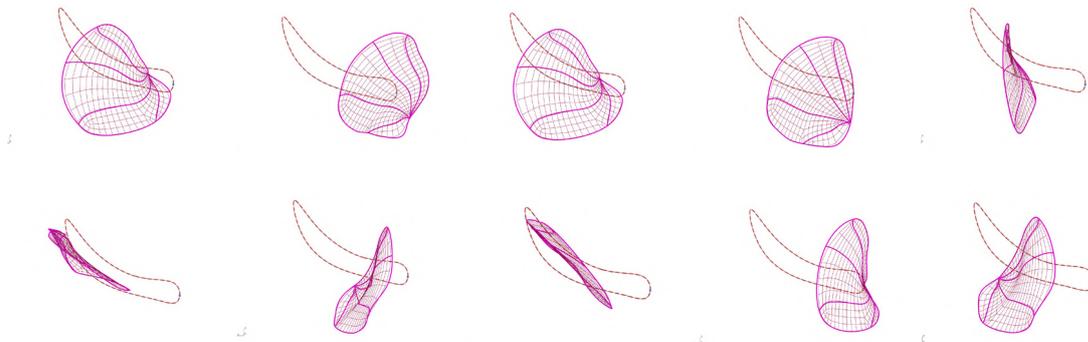
**Figura 22**

*Emulación de Movimiento de Ala de Abeja. Fuente: Autor*



**Figura 23**

*Abstracción de Movimiento de Enfriamiento. Fuente: Autor*



### **2.3.7. Abstracción y emulación del movimiento de enfriamiento de la abeja *Apis Melífera* en su colmena**

La biomimética es el estudio de la naturaleza para inspirar el diseño y la innovación tecnológica. En el caso del movimiento de enfriamiento de las abejas, se utilizó esta técnica para extraer el movimiento tanto de rotación como la trayectoria del ala de una abeja para luego poder implementarlo en un sistema de enfriamiento.

La forma que se encontró una vez finalizado el estudio de las abejas, fue entender como las abejas trabajan juntas para controlar la temperatura en su colmena. Una vez comprendido el comportamiento, se extrajo la información para poder empezar el proceso de diseño.

Las alas de las abejas hacen movimientos de barrido cortos y rápidos hacia delante y hacia atrás en un arco de 90° mientras giran, lo que les permite volar. Este movimiento se repite hasta 230 veces por segundo, lo que significa que las abejas pueden mover sus alas muy rápidamente. (Figura 22)

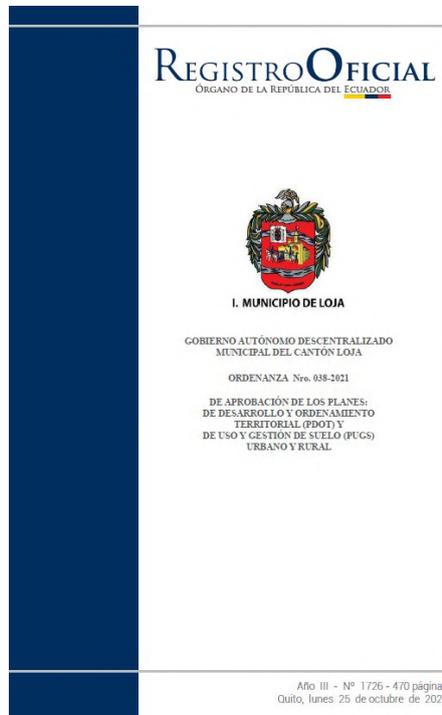
Finalmente se pretende automatizar el mecanismo de enfriamiento con un conjunto de sensores para que puedan moverse tanto en su mismo eje como en su eje de trayectoria en las diferentes aulas de clase del edificio según se necesite. Los sensores y los actuadores podrían comunicarse entre sí de manera similar a como lo hacen las abejas, mediante un sistema de señales químicas o electromagnéticas, es decir, por bluetooth o WI-FI. (Figura 23)

## CAPITULO III. DEL DISEÑO A LA FABRICACIÓN DEL MO DE ESTRUCTURA ENVOLVENTE

## MECANIS-

Figura 24

*Texto donde rige la Normativa de la Ciudad de Loja. Fuente: Municipio de Loja*



### 3.0. Normativa

Para delimitar las dimensiones de la estructura envolvente recurrimos a la normativa en nuestro caso del Municipio de Loja donde dice según el Art. 673, ordenanza 38 y reforma 045 "si la forma de ocupación es con retiro frontal de 5.00 m o más el volado no será mayor a 1.50 m sobre el retiro y si tal retiro es de 3.00 metros el volado no superará un metro".

Por lo cual nuestro caso era máximo 1 metro de volado y a partir de la segunda planta alta existe un retranqueo de 80 cm lo cual nos da un total de 1.80 metros para ubicar la estructura cinética.(fig. 24)

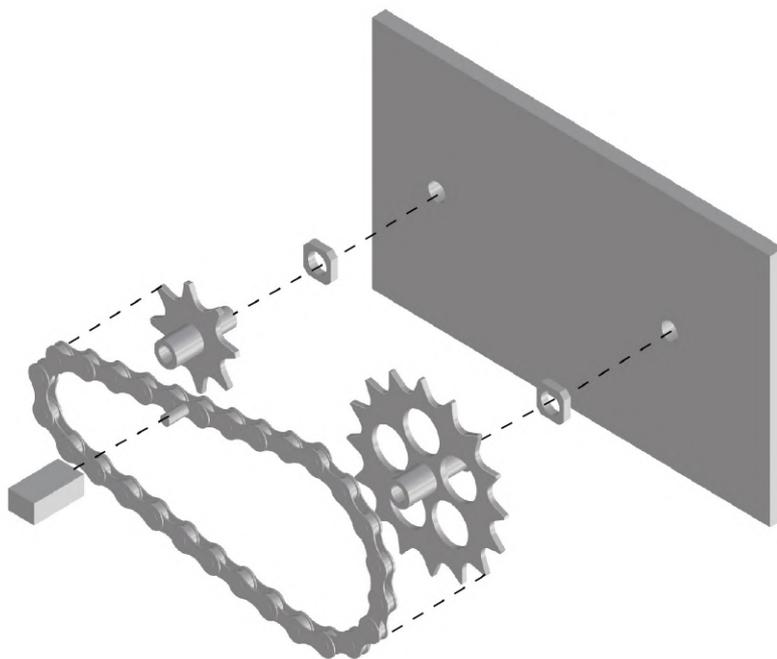
**Figura 25**

*Transmisión por Cadena 3A. Fuente: Autor*



**Figura 26**

*Isometría Explotada del Mecanismo. Fuente: Autor*



### **3.1. Diseño de mecanismo para estructura envolvente fase 1**

Se toma como referencia el trabajo de Nguyen Duc Thang, quien es un ingeniero mecánico. Se especializo en el diseño, desarrollo, y análisis de sistemas mecánicos y mecanismos, incluyendo el diseño de sistemas de transmisión, sistemas de control, y sistemas de automatización. Ha desarrollado mecanismos de movimiento para una variedad de aplicaciones en diferentes industrias, como la automoción, la manufactura, la robótica, entre otras.

Las transmisiones por cadena son sistemas mecánicos (fig. 25) utilizados para transmitir potencia de un punto a otro, generalmente en aplicaciones industriales y en maquinaria de construcción. La transmisión por cadena 3A se refiere a un sistema específico de transmisión por cadena que se utiliza en una variedad de aplicaciones, como en maquinaria para procesamiento de alimentos, maquinaria textil, y equipos de construcción. Este mecanismo es el que se va a emplear para desarrollar para fabricar el diseño de estructura envolvente.

#### **3.1.1. Mecanismo en isometría explotada fase 1**

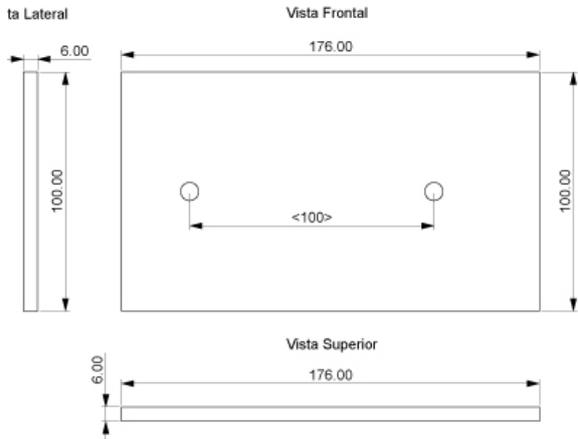
La transmisión por cadena es un mecanismo que transmite un movimiento entre dos ejes paralelos, variando la velocidad, pero no es posible que giren en sentidos contrarios por motivos que siempre debe ser de menor potencia a mayor, es decir, del engranaje más pequeño al más grande . Este tipo de sistema de transmisión se basa en el principio de engranaje y consta de una rueda conductora de cadena, una rueda conducida y una cadena que rodea las ruedas y se engrana con los dientes.

La cadena está compuesta por eslabones unidos por pasadores, lo que permite garantizar su movilidad y flexibilidad, lo cual es crucial para su funcionamiento seguro y duradero. Los principales parámetros de la transmisión por cadena incluyen la potencia, la velocidad de las cadenas y las ruedas, la relación de transmisión, el número de dientes de las ruedas, el paso de la cadena y la lubricación. Además, la transmisión por cadena es capaz de soportar cargas pesadas y trabajar en condiciones de alta velocidad y alta potencia. (Maquina--Mecanismos, 2015).

Se puede observar en la isometria (fig. 26) explitada que el mecanismo consiste de una base lateral, 1 piñon guia, un piñon guiado, una cadena con un eslabon especial donde va anclado una base para el motor

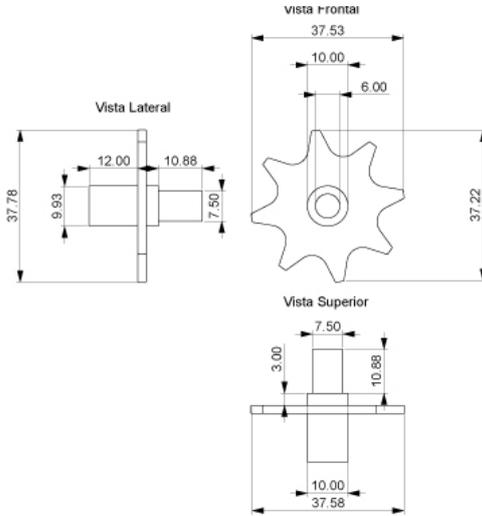
**Figura 27**

*Dimensiones Base Lateral. Fuente: Autor*



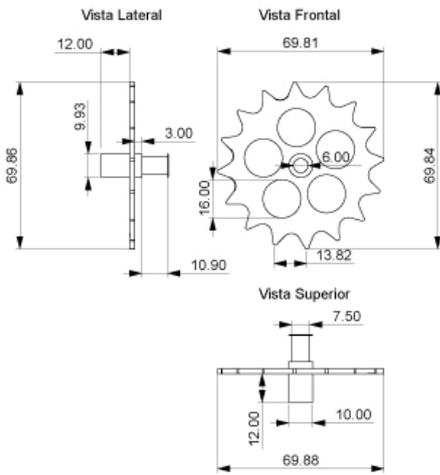
**Figura 30**

*Dimensiones Piñon Conductor. Fuente: Autor*



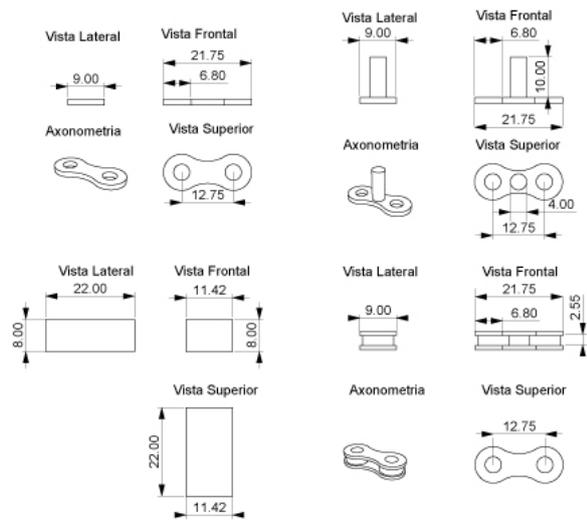
**Figura 28**

*Dimensiones Piñon Conducido. Fuente: Autor*



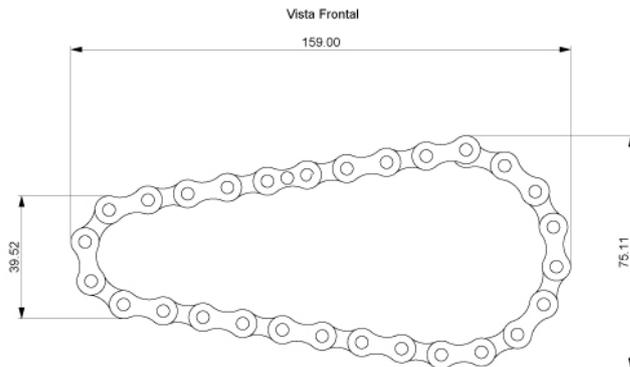
**Figura 31**

*Dimensiones Eslabón de Cadena. Fuente: Autor*



**Figura 29**

*Dimensiones Cadena. Fuente: Autor*



### **3.1.2. Despiece del Mecanismo, modelo físico fase 1**

#### **3.1.2.1. Base lateral**

La base lateral (fig. 27) para una estructura de envolvente es un elemento que se utiliza para fijar la estructura de envolvente a la pared lateral del edificio. Su función es proporcionar un soporte sólido y estable para la estructura de envolvente. La base lateral también puede tener diferentes formas y tamaños, dependiendo del diseño de la estructura de envolvente y de las necesidades del edificio

#### **3.1.2.2. Piñón conducido**

El piñón conducido (fig. 28) para la estructura de envolvente es un elemento que forma parte de un sistema de transmisión por cadena. Este piñón es una rueda dentada que se engrana con la cadena y transmite el movimiento desde la rueda conductora hasta la rueda conducida. En el caso de una estructura de envolvente, el piñón conducido no puede estar conectado a un motor o a otro mecanismo que permita mover la estructura de envolvente por motivo que siempre se debe empezar de menor a mayor velocidad.

#### **3.1.2.3. Cadena**

La cadena (fig. 29) es la unión de todos los eslabones, en nuestro caso de investigación esta cadena contará con 14 eslabones normales y 1 especial donde se asentará el servomotor.

Para que la cadena funcione correctamente, es importante que los dos piñones estén al mismo nivel. Si uno de los piñones está más alto o más bajo que el otro, la cadena puede desviarse de su trayectoria y desencarrilarse. Esto puede causar problemas en el funcionamiento del mecanismo y, en algunos casos, incluso dañarlo. Por lo tanto, es importante asegurarse de que los piñones estén alineados correctamente para evitar problemas con la cadena.

#### **3.1.2.4. Piñón conductor**

El piñón conductor (fig. 30) es un tipo de transmisión circular que engrana con una barra dentada denominada «cremallera». Un giro aplicado al piñón por un motor causa el desplazamiento lineal de la cremallera.

#### **3.1.2.5. Eslabón de cadena**

El eslabón de cadena (fig.31) es un cuerpo rígido que posee al menos dos nodos (que son los puntos de unión entre eslabones). Estos eslabones se unen para formar los eslabonamientos cinemáticos que son los componentes básicos de todos los mecanismos.

**Figura 32**

*Tipo de Adherencia. Fuente: Autor*

Build Plate Adhesion			
Build Plate Adhesion Type	↻	↻	Raft
Raft Extra Margin	↻	↻	10.0 mm
Raft Smoothing	↻		5.0 mm
Raft Air Gap	↻		0.3 mm
Initial Layer Z Overlap	↻		0.15 mm
Raft Top Layers	↻		2
Raft Top Layer Thickness	↻		0.2 mm
Raft Top Line Width	↻		0.4 mm
Raft Top Spacing	↻		0.4 mm

**Figura 34**

*Relleno. Fuente: Autor*

Search settings			
Minimum Skin Width for Expansion			0.0 mm
Infill			
Infill Density	↻	↻	20.0 %
Infill Line Distance			6.0 mm
Infill Pattern	↻	$f_x$	Triangles
Connect Infill Lines			<input type="checkbox"/>
Infill Line Directions			[ ]
Infill X Offset			0.0 mm
Infill Y Offset			0.0 mm

**Figura 33**

*Calidad. Fuente: Autor*

Quality			
Layer Height	↻		0.2 mm
Initial Layer Height	↻		0.2 mm
Line Width			0.4 mm
Wall Line Width			0.4 mm
Outer Wall Line Width			0.4 mm
Inner Wall(s) Line Width			0.4 mm
Top/Bottom Line Width			0.4 mm
Infill Line Width			0.4 mm

**Figura 35**

*Material. Fuente: Autor*

Material			
Printing Temperature	↻	$f_x$	195.0 °C
Printing Temperature Initial Layer			195.0 °C
Initial Printing Temperature			195.0 °C
Final Printing Temperature			195.0 °C
Build Plate Temperature	↻	↻	60.0 °C
Build Plate Temperature Initial Layer	↻		60 °C
Scaling Factor Shrinkage Compensation	↻		100.0 %
Horizontal Scaling Factor Shrinkage Compensation	↻		100.0 %

### 3.1.3. Proceso de impresión de mecanismo envolvente fase 1

Las siguientes piezas se imprimieron en la Ender - 3 V2, la cual es una popular impresora 3D que facilita la creación de cualquier tipo de pieza diseñada a la medida. El material usado para la impresión de dichas piezas fue el PLA y se tuvo en cuenta los siguientes parámetros de impresión:

*Tipo de adherencia a la cama de impresión:* Raft, la cual garantiza que la pieza se adiera correctamente a la cama de impresión y que la misma se despegue durante la impresión. (fig. 32)

*Calidad:* Se configura a 0.2mm la altura de capa y los demás valores se configuran automáticamente. Se selecciona 0.2mm ya que la impresora tiene una boquilla de 0.2mm y la altura máxima de separación entre capas debe ser 0.2mm. (fig. 33)

*Relleno:* Se escoge el 20 % de relleno y como patrón de relleno triángulos. Esta configuración genera que la pieza resultante sea físicamente resistente. (fig. 34)

*Material:* Se configura la temperatura de la boquilla a 195°C y la temperatura de la cama de impresión a 60°C. La temperatura de la boquilla está relacionada con la temperatura del material usado para la impresión en este caso PLA, cuyo rango de temperatura es 190-220°C y la temperatura de la cama de impresión oscila entre 60-70°C. (fig. 35)

**Figura 36**

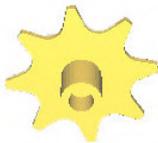
*Piezas Impresas con PLA. Fuente: Autor*



Perno de Cadena

**Figura 37**

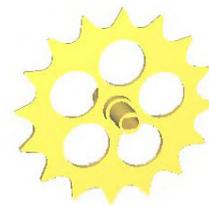
*Piezas Impresas con PET. Fuente: Autor*



*Engranaje Conductor*



Base de Servomotor



Engranaje Conducido

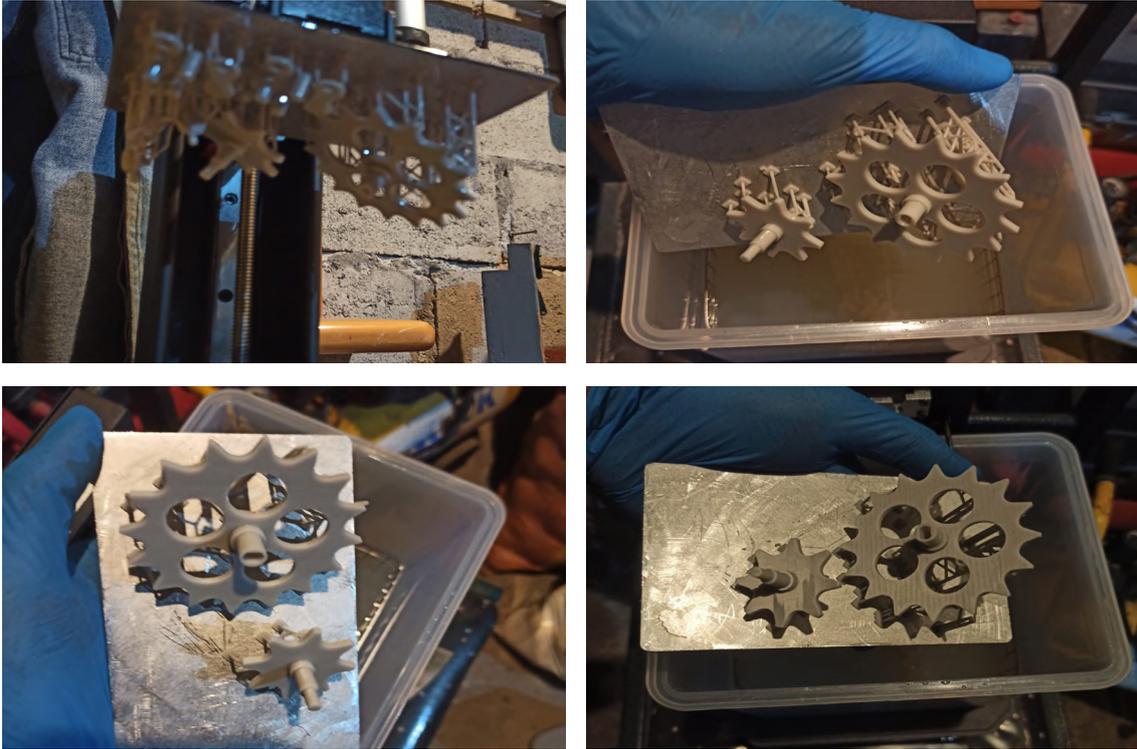


Base Lateral para Engranaje

En la figura 36 el material usado para la impresión de las piezas 3D es el PLA (ácido poliláctico). Sin embargo, las piezas en la figura 37 usan las mismas configuraciones que las anteriores con la excepción que se usa otro tipo de material. El material empleado es PET (polietileno tereftalato), este material ofrece una mayor durabilidad, mayor fuerza, menor flexibilidad, resistencia media al calor, alta resistencia química, alta resistencia al agua, alta resistencia a la fatiga, la temperatura de transición vítrea es de 85°C, se tendrá que poner una temperatura de boquilla de 210°-250°C y la cama calefactada entre 80°-100° C. Por ese motivo es ideal para piezas que estarán sometidas a un movimiento con una carga. En la figura 35 se muestran las principales características de este material y las piezas impresas con el mismo.

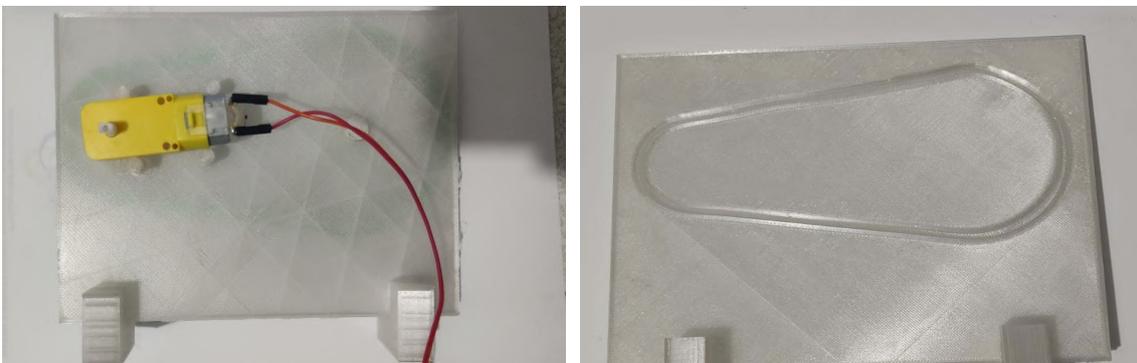
**Figura 38**

*Piezas Impresas con Resina. Fuente: Autor*



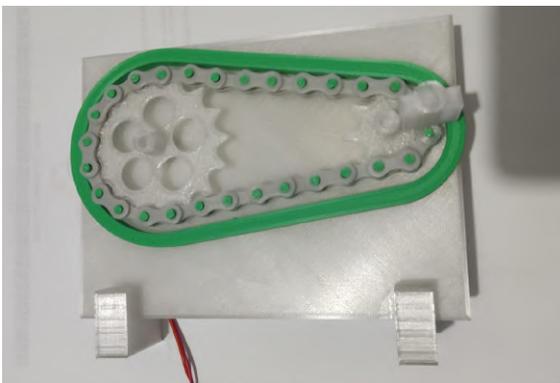
**Figura 39**

*Prototipo Final Fase 1. Fuente: Autor*



Base Lateral con Motor DC.

*Estructura Guía*



Cadena con Piñones

En la figura 38 el material usado para la impresión de las piezas 3D es la resina, es una tecnología muy interesante que permite crear objetos con un alto nivel de precisión y detalle. Hay dos métodos principales para imprimir en 3D con resina: la estereolitografía (SLA) y el procesamiento de luz digital (DLP). Ambos métodos utilizan resina líquida que se solidifica mediante la exposición a la luz ultravioleta. La principal diferencia entre los dos métodos es que SLA utiliza un láser para solidificar la resina punto por punto, mientras que DLP utiliza un proyector de luz para solidificar toda una capa a la vez .

La impresión 3D con resina es especialmente útil para aplicaciones en las que se requiere un alto nivel de precisión y detalle. Por ejemplo, en nuestro mecanismo necesitamos de acabado excelente, piezas pequeñas con mucha precisión por ende se puede observar que la impresión en resina es mucho más eficiente cuando de excelente calidad de acabado y precisión requiere.

A continuación, en la figura 39 se muestra el resultado final de las piezas impresas montadas en la estructura deseada para el presente proyecto.

Al imprimir piezas en 3D, es importante ir probándolas para asegurarse de que encajen correctamente. Esto puede requerir mucho tiempo y esfuerzo, ya que puede ser necesario hacer ajustes y volver a imprimir las piezas varias veces hasta que encajen perfectamente. Sin embargo, este proceso es necesario para garantizar que todas las piezas calcen bien y el mecanismo funcione correctamente. Aunque puede ser tedioso, es importante tomarse el tiempo necesario para probar las piezas y hacer los ajustes necesarios.

El siguiente QR es un vínculo para acceder a más información de la investigación



### 3.2. Búsqueda y Emulación de la forma óptima fase 2

En la búsqueda de forma se opto por utilizar el programa Grasshopper, siendo un complemento del modelador visual Rhino, para crear algoritmos generativos. Con Grasshopper, se desarrollo un algoritmos que permiten explorar y encontrar formas más óptimas para la estructura de envolvente envolvente cinética .

Para empezar, fue necesario tener una comprensión básica de cómo funciona Grasshopper y cómo se pueden crear algoritmos dentro de su entorno visual. A continuación, se utilizo las herramientas y componentes de Galapagos de Grasshopper para crear un algoritmo que permita explorar diferentes formas y encontrar la más óptima para la envolvente cinética.

Una vez que se creo el algoritmo, se ajusto los parámetros y ejecuto la simulación para obtener diferentes resultados, quedando asi la forma mas optima para el desarrollo de la estructura.

#### 3.2.1. Plunning Galápagos

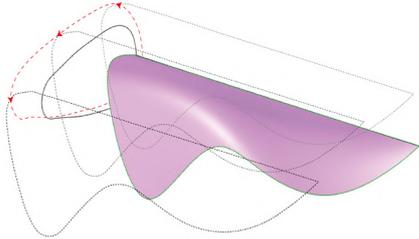
Se escogido el componente Galápagos por que permitió la optimización de algoritmos mediante la aplicación de algoritmos evolutivos. Galapagos trabaja a partir de parámetros, los cuales va optimizando a medida que se acerca a un número de generaciones predeterminadas. Luego transforma y genera una figura formada por componentes de Grasshopper agregando la base del algoritmo genético con su función objetivo y los diferentes mecanismos de selección. La forma en que se unen Galápagos y Grasshopper es muy sencilla, por ejemplo, basta con conectar Galápagos con algún(os) componente(s) de Grasshopper y una superficie visualizada en Rhinoceros será optimizada al hacer funcionar Galápagos.

A continuación, se describen los pasos que se utilizo el componente Galapagos en Grasshopper:

1. Se selecciono los parámetros que se requieren optimizar: Antes de empezar a utilizar el componente Galapagos, debe seleccionar los parámetros que desea optimizar. Estos parámetros pueden ser cualquier valor numérico que se desee optimizar, como dimensiones, ángulos, distancias, etc. En nuestro caso en especifico los parametros a optimizar son la trayectoria de rotación (fig. 39), eje de rotación (fig.40), y desplazamiento de forma tanto en eje "x" como eje "y" (fig. 41).

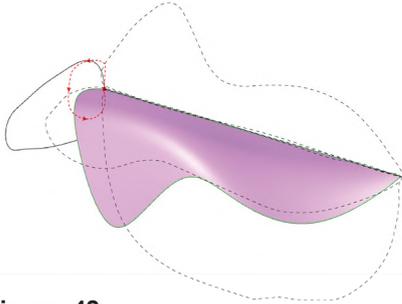
**Figura 40**

*Trayectoria de Rotación. Fuente: Autor*



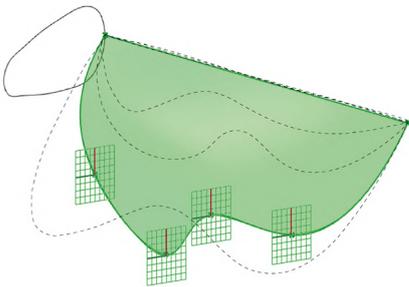
**Figura 41**

*Eje de Rotación. Fuente: Autor*



**Figura 42**

*Desplazamiento de Punto en "X" y "Y". Fuente: Autor*



En base al mecanismo de la primera fase se obtiene la trayectoria de rotación que usara el envolvente cinético. Siendo de 0.000 (el inicio de la trayectoria) y 1.000 (final de la trayectoria) el valor que se podrá desplazar.

Teniendo el eje estatico, se determino un angulo de rotacion y libertad de  $-45^{\circ}$  a  $45^{\circ}$  del envolvente cinetico.

Dada la posibilidad de crecimiento de la forma pero con la limitacion de la fachada de la Uide-Sede Loja se determino que las variables en el eje "X" tendran un minimo de 0.25 cm a 1.00 m y las variables en el eje "Y" tendran un minimo de 0.30 cm a 0.50 cm. Teniendo como resultado formas suficientemente deformadas

Figura 43

*Insertar el Componente Galápagos. Fuente: Autor*

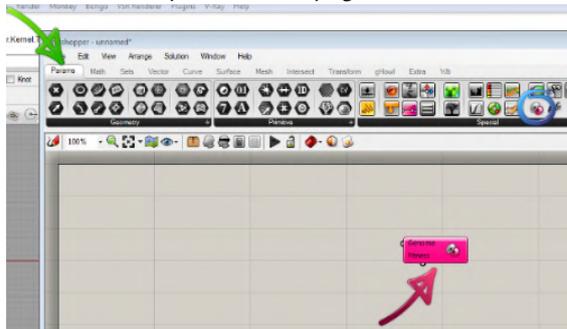
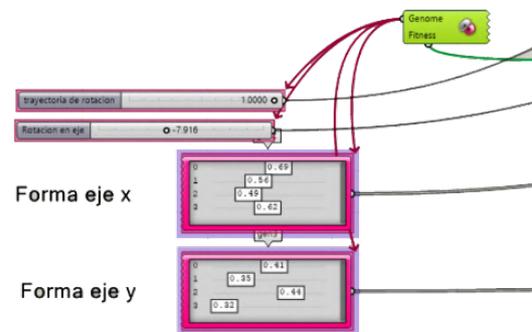


Figura 44

*Conexión de Galápagos con los Genes. Fuente: Autor*



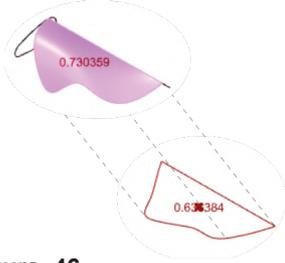
Fuente: Autor

2. Inserte el componente Galapagos: El componente Galapagos se encuentra en la pestaña “Sets” en la barra de herramientas de Grasshopper. Haga clic en él y arrástrelo al lienzo de Grasshopper (fig. 43)
3. Conecte los parámetros (Genes) al componente Galapagos: Conecte los parámetros que desea optimizar al componente Galapagos utilizando cables de entrada(fig. 44).
4. Determinar los objetivos a alcanzar: Una vez establecido los genes se deben determinar a donde se va a llegar determinando objetivos a cumplir (máximo o mínimo valor), se debe tomar en cuenta que no todos los objetivos tendrán el mismo peso a la hora de ejecutar el algoritmo. En nuestro caso tenemos 4 objetivos clave con su respectivo peso, los cuales los dividiremos en fase 2.1 y 2.2.

En la fase 2.1(Algoritmo, anexo 9) tendremos objetivos como la sombra máxima arrojada que va a tener un peso de 40% (fig. 45), el segundo es la visibilidad máxima con 40% (fig. 46) y la mínima área que equivale al 20% (fig. 47). Para el proceso final de la esta primera fase escogeremos las 11 primeras y mejores iteraciones que el algoritmo nos arroje para seguir con la segunda fase.

**Figura 45**

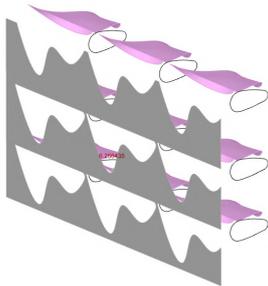
*Sombra Arrojada. Fuente: Autor*



En base al mecanismo de la primera fase se obtiene. El primer objetivo es determinar la forma con la que se obtenga la mayor sombra posible, ya que al generar mayor sombra menor radiación entra.

**Figura 46**

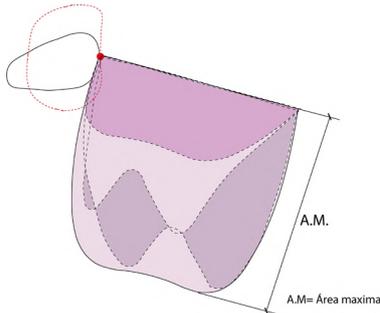
*Visibilidad Interna. Fuente: Autor*



El segundo objetivo se basa en el primero al obtener la máxima sombra posible, pero en el algoritmo en un 40% se basa en darle la mayor visibilidad posible desde el interior hacia el exterior para no requerir iluminación artificial, sino darle paso a la luz natural indirecta.

**Figura 47**

*Área Mínima Total. Fuente: Autor*



El tercer objetivo es en base al área total (con un peso de 20% en el algoritmo) donde se propondrá minimizar lo que más se pueda el área total de la forma que se busca.

Para determinar el flujo de aire se tiene conocimiento de 2 formas para desarrollarlo:

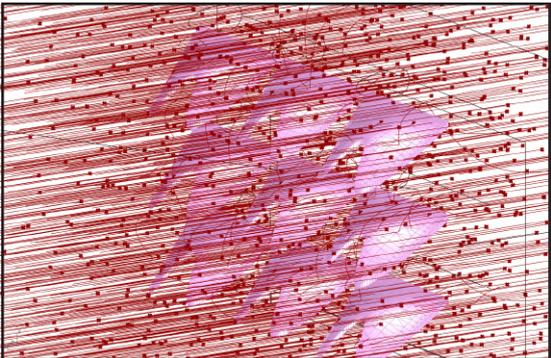
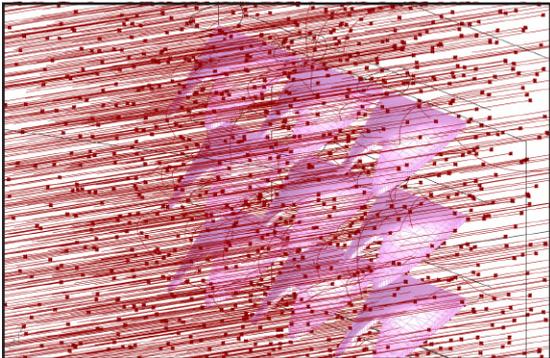
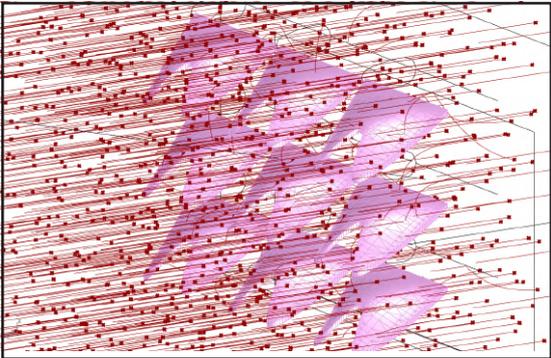
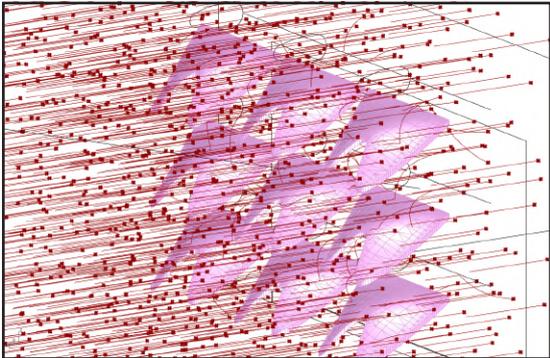
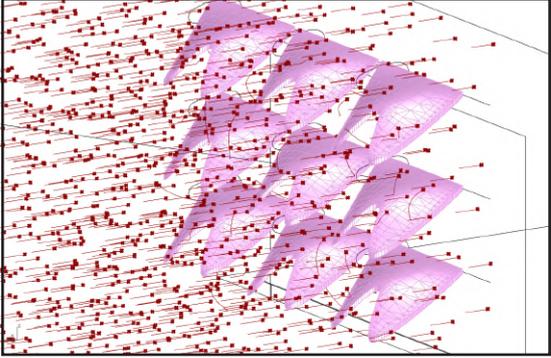
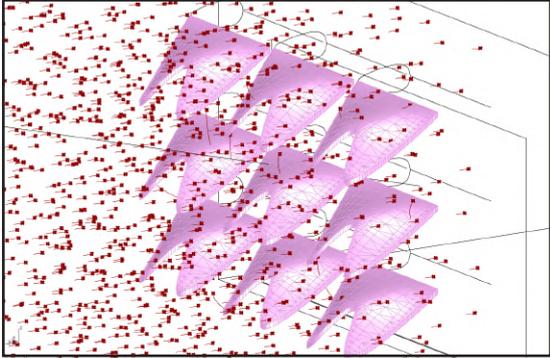
1. Es el componente Nuada.CFD, puede acceder a la dinámica de fluidos computacional (CFD) directamente en Rhino, creada por CORE Studio, esta plataforma le permite configurar fácilmente una simulación CFD utilizando su geometría de Rhino. Está diseñado específicamente para simular el flujo de viento exterior entre edificios.

2. La creación de puntos en el espacio asemejándose a partículas de aire y creando una geometría que al momento de entrar en contacto con estas partículas se desplacen en "X", "Y" y "Z" según sea el caso.

Para la 2.2 fase se tendrá el cuarto objetivo el cual es el flujo de aire en base al movimiento de trayectoria (fig. 48). Ayudará a determinar con pequeños puntos (asemejaron a partículas de aire) la forma más óptima de las 11 mejores iteraciones que nos proporcionaran en el paso anterior, determinando así la forma más óptima para puesta estructura envolvente. (Algoritmo, anexo 10)

Figura 48

Flujo de Aire. Fuente Autor



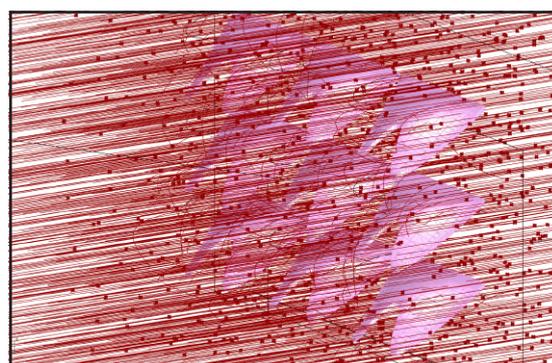
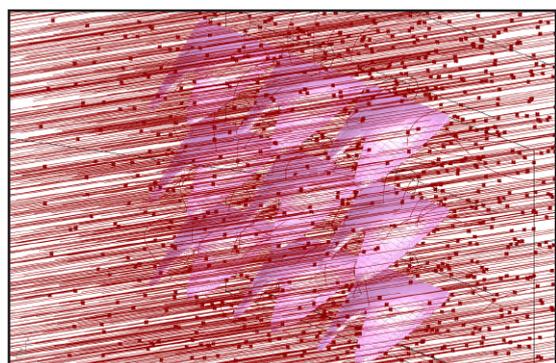
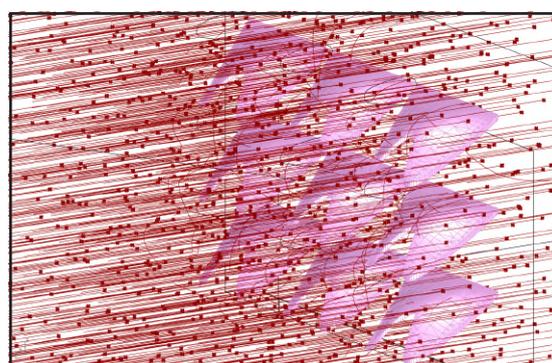
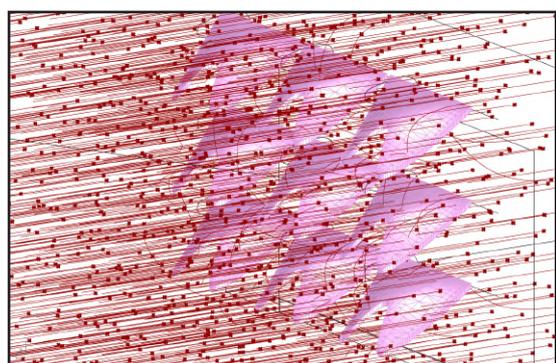
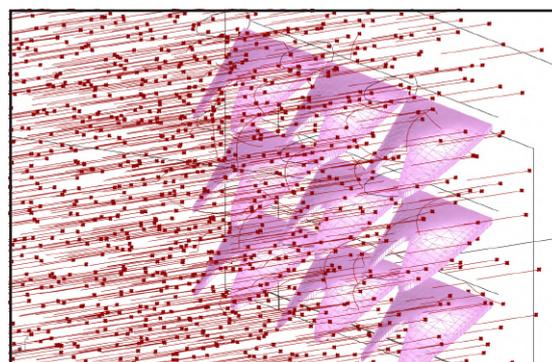
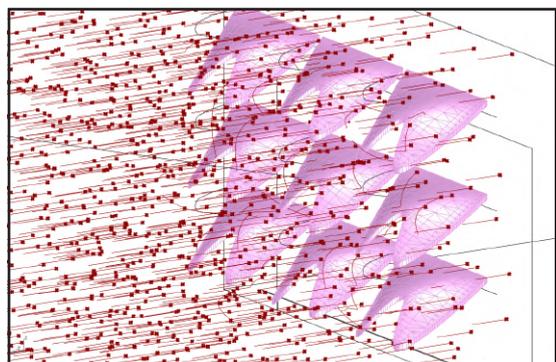


Figura 49

Galápagos Editor Opciones. Fuente: Autor

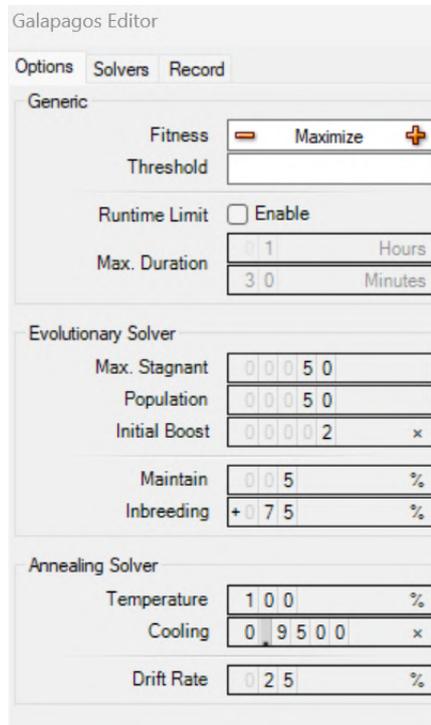
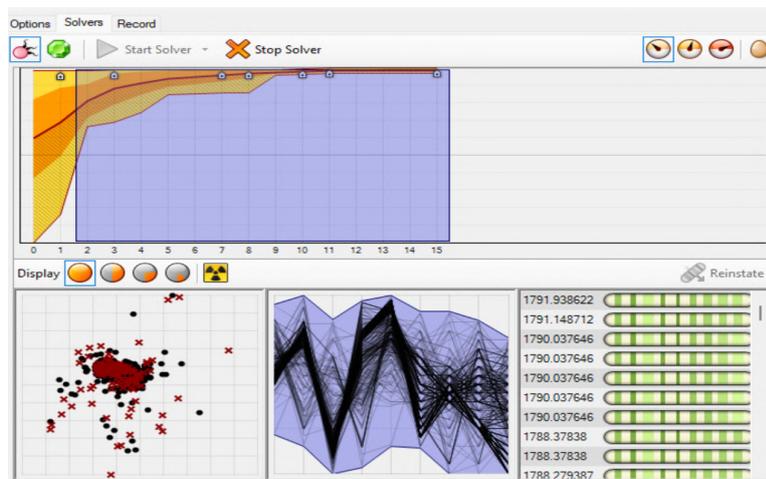


Figura 50

Galápagos Editor Soluciones. Fuente: Autor



5. Configure los parámetros de Galapagos: En el panel de propiedades del componente Galapagos (fig. 49), puede configurar los parámetros de Galapagos, como:
  - “Generations” (Generaciones): Es el número de generaciones que Galapagos utilizará para la optimización. Cuantas más generaciones, más tiempo tomará la optimización, pero también aumentará la posibilidad de encontrar una solución óptima.
  - “Population” (Población): Es el número de individuos que Galapagos generará en cada generación. Una población más grande aumentará la diversidad de soluciones pero también aumentará el tiempo de cálculo.
  - “Mutation rate” (Tasa de mutación): Es la probabilidad de que cada valor de un individuo mute en cada generación. Una tasa de mutación más alta permitirá una mayor exploración del espacio de búsqueda pero también puede aumentar la posibilidad de alejarse de soluciones óptimas.
6. Ejecute la simulación: Haga clic en el botón “Solve” (fig. 50) en el componente Galapagos para ejecutar la simulación. Galapagos ajustará automáticamente los parámetros para encontrar la solución más óptima.
7. Analice los resultados: Una vez que la simulación se haya completado, puede analizar los resultados utilizando los componentes de visualización de Grasshopper, como los gráficos y las tablas.

### **3.2.2. Forma Óptima Final mecanismo fase 2**

La forma final se obtuvo mediante la negociación de los cuatro objetivos mencionados anteriormente con sus respectivos pesos utilizando el componente Galápagos en Grasshopper. El resultado se dividió en 2 fases que son:

#### **3.2.2.1. Fase 2.1**

Para la fase 2.1 (algoritmo, anexo 9) se escogió de entre 1522 posibilidades, las 11 formas que más se adaptan a los objetivos como son: porcentaje de visibilidad, área de sobra y área mínima. La figura 50d determina los valores obtenidos (azul más alto hasta el rojo el más bajo) en base a cada forma obtenida para proseguir con la fase 2.2.

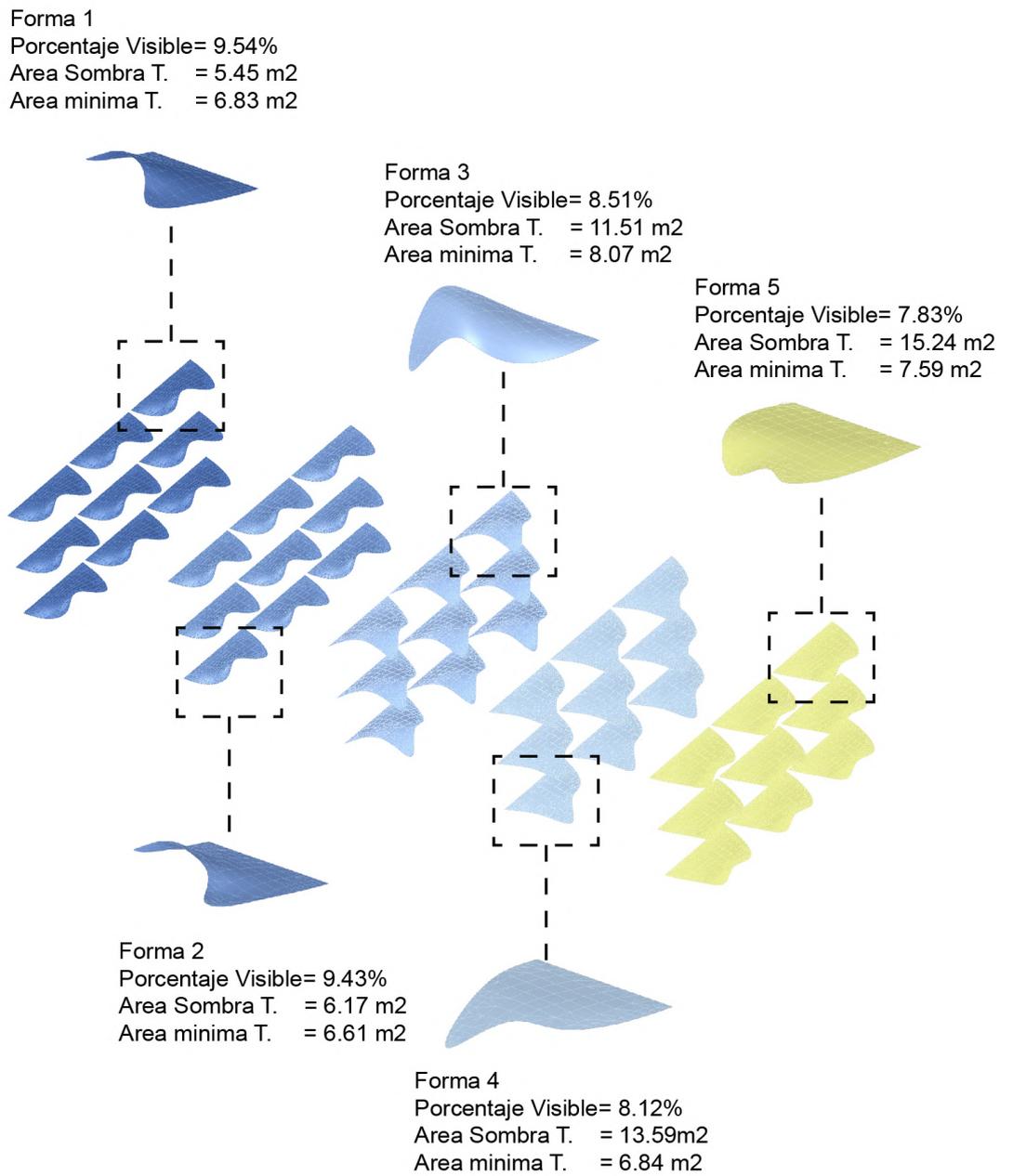
El componente Galápagos de programa de Grasshopper simuló el proceso de selección natural y evolución que ocurre en la naturaleza. Comenzamos con una población inicial de formas dando valores en eje “x” y eje “y”, cada una con diferentes características y valores explicados anteriormente. Luego, se utilizó el algoritmo evolutivo de Galápagos para generar nuevas formas a través de la reproducción y la mutación de iteraciones.

La selección natural ocurre en el componente Galápagos, donde las formas que se adaptan mejor al entorno tienen más probabilidades de sobrevivir y generar formas descendientes similares. Las formas que cumplen mejor los objetivos propuestos tienen mayor probabilidad de sobrevivir y generar descendencia.

A medida que continúa el proceso evolutivo en Grasshopper, la población de las formas se vuelve más diversa y se acerca cada vez más a la forma consensuada con los objetivos. Finalmente, se acabó escogiendo de entre 2523 formas y 28 generaciones las 11 formas más adaptadas a los objetivos para continuar la siguiente fase. (Fig. 51)

**Figura 51**

*Formas finales de la fase 2.1. Fuente: Autor*



Forma 7  
Porcentaje Visible= 7.60%  
Area Sombra T. = 15.78 m2  
Area minima T. = 8.13 m2

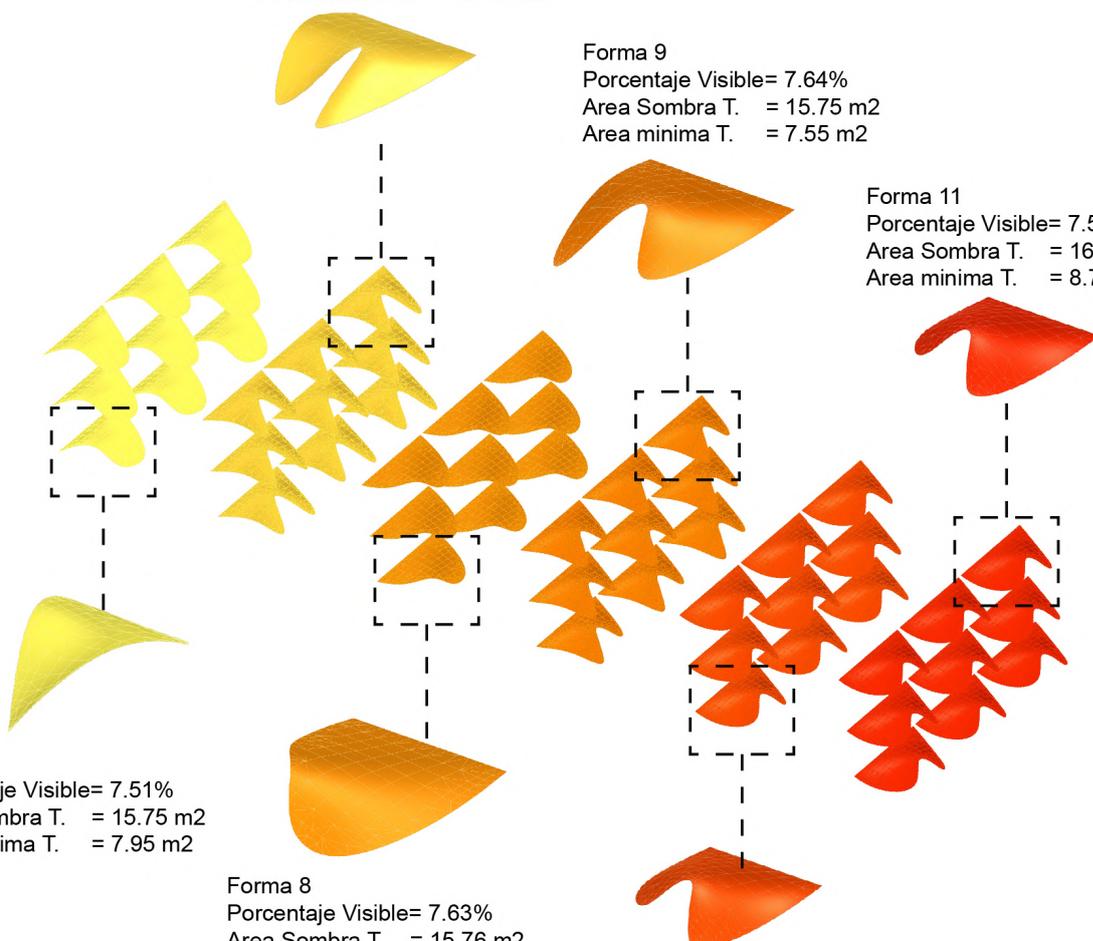
Forma 9  
Porcentaje Visible= 7.64%  
Area Sombra T. = 15.75 m2  
Area minima T. = 7.55 m2

Forma 11  
Porcentaje Visible= 7.56%  
Area Sombra T. = 16.61 m2  
Area minima T. = 8.77 m2

Forma 6  
Porcentaje Visible= 7.51%  
Area Sombra T. = 15.75 m2  
Area minima T. = 7.95 m2

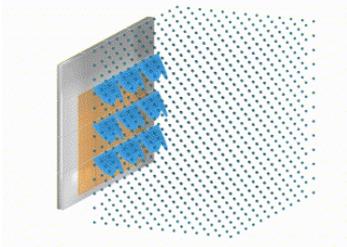
Forma 8  
Porcentaje Visible= 7.63%  
Area Sombra T. = 15.76 m2  
Area minima T. = 7.86 m2

Forma 10  
Porcentaje Visible= 7.56%  
Area Sombra T. = 16.61 m2  
Area minima T. = 8.77 m2



**Figura 52**

*Forma 1. Fuente: Autor*



Evaluación en base al flujo de aire - Forma 1

Prueba 1 = 0.058679 %

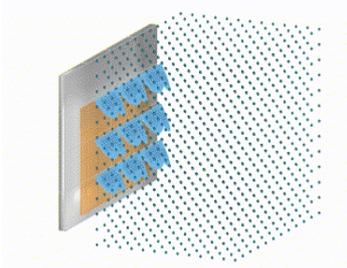
Prueba 2 = 0.055721 %

Prueba 3 = 0.057692 %



**Figura 53**

*Forma 2. Fuente: Autor*



Evaluación en base al flujo de aire - Forma 2

Prueba 1 = 0.060158 %

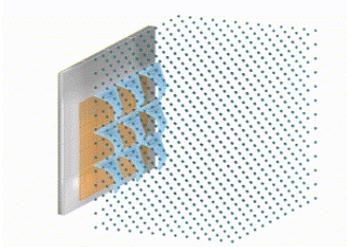
Prueba 2 = 0.060158 %

Prueba 3 = 0.053254 %



**Figura 54**

*Forma 3. Fuente: Autor*



Evaluación en base al flujo de aire - Forma 3

Prueba 1 = 0.057199 %

Prueba 2 = 0.054241 %

Prueba 3 = 0.052268 %



### 3.2.2.2. Fase 2.2

La fase 2.2 tiene como objetivo determinar cuál es una de las formas más óptima en base a la simulación del objetivo que es el flujo de aire. Para lograr esto, se utilizó el software Grasshopper y se creó una malla de puntos que representan las partículas de aire en movimiento.

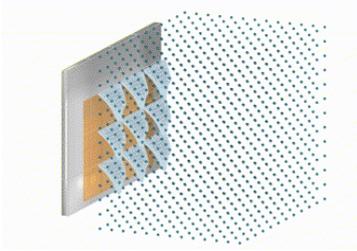
Estas partículas no son estáticas y se evaluó las formas en base a 3 vueltas completas de la trayectoria que se definió entre 2 ejes con sus respectivos engranajes que anteriormente en el apartado 3.1.2 se explico. La forma que pueda dirigir la mayor cantidad de partículas de aire a través de un vano determinado, será considerada la forma más óptima para el flujo de aire.

Durante el proceso de prueba, se sometieron las 11 formas obtenidas en la fase 2.1 (algoritmo, anexo 10) para determinar cuál es la que mejor se adapta a este objetivo en términos de dirección del flujo de aire. Se realizó 3 veces la prueba por cada una de las formas y se registraron los resultados para su posterior análisis.

Una vez finalizada la prueba, se compararon los resultados y se determinó la forma que permitió el flujo de aire más efectivo. Esta forma se considera la que mejor se adaptó a los objetivos en términos de flujo de aire, área mínima, máxima sobra y máxima visibilidad, la cual se utilizará para la el mecanismo de estructura envolvente para el edificio de la UIDE-Sede Loja.

**Figura 55**

*Forma 4. Fuente: Autor*



Evaluación en base al flujo de aire - Forma 4

Prueba 1 = 0.054734 %

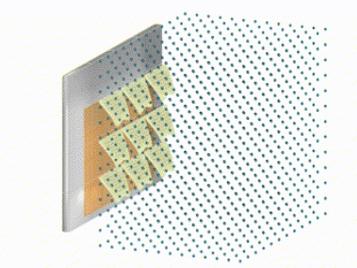
Prueba 2 = 0.056706 %

Prueba 3 = 0.051775 %



**Figura 56**

*Forma 5. Fuente: Autor*



Evaluación en base al flujo de aire - Forma 5

Prueba 1 = 0.056213 %

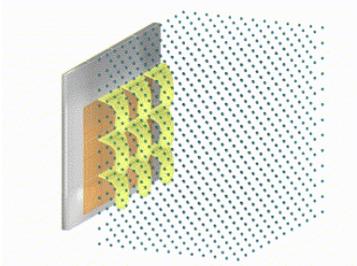
Prueba 2 = 0.049803 %

Prueba 3 = 0.04931 %



**Figura 57**

*Forma 6. Fuente: Autor*



Evaluación en base al flujo de aire - Forma 6

Prueba 1 = 0.061144 %

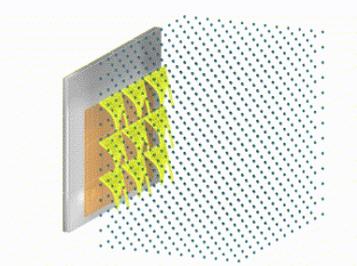
Prueba 2 = 0.058679 %

Prueba 3 = 0.061637 %



**Figura 58**

*Forma 7. Fuente: Autor*



Evaluación en base al flujo de aire - Forma 7

Prueba 1 = 0.057692 %

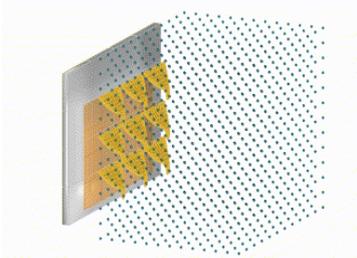
Prueba 2 = 0.052268 %

Prueba 3 = 0.051775 %



**Figura 59**

*Forma 8. Fuente: Autor*



Evaluación en base al flujo de aire - Forma 8

Prueba 1 = 0.052268 %

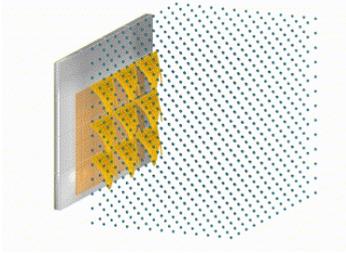
Prueba 2 = 0.050296 %

Prueba 3 = 0.046351 %



**Figura 60**

*Forma 9. Fuente: Autor*



Evaluación en base al flujo de aire - Forma 9

Prueba 1 = 0.057692 %

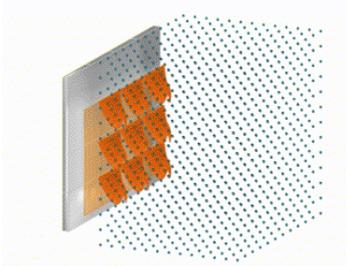
Prueba 2 = 0.05613 %

Prueba 3 = 0.051775 %



**Figura 61**

*Forma 10. Fuente: Autor*



Evaluación en base al flujo de aire - Forma 10

Prueba 1 = 0.056706 %

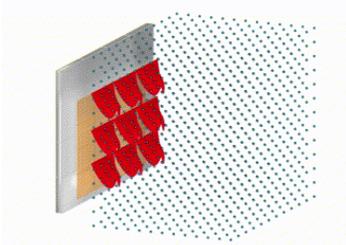
Prueba 2 = 0.050789 %

Prueba 3 = 0.050296 %



**Figura 62**

*Forma 11. Fuente: Autor*



Evaluación en base al flujo de aire - Forma 11

Prueba 1 = 0.054241 %

Prueba 2 = 0.054241 %

Prueba 3 = 0.051775 %



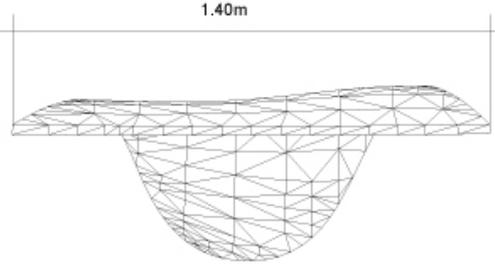
Luego de realizar diversas evaluaciones para determinar la forma más óptima en cuanto al flujo de aire, se compararon los resultados obtenidos y resultado que la forma 6 es la que obtuvo el puntaje más alto, obteniendo un porcentaje de 0.060487. (fig. 63)

Esta forma logró dirigir la mayor cantidad de partículas de aire a través del vano con una trayectoria específica de tres vueltas previamente diseñada, lo que lleva a la conclusión de que es la que mejor se adapta en términos de dirección del flujo de aire y forma. Este hallazgo es relevante, ya que permitirá incorporar una la forma más viable para el mejor desarrollo posible de la estructura envolvente.

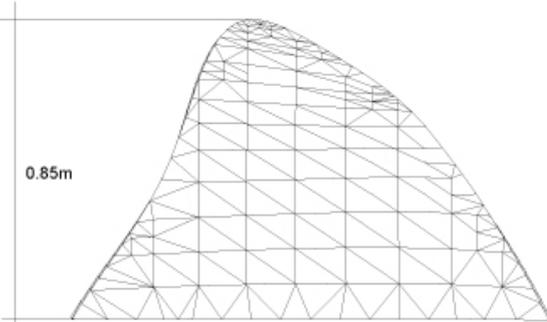
Aunque en un principio no se conocía la forma final que tendría la envolvente cinética, el tomar como referencia la regulación de temperatura de la colmena de la Apis mellifera es un primer paso en esta investigación donde el tema relativamente nuevo. Espero que los lectores se sientan motivados a emular y realizar pruebas con más organismos vivos para seguir explorando y desarrollando este campo.

**Figura 63**

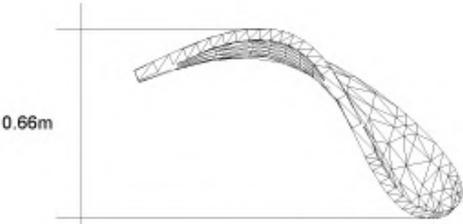
*Forma de Ala Óptima para la Estructura Envolvente. Fuente: Autor*



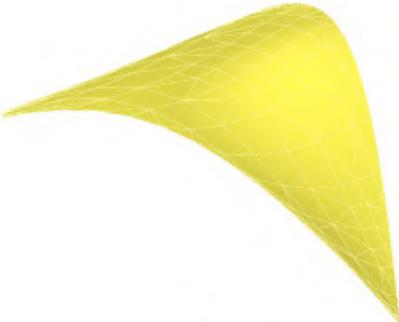
**Elevacion Frontal**



**Vista de Planta**



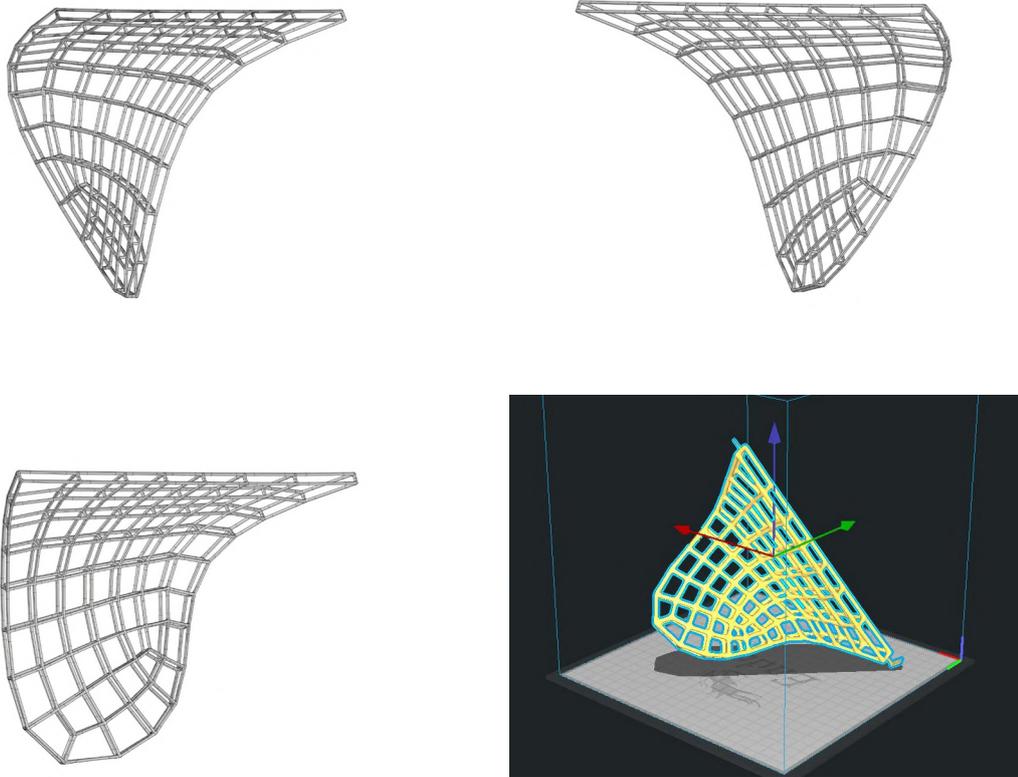
**Elevacion Lateral**



**Perspectiva**

**Figura 64**

*Estructura de Ala Óptima para Envolverte. Fuente: Autor*



Fuente: Autor

### **3.2.3. Diseño de mecanismo para estructura envolvente Fase 2**

#### **3.2.3.1. Fabricación de la estructura en base a la forma óptima**

Para crear la estructura envolvente en Grashopper , se utilizaron varios componentes. Uno de ellos es el componente Quad Mesh, que permite crear una malla cuadriculada más simple a partir de la superficie. Luego, se puede utilizar el componente Offset Mesh para crear una malla desplazada a partir de la malla original. Finalmente, se puede utilizar el componente MultiPipe para crear una estructura tubular a partir de las curvas generadas por la malla desplazada.

Se utilizó una configuración de Altura De Capa: 0.2 Mm, Velocidad: 50mm/s, Relleno: 10%, Soporte: Tipo Árbol Desde Los 60°, Adherencia A La Placa: Tipo Árbol, Temperatura De Impresión: 200°C, Temperatura De La Cama: 60°C

Una vez finalizado el proceso se obtuvo la forma final presentada en la figura 64. El tiempo de impresión de esta pieza fue de 18 horas y se usó 69 gramos de material PLA.

**Tabla 2**

*Tabla de Beaufort. Fuente: Soler & Palau Sistemas de ventilacion, 2006.*

<b>Escala de Beaufort</b>	<b>Nombre de Viento</b>	<b>Velocidad m/s</b>	<b>Km/h</b>
0	Calma	0.5	2
0	Calma	0.5	2
1	Aire ligero	1.5	5
2	Brisa ligera	3	11
3	Brisa suave	6	22

### **3.2.4. Los efectos y la velocidad del aire**

La capa de aire que rodea la Tierra no es una masa estática de gases, sino una capa delgada y fluida que se mueve con intensidad variable debido a grandes diferencias de temperatura. El movimiento masivo de grandes volúmenes de aire con una velocidad y dirección común se conoce como viento (Soler & Palau Sistemas de ventilacion, 2006). Las alteraciones desordenadas y continuas en la posición relativa y velocidad de las masas parciales de aire en movimiento se conocen como turbulencia y la falta de viento cerca del suelo o la superficie del mar se conoce como calma.

Según Soler & Paule Sistemas de ventilación (2006) afirma que “La fuerza del viento viene determinada por la velocidad del mismo”.

La Escala de Beaufort clasifica los vientos según su intensidad y los representa en una tabla con sus respectivas velocidades que nos brinda la marca de soler & Palau en la tabla 2

**Tabla 3**

*Tabla de Beaufort. Soler & Palau Sistemas de ventilacion, 2006.*

<b>Velocidad de aire sobre las personas</b>	<b>Sensación de que la temperatura ambiente ha disminuido en :</b>
0.1 m/s	0°C
0.3 m/s	1°C
0.7 m/s	2°C
1 m/s	3°C
1.6 m/s	4°C

### **3.2.5. Efectos del viento en el cuerpo humano**

Es bien sabido que cuando el aire se mueve sobre la piel desnuda de una persona, se produce una sensación de frescor, incluso si el aire tiene la misma temperatura que cuando estaba en reposo. La velocidad del aire que renueva un espacio rara vez puede producir esta sensación de frescor, por lo que se justifica el uso de ventiladores. Estos dispositivos están diseñados para crear movimientos de aire utilizando el aire existente dentro de un espacio, independientemente del aire de renovación del ambiente, este mismo principio es el que se lo va a usar para la estructura de envolvente cinético anteriormente expuesta con la rotación y trayectoria extraída de la abeja melífera.

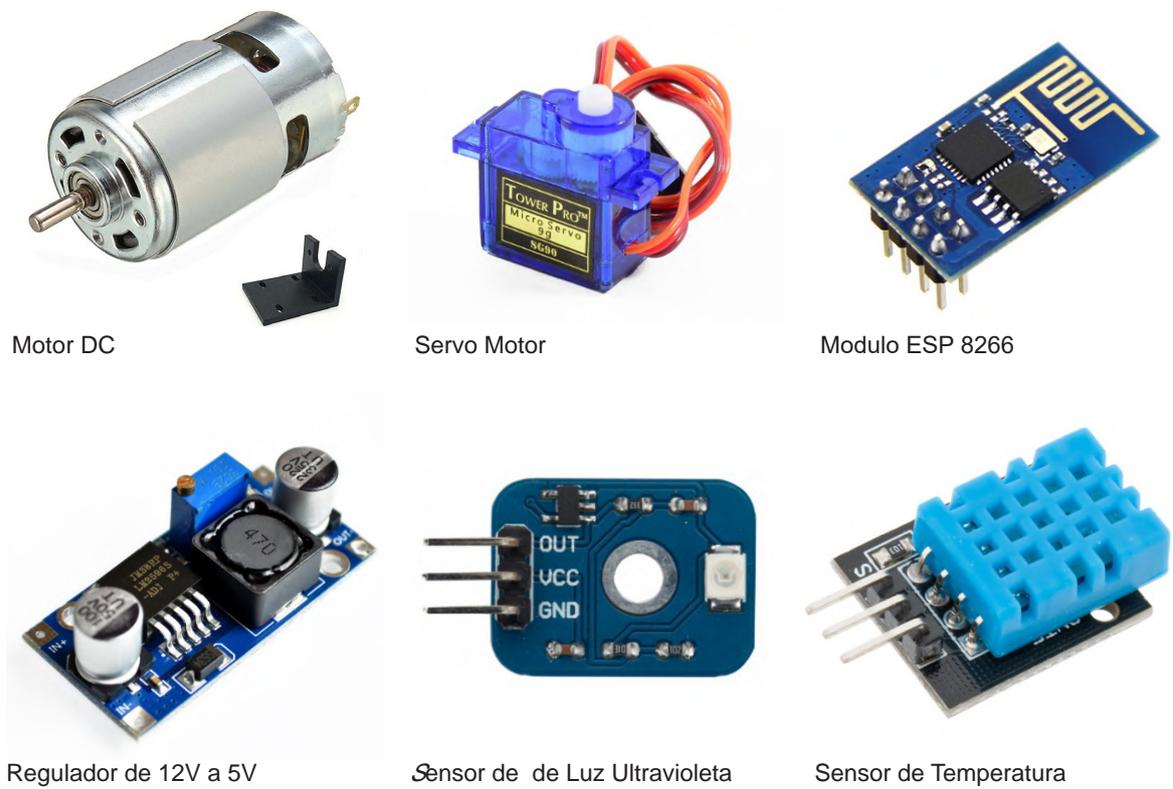
Según Soler & Palau marca reconocida en soluciones de ventilación eficientes (2006) afirma que:

“En un espacio con personas normalmente vestidas, en reposo u ocupadas en una actividad ligera y con una temperatura entre 20 y 25 °C, un movimiento de aire a una velocidad comprendida de 0,5 a 1 m/s les proporciona una sensación de frescor confortable, pero si se trata de personas dedicadas a una actividad dura, con gran esfuerzo muscular, esta sensación de alivio no se producirá hasta que se alcance una velocidad de aire, sobre las personas de 1,3 a 2,5 m/s. Sobrepasar esta velocidad provoca más bien una sensación molesta que de alivio y por tanto debe evitarse”.  
(Soler & Palau, 2006)

En este punto se toma a consideración la tabla propuesta de Soler & Paule que se basa en numerosos ensayos con un gran número de personas, estableciendo una escala teniendo en cuenta que para velocidades de aire bajas se consideró a personas vestidas normalmente y con temperaturas alrededor de los 20's°C.

**Figura 65**

*Componentes para el Prototipo de Estructura Envoltente. Fuente: google imagenes [Fotografías].*



### **3.2.6. Fabricación del diseño de estructura envolvente con la ayuda de automatización en Arduino**

La fabricación de un diseño de estructura envolvente con la ayuda de automatización en Arduino (Módulo ESP 8266) es posible mediante el uso de controladores y sensores conectados a una placa. Arduino es una plataforma de desarrollo de software y hardware libre que permite a los desarrolladores crear proyectos de automatización y control.

Para controlar el movimiento de la cadena con una rotación de 360° y el movimiento de la estructura similar al ala de una abeja con una rotación de 0-90° desde una aplicación web se requiere los siguientes materiales (fig. 65):

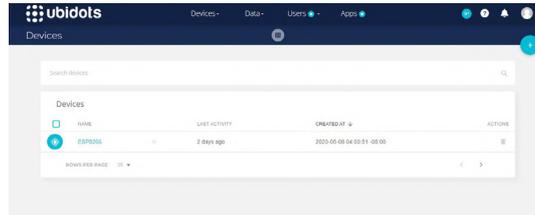
Motor DC - Servo motor - Fuente de 12 V - Módulo ESP 8266 - Regulador de 12V a 5V - Sensor de temperatura DHT 11 - Sensor de luz ultravioleta.(Ver anexo 26)

Para programar la tarjeta electronica se utilizo el software arduino. (Ver anexo 27-28)

La aplicación permitirá mostrar al usuario las variables de temperatura y el nivel de radiación solar presentes en el ambiente en tiempo real. Además, permitirá controlar la velocidad del giro de rotación de la cadena y el movimiento entre 0° a 90° del servo motor. Cabe recalcar que el movimiento es mediante la intervención y requerimientos dados por el usuario en ese instante y las variables que se muestran son informativas.

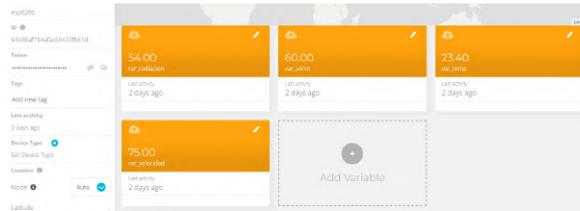
**Figura 66**

*Registro de un nuevo dispositivo en Ubidots. Fuente: Autor*



**Figura 67**

*Variables creadas en Ubidots. Fuente: Autor*



**Figura 68**

*Diseño final de la aplicación web. Fuente: Autor*



## Aplicación Web

La aplicación web se realizó en Ubidots. Una vez creada la cuenta se realiza los siguientes pasos:

1. Registrar un nuevo dispositivo y colocar un nombre lo permita identificar fácilmente (fig. 66)
2. Se ingresa al dispositivo registrado y se crean las variables para la temperatura, radiación UV, control de velocidad del motor y control del servo motor (fig. 67)
3. En la pestaña de Dashboards se añada los widgets de acuerdo a las variables que van a representar y controlar. Por ejemplo, para la temperatura se escoge el widget de un termómetro y se le asigna la variable “var\_temp”, para el control de velocidad se escoge la slider y se le asigna la variable “var\_velocidad” y así sucesivamente se agrega un widget apropiado para representar o controlar las variables anteriormente detalladas.

### Programa ESP 8266 (fig 68)

El programa que se carga en la tarjeta ESP8266 realiza lo siguiente: se conecta a una red wifi para poder enviar los datos de temperatura y radiación solar a la página de Ubidots, donde se encuentra creada la aplicación. Luego del envío de las variables anteriormente mencionadas el programa recibe los valores de las variables control de velocidad y control del servo motor enviadas desde la aplicación de Ubidots hacia el dispositivo ESP8266. En base a los valores recibidos tanto para el control de velocidad como el control del servo motor, el dispositivo permitirá controlar el motor DC haciendo que gire a la velocidad que el usuario desde la aplicación le orden al igual que el movimiento del servo motor.

### 3.3. Coeficientes de modelado de materiales ligeros

La elección de los materiales debe ser de acuerdo a su ligereza, maleabilidad y comercialización para facilitar la obtención de los mismos. La elección de material ligero se basó en la comercialidad de ellos entre los materiales ligeros más comerciales para la envolvente de fachada se encuentran el policarbonato macizo, paneles de acrílico, Madefibra, copolímero de etileno-tetrafluoretileno (EFTE).

En primer lugar, estos materiales ligeros suelen ser más económicos en comparación con otras opciones, lo que puede ser atractivo para proyectos. Además, su peso reducido facilita su transporte, manejo e instalación, lo que puede resultar en un proceso de construcción más eficiente y rápido.

En segundo lugar, estos materiales suelen tener una apariencia estética atractiva, lo que permite crear diseños contemporáneos en la fachada del edificio. El policarbonato, EFTE y acrílico, por ejemplo, pueden ofrecer una apariencia transparente y ligera, mientras que la Madefibra puede proporcionar un aspecto cálido y natural. Y tercer lugar, su mantenimiento suele ser más sencillo y económico, además de que son materiales moldeables para acoplarlos de una manera más óptima a la forma de la envolvente.

En esta investigación, se seleccionó una muestra limitada de materiales para su análisis. Sin embargo, se anima a otros investigadores a explorar y probar más materiales en el futuro. Para hacerlo, simplemente deben buscar los coeficientes necesarios para simularlos, los cuales pueden variar dependiendo del tipo de material y del motor de renderizado que estés utilizando, en nuestro caso es honey bee. A continuación, se mencionan los coeficientes que se utilizó en Grashopper para modelar materiales:

*Name:* Este input te permite asignar un nombre único a tu material opaco para que puedas identificarlo y utilizarlo en otros componentes de Honeybee.

*Thickness:* Este input te permite especificar el espesor de tu material. El espesor puede afectar la resistencia y el rendimiento térmico del material.

*Conductivity:* Este input te permite especificar la conductividad térmica de tu material. La conductividad térmica es una medida de la capacidad del material para conducir el calor. Un valor alto de conductividad térmica indica que el material transfiere el calor rápidamente, mientras que un valor bajo indica que el material es un buen aislante térmico.

*Density:* Este input te permite especificar la densidad de tu material. La densidad es una medida de cuánta masa hay en un volumen dado del material. Un valor alto de densidad indica que el material es pesado para su tamaño, mientras que un valor bajo indica que el material es ligero para su tamaño.

*Roughness:* En Honeybee, la rugosidad de la superficie se puede especificar utilizando los parámetros very rough-medium rough-rough o very smooth-medium smooth-smooth. En general, el valor de rugosidad de la superficie se mide en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) o en milímetros (mm).

*Specific Heat:* Este input te permite especificar la capacidad calorífica específica de tu material. La capacidad calorífica específica es una medida de cuánta energía se necesita para elevar la temperatura de una cantidad dada del material en 1 grado Kelvin. Un valor alto de capacidad calorífica específica indica que el material puede almacenar una gran cantidad de energía térmica, mientras que un valor bajo indica que el material se calienta y se enfría rápidamente.

*Sol Absp:* Este input te permite especificar la absorción de radiación solar por el material. La absorción solar es una medida de cuánta radiación solar es absorbida por el material.

*Vis Absp:* Este input te permite especificar la absorción de luz visible por el material. La absorción visible es una medida de cuánta luz visible es absorbida por el material.

### 3.3.1. Panel de policarbonato Macizo

Los paneles de policarbonato son una opción popular para una variedad de aplicaciones de construcción debido a sus propiedades únicas. Estos paneles son ligeros, resistentes al impacto y tienen una excelente transmisión de luz. Además, los paneles de policarbonato tienen propiedades térmicas y ópticas que los hacen ideales para su uso en techos, claraboyas o en nuestro caso envolvente de fachadas.

Para determinar los coeficientes en el modelado de Grasshopper se utilizó información de Techno exper-texpro (s.f.), Home depot (s.f.), POLYRYSE(s.f.) y M. Gea, B. Sánchez, P. Mendoza, y L. Saravia.(s.f.)

<b>Name</b>	Panel de policarbonato Macizo
<b>Thickness</b>	6 mm
<b>Conductivity</b>	5.0 w/mk
<b>Density</b>	1200 kg/m <sup>3</sup>
<b>Specific Heat:</b>	423.15 J/Kg-K
<b>Roughness</b>	Smooth
<b>Sol Absp</b>	0.4%
<b>Vis Absp</b>	0.4%

### 3.3.2. Panel de acrílico

Los paneles de acrílico tienen varias ventajas que los hacen populares en una amplia variedad de aplicaciones. Son transparentes y permiten el paso de la luz, lo que los hace ideales para su uso en ventanas, claraboyas y otras aplicaciones donde se requiere transparencia. También son resistentes a la intemperie y no se vuelven amarillos ni se vuelven frágiles con el tiempo, lo que los hace duraderos y fiables. Además, son más ligeros y resistentes al impacto, lo que los hace más fáciles de manejar.

Para determinar los coeficientes en el modelado de Grasshopper se utilizó información de HYDROSI-GHT (2009), ACRILICOS S.A. (s.f.) y Wieloch, Marcin, & J, (2004).

<b>Name</b>	Panel de Acrílico
<b>Thickness</b>	1.5mm
<b>Conductivity</b>	0.19 w/mk
<b>Density</b>	1190 kg/m <sup>3</sup>
<b>Roughness</b>	Rough
<b>Specific Heat:</b>	1464.4 J/Kg-K
<b>Sol Absp</b>	0.96%
<b>Vis Absp</b>	0.96%

### 3.3.3. Panel de Madefibra

Los paneles madera son un material de construcción muy versátil debido a su capacidad para ser trabajada en una variedad de formas y formatos a un costo menor que otros materiales. Las fachadas de madera pueden ser instaladas utilizando diferentes técnicas, cada una con sus propias características. La madera es 100% reciclable y ecológica, y actúa como un aislante térmico y acústico natural. Su apariencia natural se adapta a cualquier estilo arquitectónico o decorativo y se puede combinar fácilmente con otros materiales como el vidrio, el hormigón o la piedra. Además, permite reparaciones sencillas y sustitución de piezas.

<b>Name</b>	Panel de Madefibra
<b>Thickness</b>	9mm
<b>Conductivity</b>	0.18 w/mk
<b>Density</b>	800 kg/m <sup>3</sup>
<b>Roughness</b>	Smooth
<b>Specific Heat:</b>	300 J/Kg-K
<b>Sol Absp</b>	0.85%
<b>Vis Absp</b>	0.85%

### 3.3.4. Panel de EFTE

El uso de EFTE (Etileno TetraFluoroEtileno) en fachadas es significativo ya que este material es una opción ecológica al vidrio en la construcción de edificios. El EFTE es un material duradero y resistente tanto química como mecánicamente. Además, puede soportar 400 veces su propio peso y no se decolora. El EFTE también es un material muy ligero que es ideal para cubrir grandes áreas y es una buena alternativa al vidrio en edificios debido a su menor peso. Su instalación en fachadas y cubiertas de edificios requiere un sistema de fijación.

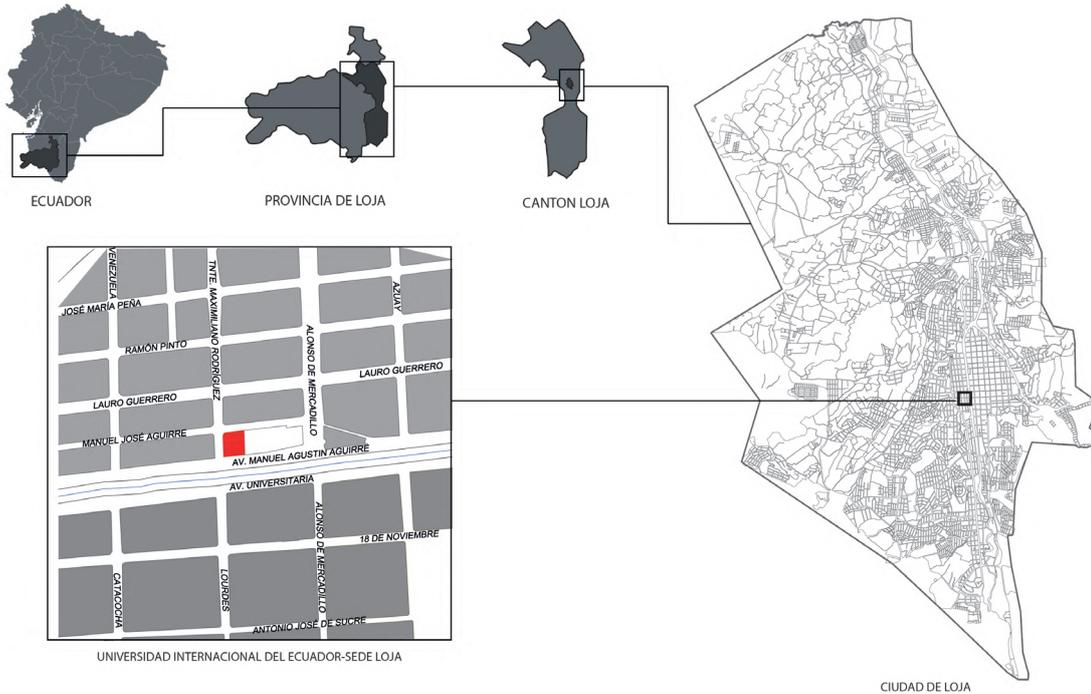
Para determinar los coeficientes en el modelado de Grasshopper se utilizó información de (Tectonica, s.f.) y (Plásticos, 2013)

<b>Name</b>	Panel de EFTE
<b>Thickness</b>	35 mm
<b>Conductivity</b>	0.24 w/mk
<b>Density</b>	1700 kg/m <sup>3</sup>
<b>Roughness</b>	Very Smooth
<b>Specific Heat:</b>	1950 J/Kg-K
<b>Sol Absp</b>	0.97%
<b>Vis Absp</b>	0.97%

## CAPITULO IV. PRE EVALUACIÓN Y POST EVALUACIÓN DE LAS AULAS DE LA UIDE-SEDE LOJA

Figura 69

Ubicación de la Universidad Internacional del Ecuador -Sede Loja. Fuente: Autor



### 4.0. Caso de estudio UIDE-Sede Loja, Ubicación

El caso de estudio está ubicado en Ecuador, provincia de Loja, ciudad de Loja, en las calles Manuel José Aguirre entre Tnte. Maximiliano Aguirre y Mercadillo. Esta situada en el sur de Ecuador, en la región montañosa de la cordillera de los Andes. Compartiendo fronteras con las provincias de Zamora-Chinchipe y otros cantones de la provincia de Loja.

Se encuentra a 2060 metros sobre el nivel del mar y tiene un clima andino suave, la ciudad tiene una diversa tradición en las artes y por esta razón es conocida como la Capital Musical y Cultural de Ecuador. Es el hogar de dos importantes universidades y tiene una población de alrededor de 170.280 habitantes pertenecen al área urbana habitantes (fig. 68)

El "Informe Climático de la Región Andina del Ecuador" elaborado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) destaca que Loja presenta una amplitud térmica diaria y anual moderada, con temperaturas máximas que oscilan entre 20°C y 28°C durante el día, y temperaturas mínimas que pueden descender hasta 5°C o 10°C durante la noche.

**Figura 70**

*Corte de Franja de Trabajo. Fuente: Autor*



Se eligió la Universidad Internacional del Ecuador-Sede Loja por la experiencia personal brindada durante 5 años cursando el pregrado de arquitectura en el Edificio, donde se determinó el problema de confort térmico y visual que presenta las aulas que están ubicadas en la parte posterior del mismo. El mal emplazamiento u orientación es la causa de que la radiación de  $171.40 \text{ kW/m}^2$  incida directamente a la fachada oeste, lo que provoca un alza en las temperaturas que oscilan entre  $23^\circ$  a  $27.41^\circ\text{C}$  y la incomodidad por no tener las condiciones adecuadas de un centro educativo universitario, lo cual requiere una solución eficiente.

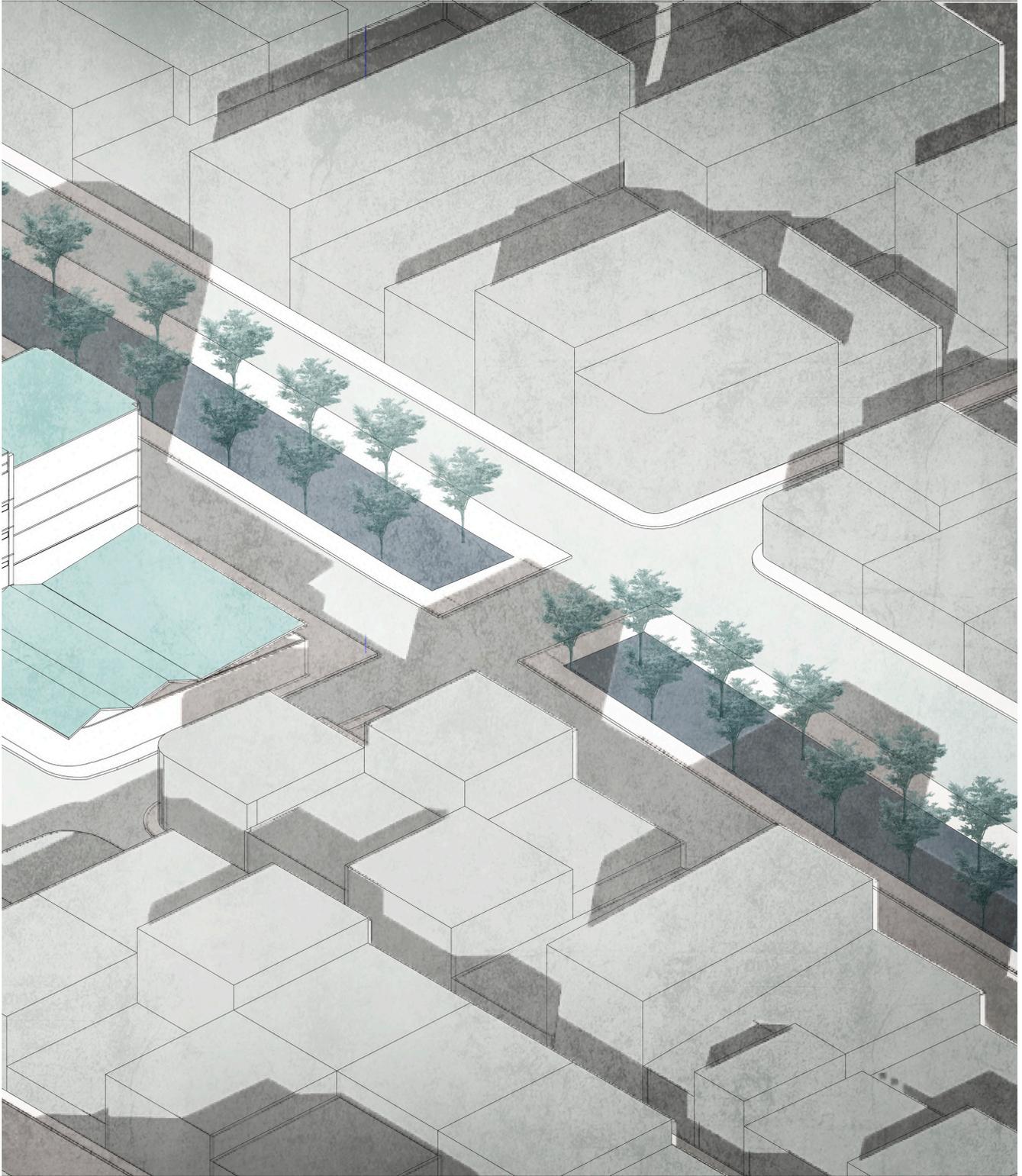
Para ello se determinó el área de trabajo (fig. 69) en el corte arquitectónico donde se puede observar el espacio y se ubicarán las envolventes cinéticas. Este espacio estaría equipado con herramientas y tecnología necesarias para el trabajo en envolventes cinéticas y estaría diseñado de acuerdo con las normativas de la ciudad en términos accesibilidad y eficiencia energética. El área de trabajo estaría ubicada en una parte posterior del edificio que permita la protección de la radiación incidente y la visualización del interior hacia el exterior del edificio.

A continuación, se presentará el emplazamiento, cortes perspectivo y plantas arquitectónicas del Edificio para su mayor entendimiento.

**Figura 71**

*Emplazamiento UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*

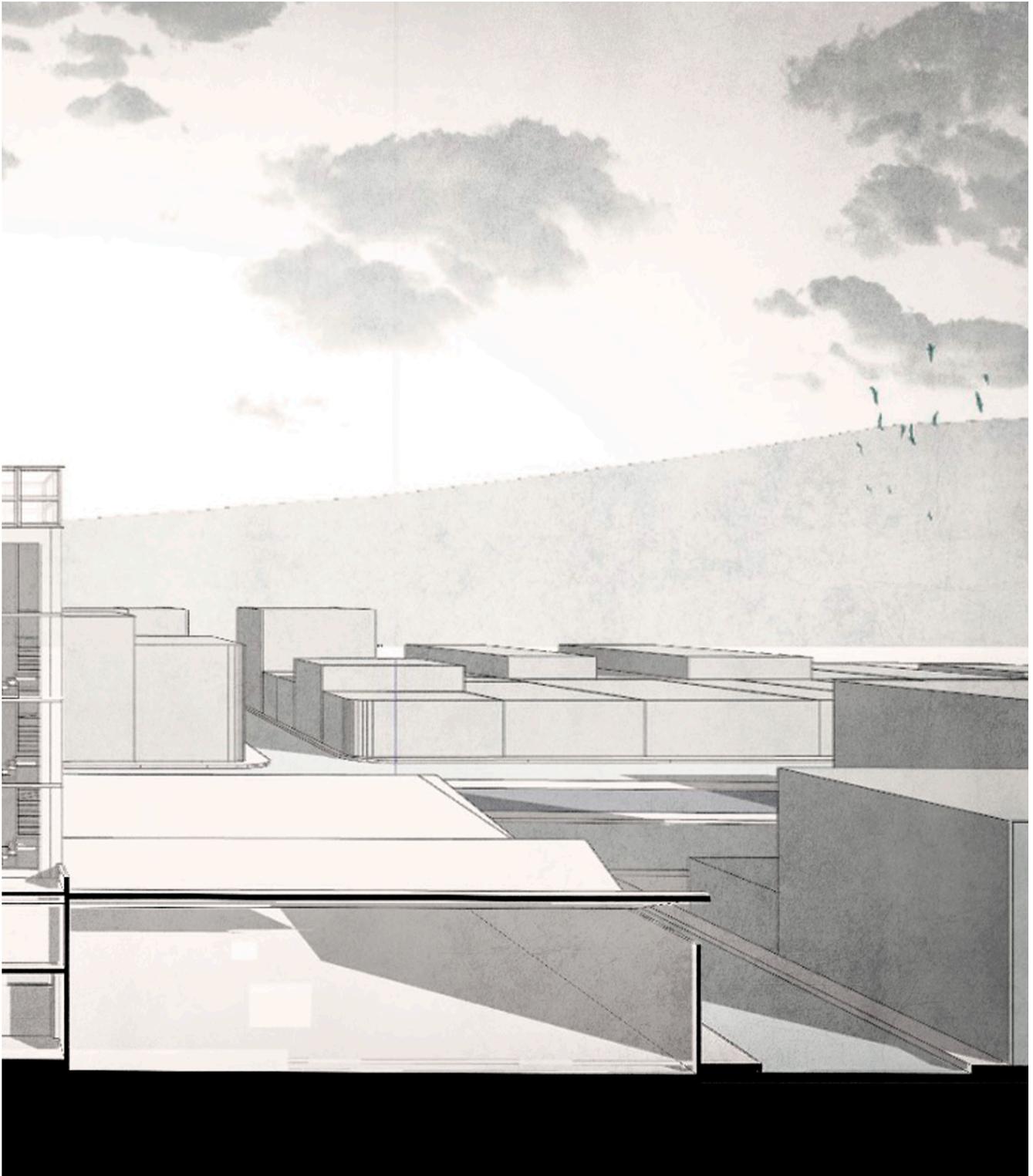




**Figura 72**

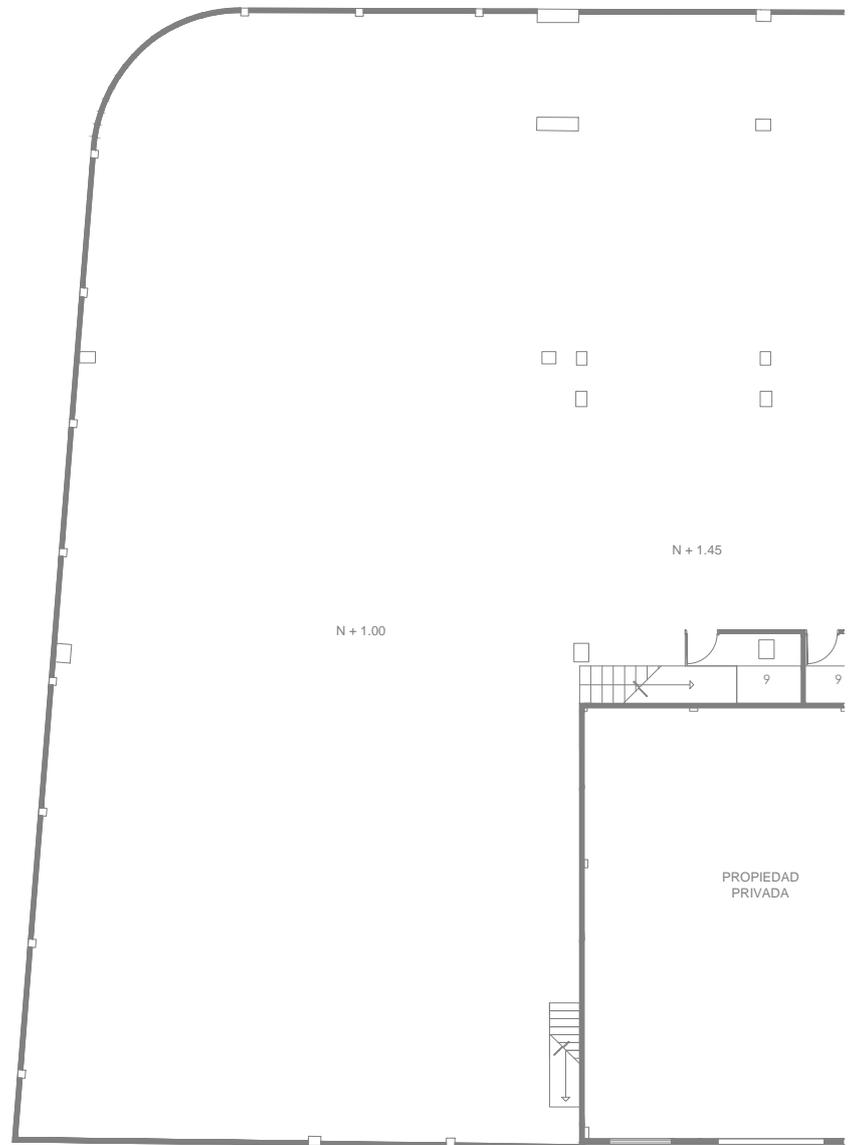
*Corte Perspectivo del Edificio de la UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*





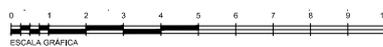
**Figura 73**

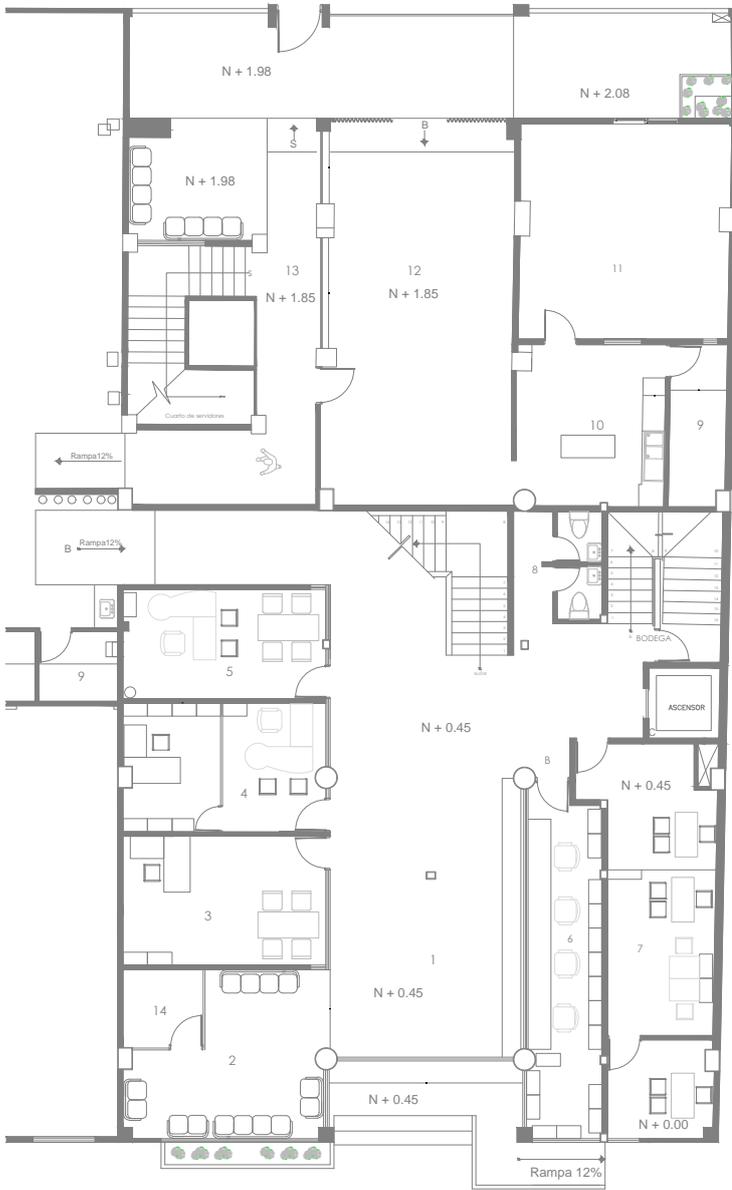
*Planta Baja del Edificio de la UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*



DATOS DE AREAS EN EDIFICIO UIDE-SEDE LOJA		
NIVEL	USOS	Nº
PLANTA BAJA	HALL	1
	VESTIBULO	2
	SECRETARIA GENERAL	3
	DIRECCION ADMINISTRATIVA	4
	DIRECTOR ACADEMICO	5
	SECRETARIA	6
	ARCHIVO BIENESTAR ESTUDIANTE	7
	BAÑOS	8
	BODEGA	9
	COCINA	10
	CUARTO DE MAQUINAS	11
	CAFETERIA	12
	PASILLO	13
	SOPORTE TÉCNICO	14

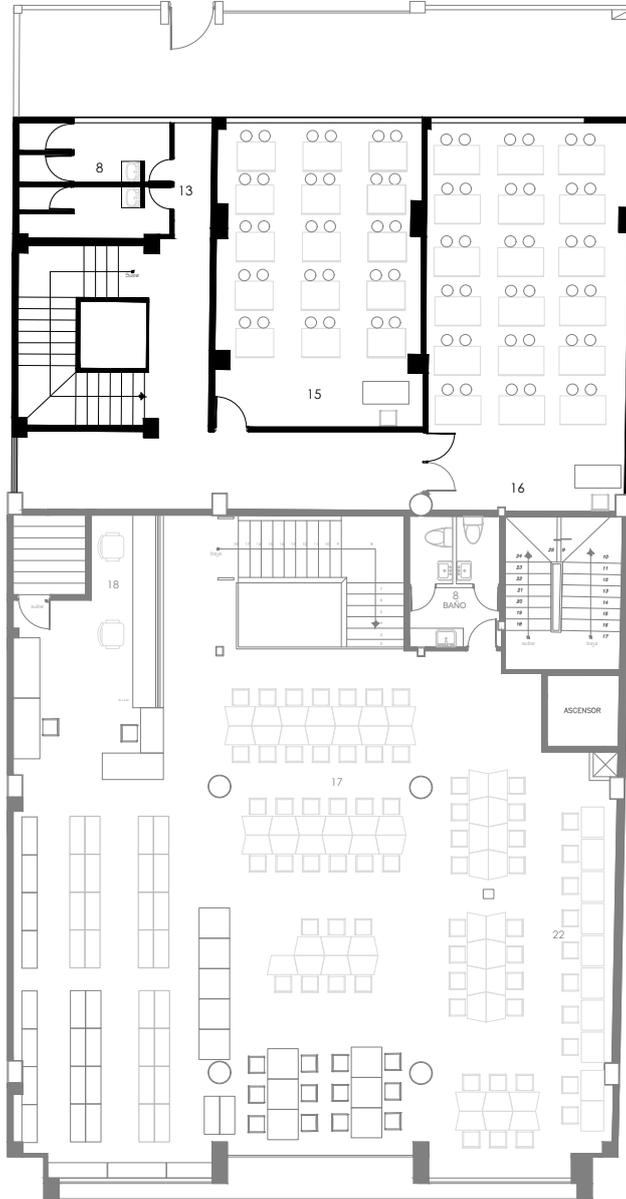
PLANTA BAJA UIDE-SEDE LOJA





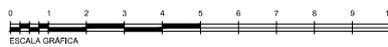
**Figura 74**

*Primera Planta Alta del Edificio de la UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*



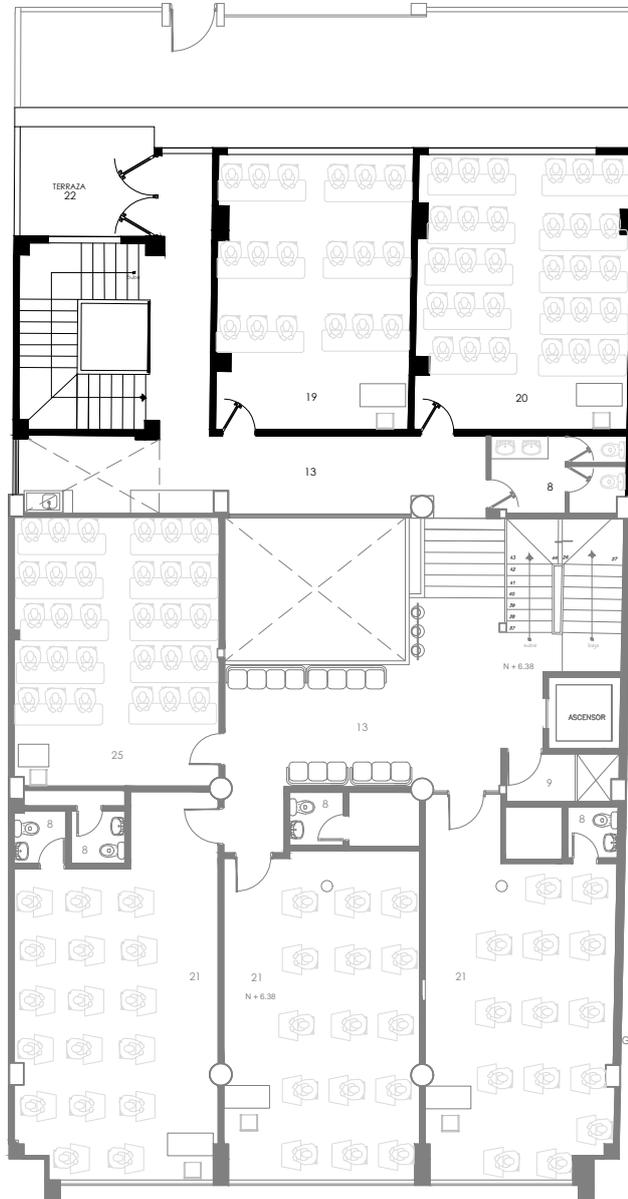
DATOS DE ÁREAS EN EDIFICIO UIDE-SEDE LOJA		
NIVEL	USOS	Nº
1 PLANTA ALTA	BANOS	8
	BODEGA	9
	PASILLO	13
	ÁREA 1	15
	ÁREA 2	16
	BIBLIOTECA	17
	RECEPCIÓN BIBLIOTECA	18

PRIMERA PLANTA ALTA UIDE-SEDE LOJA



**Figura 75**

*Segunda Planta Alta del Edificio de la UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*



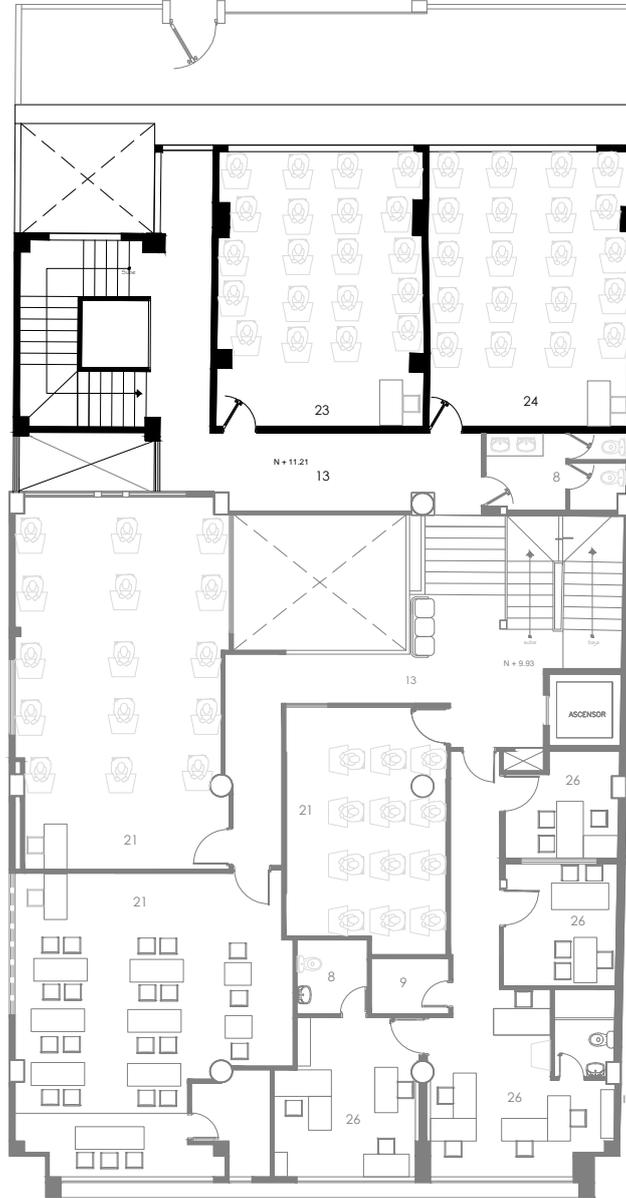
DATOS DE AREAS EN EDIFICIO UIDE-SEDE LOJA		
NIVEL	USOS	Nº
2 PLANTA ALTA	BAÑOS	8
	BODEGA	9
	PASILLO	13
	AULA DE COMPUTO 1	19
	AULA DE COMPUTO 2	20
	AULA GENERAL	21
	TERRAZA	22

**SEGUNDA PLANTA ALTA UIDE-SEDE LOJA**



**Figura 76**

*Tercera Planta Alta del Edificio de la UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*



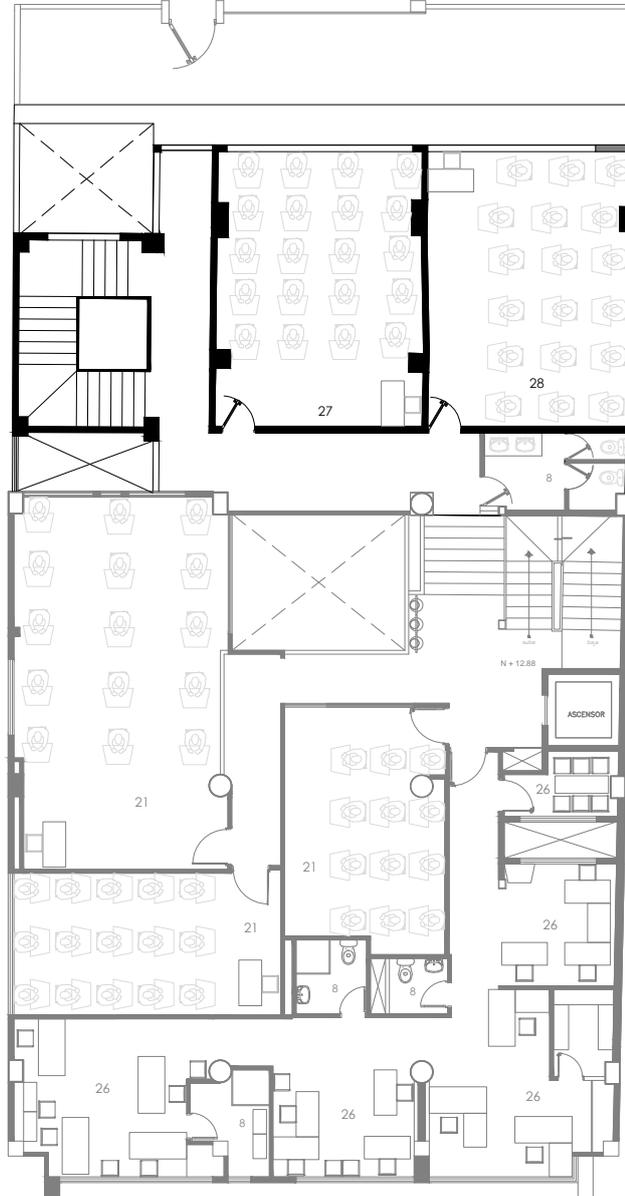
DATOS DE ÁREAS EN EDIFICIO UIDE-SEDE LOJA		
NIVEL	USOS	Nº
3 PLANTA ALTA	BANOS	8
	BIBLIOTECA	9
	PASILLO	13
	AULA 9	23
	AULA 10	24
	AULA GENERAL	21
	SALA DE PROFESORES	26

**TERCERA PLANTA ALTA UIDE-SEDE LOJA**



**Figura 77**

*Cuarta Planta Alta del Edificio de la UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*



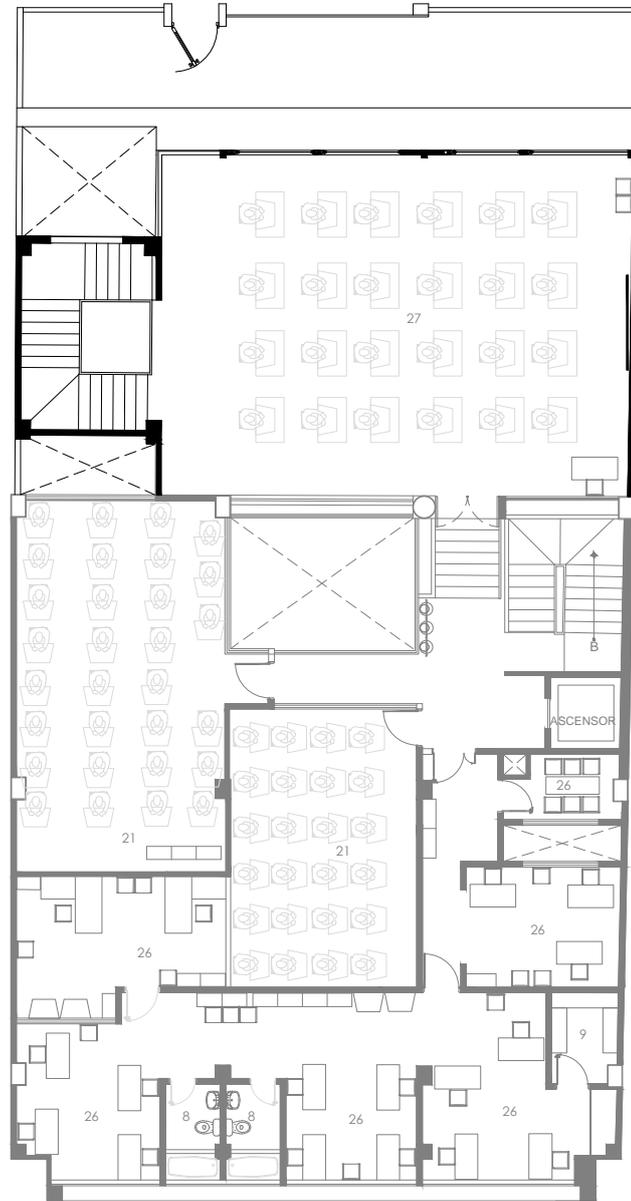
DATOS DE AREAS EN EDIFICIO UIDE-SEDE LOJA		
NIVEL	USOS	Nº
4 PLANTA ALTA	BAÑOS	8
	BODEGA	9
	PASILLO	13
	ALLA 14	27
	ALLA 15	28
	ALLA GENERAL	21
	TERRAZA	26

CUARTA PLANTA ALTA UIDE-SEDE LOJA



**Figura 78**

*Quinta Planta Alta del Edificio de la UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*



DATOS DE ÁREAS EN EDIFICIO UIDE-SEDE LOJA		
NIVEL	USOS	Nº
3 PLANTA ALTA	BAÑOS	8
	BODEGA	9
	PASILLO	13
	ALA 17	27
	ALA GENERAL	21
	SALA DE PROFESORES	26

QUINTA PLANTA ALTA UIDE-SEDE LOJA



**Figura 79**

*Vista Frontal y Posterior de la Universidad Internacional del Ecuador -Sede Loja. Fuente: UIDE*



Vista Frontal



Vista Posterior

**Tabla 4**

*Personas Afectadas de la UIDE. Fuente: Autor*

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Media
Total, personas Dia	453	547	446	390	293	426
Total, personas 13h00 a 19h00	165	144	130	121	63	125

#### **4.0.1. Estudiantes afectados en las Aulas**

El confort térmica y visual son factores importantes que influyen en el bienestar y rendimiento de los estudiantes en el entorno de aprendizaje. Cuando las aulas carecen de un adecuado confort térmico y visual, los estudiantes pueden verse afectados negativamente en su capacidad de aprendizaje y concentración. Por ende, se levantó información insitu para determinar la cantidad de estudiantes afectados por el mal emplazamiento u orientación del edificio. (fig. 79)

En la tabla 4 se puede observar la síntesis de las personas afectadas en días laborales, lo cual permitió determinar una media de 426 alumnos que tienen clases en el aula 1,2,9,10, 14,15, laboratorio 5,6 y aula de marquetería 17. Sin embargo, en el horario de la tarde que es de 13h00 a 19h00 se obtuvo que los alumnos afectados oscilan en una media de 125 en total.

La inexistencia de un entorno cómodo en términos de temperatura e iluminación para un promedio de 125 alumnos entre los horarios de 13h00 a 19h00 puede provocar distracciones, incomodidad y fatiga, lo que puede repercutir en el desempeño académico de los estudiantes, destacando aún más la importancia de crear ambientes adecuados para el aprendizaje óptimo en las escuelas.

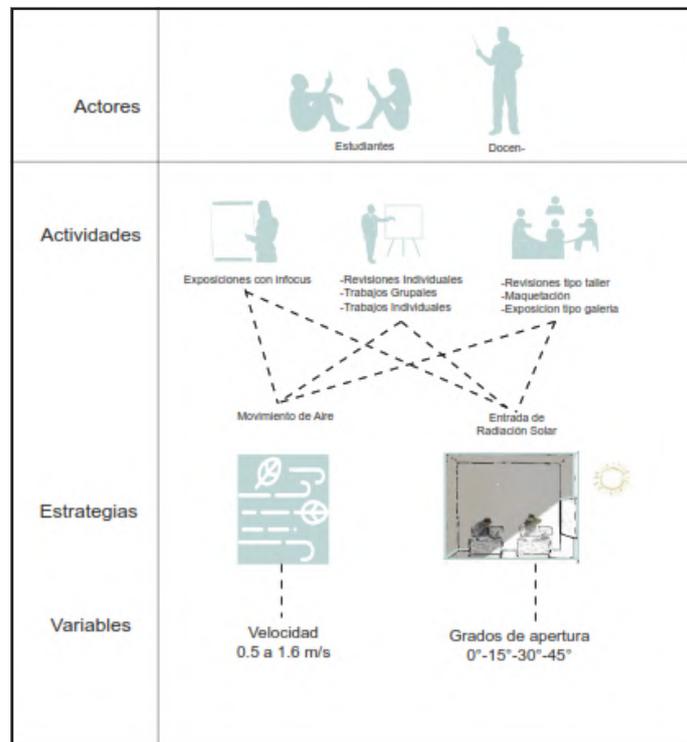
**Figura 80**

*Estudiantes y Docentes como Actores Principales que Ocupan el Espacio. Fuente: Autor*



**Figura 81**

*Actividades a Desarrollarse en Aulas de Clase. Fuente: Autor*



#### **4.1. Actividades a desarrollarse dentro del edificio**

La falta de confort térmico y visual en el aula afecta a los estudiantes de varias maneras. Puede ser difícil concentrarse y aprender cuando se está demasiado caliente o demasiado frío, o cuando hay luz solar directa que deslumbra o sombras que dificultan la lectura. Además, la falta de confort térmico y visual puede ser desagradable y distraer a los estudiantes, lo que puede afectar su rendimiento y su motivación para estudiar.

Otro punto a tomar en cuenta es basado en el pensamiento de Christopher Alexander arquitecto e investigador que propuso una nueva forma de abordar el diseño arquitectónico y urbano. El enfoque que daremos a esta parte se centra en la idea de reflejar las necesidades y deseos de las personas que utilizan el espacio. Es decir, el usuario conoce mejor que el mismo arquitecto como se desenvuelve el espacio

Por ende, es importante considerar al usuario como actor y darle voz y voto, este caso en base a los requerimientos de las actividades que se desarrollen en cada aula de clases.

En base a estas mediciones es posible tomar medidas para mejorar el confort térmico y visual en el aula. Es importante tener en cuenta que el confort térmico y visual puede variar según las preferencias personales de cada estudiante, por lo que es importante ser sensible a las necesidades individuales y tratar de encontrar soluciones equilibradas y justas para todos.

Para ello se levantó en situ información sobre cada una de las actividades que se desarrollan en las aulas de clase de la UIDE (fig.81) los cuales detallan las actividades teniendo en cuenta su entorno inmediato, posición del alumno con referente al aula, iluminación, etc.

Según el pensamiento de Alexander cree que el diseño de un entorno construido debe estar basado en las necesidades, deseos y habilidades de los usuarios, y no en las preferencias del diseñador. Según él, los usuarios tienen un conocimiento profundo de sus propias necesidades y de cómo interactuar con el espacio construido, por ende, las tablas que están en anexos de 4 a 8 nos presentan como el usuario habita el espacio para tenerlo en cuenta en etapas posteriores de la automatización de la estructura cinética.

##### **4.1.1. Archivos EPW**

Para la preevaluación de la Universidad Internacional del Ecuador-Sede Loja se utilizará la base de datos de la estación meteorológica “La Argelia” en formato. web., con el programa de Grasshopper y los plugins de ladybug, Honeybee, Honeybee-radiance y Honeybee-energy en términos de radiación incidente, luz de día, porcentaje de visualización y temperatura interior.

Son archivos de datos meteorológicos Energy Plus, estos archivos contienen información sobre las condiciones climáticas de una ubicación determinada, como la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y la radiación solar. Los archivos de datos meteorológicos se utilizan para proporcionar una representación precisa de las condiciones climáticas en las que se encuentra el edificio que se está analizando, lo que permite evaluar de manera más precisa el rendimiento energético del edificio y tomar decisiones informadas sobre cómo mejorarlo.

- La irradiación global es la cantidad de energía que golpea una superficie horizontal durante la hora.
- La temperatura del bulbo seco es la temperatura del aire medida por un termómetro que consiste en un bulbo de vidrio lleno de aire y sellado.

Figura 82

Diagrama Solar. Fuente: Autor

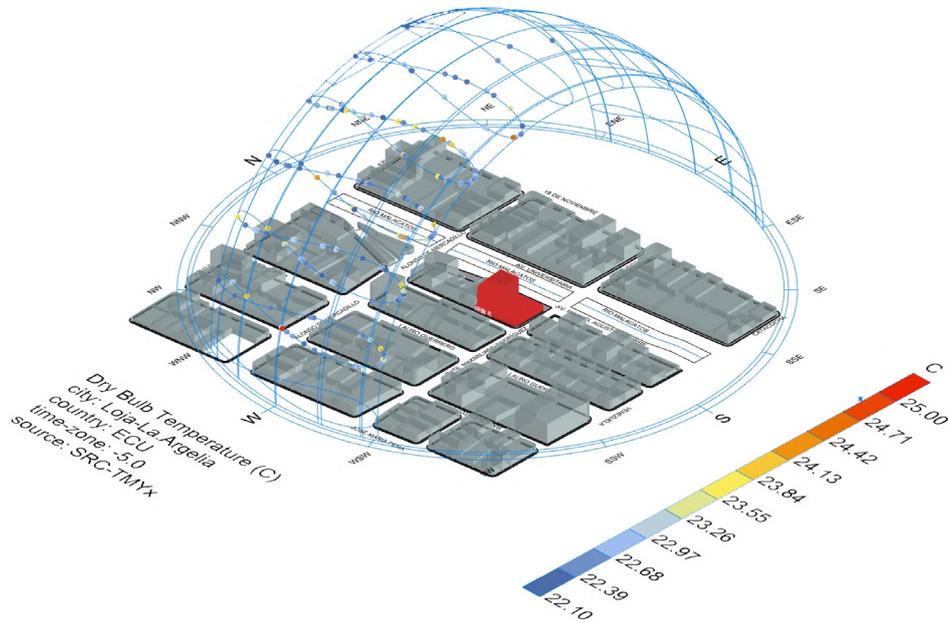
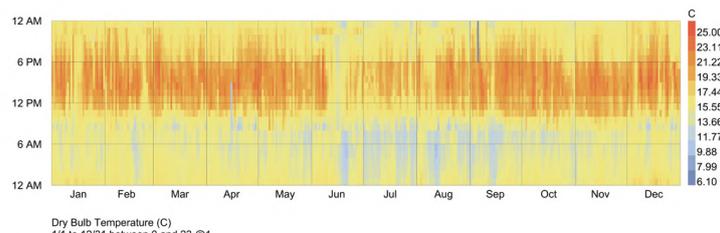


Figura 83

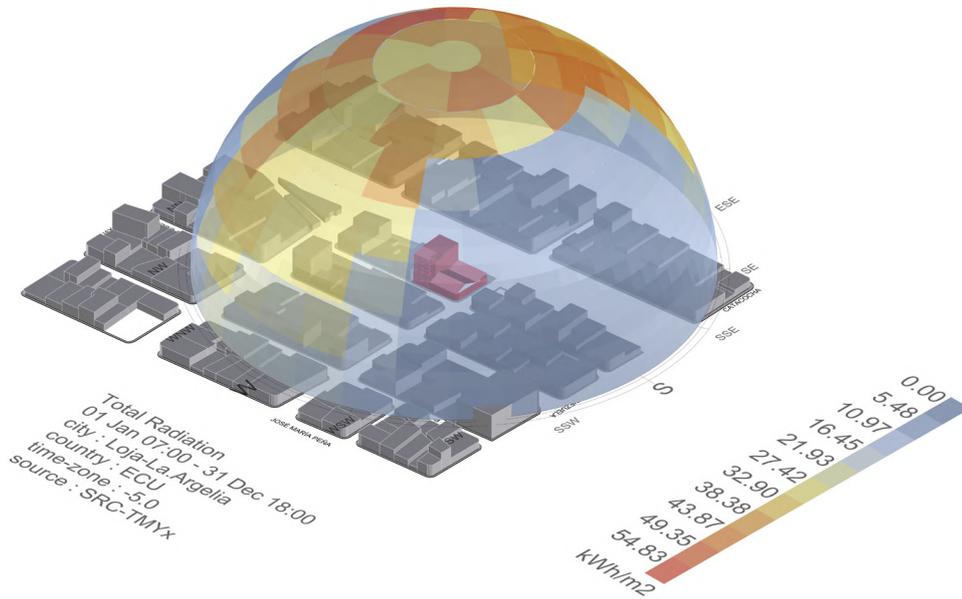
Temperatura de Bulbo Seco. Fuente: Autor



- La irradiación de haz directo da la irradiación que golpea una placa perpendicular a los rayos del sol, pero no incluye la radiación difusa. La temperatura de bulbo seco y la velocidad del viento se promedian durante la hora.
- La temperatura de bulbo húmedo es la temperatura que muestra un termómetro bombilla rodeada por una mecha húmeda. El WBT varía desde el bulbo seco temperatura de acuerdo con la cantidad de evaporación y por lo tanto la humedad.
- Dirección del viento muestra los puntos de la brújula de donde viene el viento. Por lo general, se mide a 10 m de altura en un lugar sin obstrucciones (aeropuertos).
- La cobertura de nubes es una estimación visual de la proporción de nubes que cubren el cielo. En este caso, está en ochos, por lo que 0 es sin nubes y 8 es nubosidad total.

Figura 84

*Bóveda Celeste . Fuente: Autor*



## 4.2. Preevaluación del Edificio de la UIDE-Sede Loja

### 4.2.1. Diagrama Solar

Muestra un gráfico conocido como diagrama solar donde genera vectores solares que se pueden usar para el análisis de acceso solar y el diseño del sombreado.

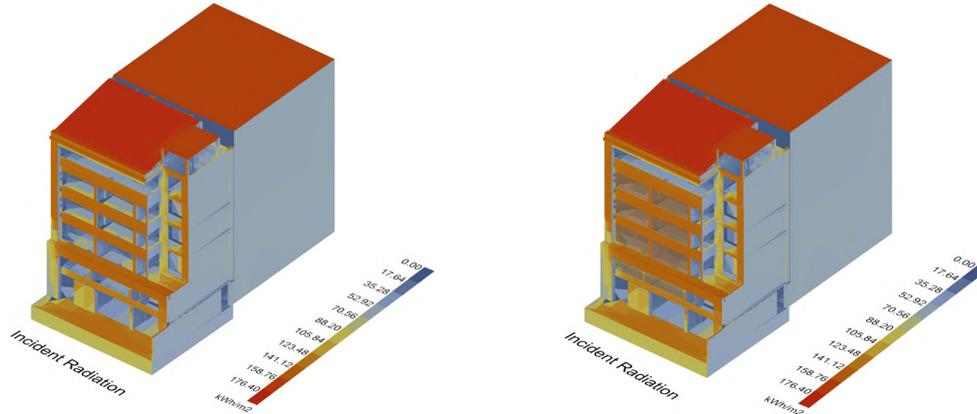
Mediante la figura 82 se puede analizar que los puntos críticos de temperatura empiezan entre las 12h00 del medio día hasta 18h00 PM con una temperatura que oscila entre 22°C a 25°C dando veracidad a la experiencia vivida como alumno de pregrado en la Universidad Internacional del Ecuador y utilizarlo para diseñar un envolvente de estructura cinética para regular el confort visual y térmico.

### 4.2.2. Bóveda Celeste

Se visualiza una matriz de cielo del componente ladybug como una cúpula de color, subdividida en parches con un valor de radiación determinado en base al componente SKYMATRIX (Ver algoritmo anexo 11). La creación de esta matriz que representa la radiación emisiva de la bóveda celeste en un periodo de 1 año siendo un paso previo necesario para realizar un análisis de radiación incidente sobre la geometría que en este caso es la Fachada posterior de la Universidad Internacional del Ecuador (fig. 84). Radiación emisiva de la bóveda celeste entendiéndola como el sol y la atmosfera de un lapso de tiempo. Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto se procedera a realizar la pre evaluación del edificio de la UIDE-Sede Loja

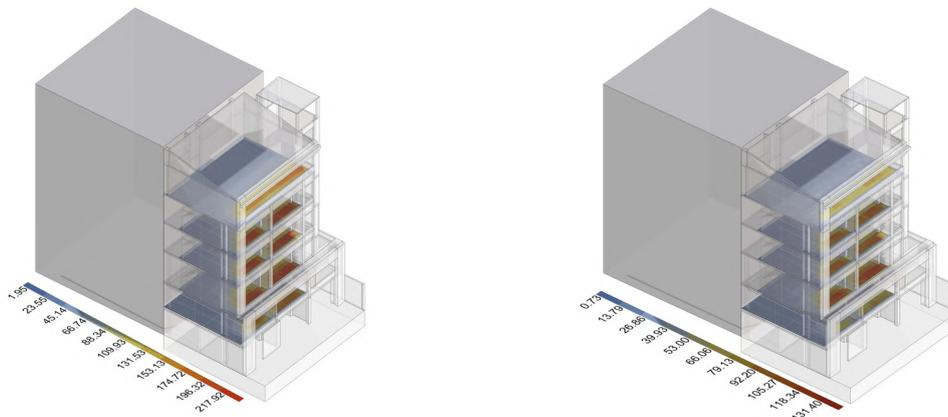
**Figura 85**

*Radiación Incidente Externa de la UIDE-Sede Loja. Fuente:*



**Figura 86**

*Radiación Incidente Interna de la UIDE-Sede Loja. Fuente:*



### 4.2.3. Preevaluación de las aulas ubicadas en la fachada posterior del edificio UI-DE-Sede Loja

#### 4.2.3.1. Radiación incidente externa de la UIDE-Sede Loja

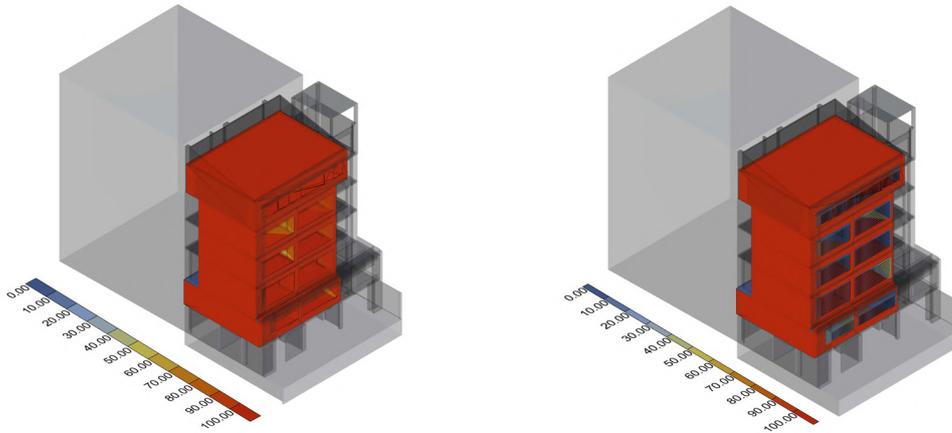
La radiación incidente externa(fig. 85) se refiere a la cantidad de radiación electromagnética que llega a la superficie de la Tierra desde fuentes externas al planeta. La radiación incidente externa puede ser natural o artificial. El gráfico realizado en grasshopper muestra la radiación incidente externa con persianas y sin persianas que se puede calcular mediante el uso de herramientas como Ladybug y Honeybee, que permiten simular el movimiento del sol y la cantidad de luz solar que incide en diferentes partes del edificio de la UIDE-Sede Loja en diferentes momentos del día y del año. (Algoritmo anexo 12 )

#### 4.2.3.2. Radiación incidente interna de la UIDE-Sede Loja

En el siguiente gráfico (fig. 86) se determinó la irradiación anual que es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie, donde se toma en cuenta a la radiación térmica, lo cual se puede observar en el gráfico de la izquierda llega a 217.92 w/m<sup>2</sup> (Ver algoritmo anexo 13) por motivo que el cálculo se lo hizo con apertura de persianas y 131.40 w/m<sup>2</sup> sin apertura de persianas, aunque hay un cambio significativo entre uno y otro.

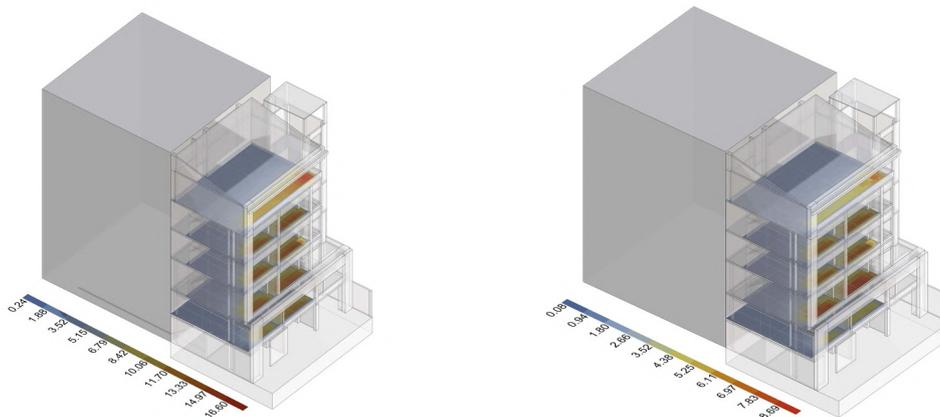
**Figura 87**

*Factor de Luz Diurna Externa de la UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*



**Figura 88**

*Factor de Luz Diurna Interna de la UIDE-Sede Loja. Fuente:*



#### **4.2.3. Preevaluación de las aulas ubicadas en la fachada posterior del edificio UI-DE-Sede Loja**

##### **4.2.3.3. Factor de luz diurna externa de la UIDE-Sede Loja**

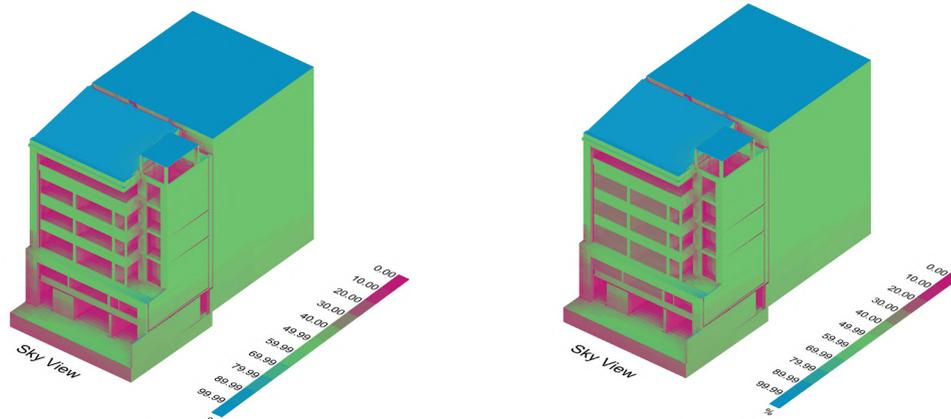
El porcentaje de luz diurna en Grasshopper se utiliza en el análisis de la iluminación natural en el diseño arquitectónico. Este porcentaje se refiere a la cantidad de luz natural que entra en un espacio interior de un edificio en comparación con la cantidad de luz artificial que se requiere para mantener una iluminación adecuada. Como se puede observar en los gráficos (fig. 87) la luz diurna choca contra la fachada posterior el 100% del día, lo que nos conduce a que si el porcentaje de luz natural diurna es alto pero la orientación del edificio es deficiente, es posible que el espacio interior se caliente demasiado debido a la exposición excesiva al sol (algoritmo anexo 14).

##### **4.2.3.4. Factor de Luz Diurna interna de la UIDE-Sede Loja**

En la fig. 88 permitió entender cómo la luz natural afecta al interior del edificio en diferentes momentos del día (Algoritmo anexo 15). Lo que se puede observar en los gráficos es que la luz interna del día da un 15% al edificio en las aperturas de las ventanas y un 9 % cuando se tiene persianas.

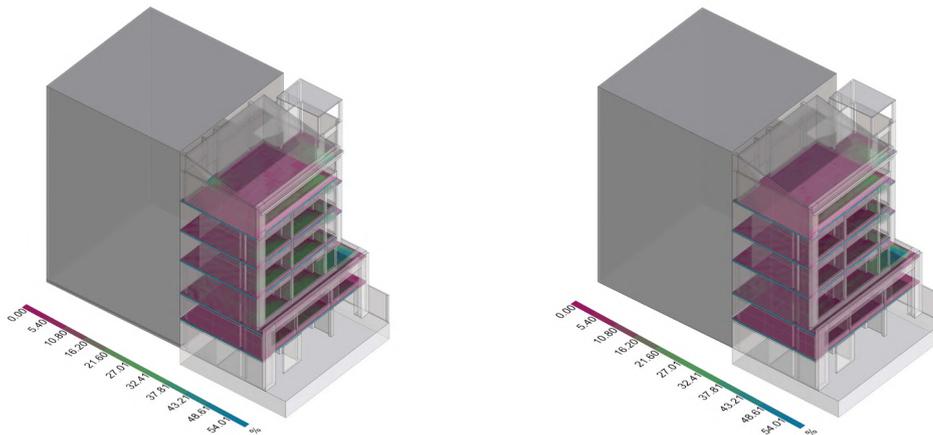
**Figura 89**

*Porcentaje de Visualización Externa de la UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*



**Figura 90**

*Porcentaje de Visualización Interna de la UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*



#### **4.2.3.5. Porcentaje de visualización externa de la UIDE-Sede Loja**

El siguiente grafico (fig. 89) muestra el Sky View en Grashopper es una herramienta de visualización que permite a los diseñadores simular la apariencia del cielo en diferentes ubicaciones y momentos del día (Ver algoritmo anexo 16), lo que puede ser útil para la planificación de la iluminación natural, la evaluación del desempeño energético y la optimización del diseño de edificios.

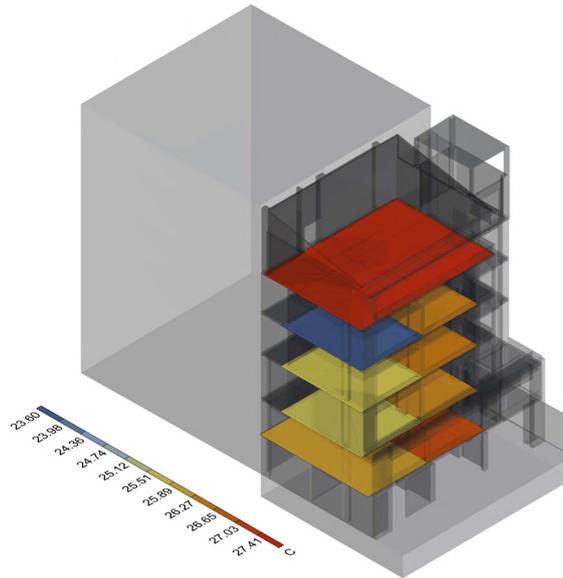
El grafico determina que el porcentaje de visibilidad es de un 60% cuando las persianas están alzadas y un 20 a 40% cuando las persianas están entre abiertas

#### **4.2.3.6. Porcentaje de visualización interna de la UIDE-Sede Loja**

El Sky View en Grashopper nos permitió simular la apariencia del cielo dentro del Edificio Uide-Sede Loja, lo que es especialmente útil para evaluar la cantidad y la calidad de la luz natural que entra en el interior del edificio, pero más aun que porcentaje de visualización hacia el exterior tengo desde una perspectiva interna (Ver algoritmo anexo 17). Esta figura 90 determina que existe un maximo de 30%de visualizacion hacia el exterior. Es importante que el mecanismo que se proponga pueda cubrir sin bloquear la vista a la calle al usuario.

**Figura 91**

*Temperatura Interna de la UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*



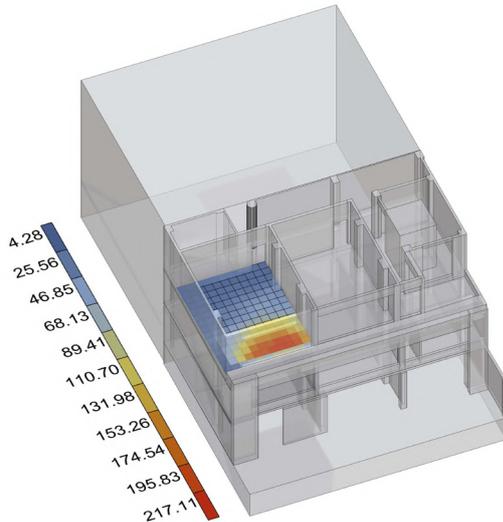
#### **4.2.3.7. Temperatura Interna de la UIDE-Sede Loja**

Para determinar la temperatura interna de la UIDE-Sede Loja, se utilizó Room Comfort Result es un componente de Grasshopper, este componente sirve para evaluar el confort térmico en un espacio cerrado (como un aula), tomando en cuenta factores como la temperatura del aire, la velocidad del aire y la humedad relativa.

Este grafico nos ayudó a determinar la temperatura máxima (27.41) y mínima (23.95) de cada una de las aulas a intervenir (Ver algoritmo anexo 18). Esto significa que, la temperatura en el aula es demasiado alta y es posible que las personas se sientan incómodas y distraídas, lo que podría afectar negativamente su capacidad para aprender y concentrarse. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Sociedad Americana de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) la temperatura recomendada oscile 21 y 23 grados Celsius para un aula de clases en cualquier lugar, ya que se considera un rango de temperatura cómodo y óptimo para la mayoría de las personas. Sin embargo, en lugares como la ciudad de Loja, que se encuentra a una altitud de más de 2000 metros sobre el nivel del mar y tiene un clima templado, es posible que se pueda mantener una temperatura un poco más baja, entre 18 y 21 grados Celsius

**Figura 92**

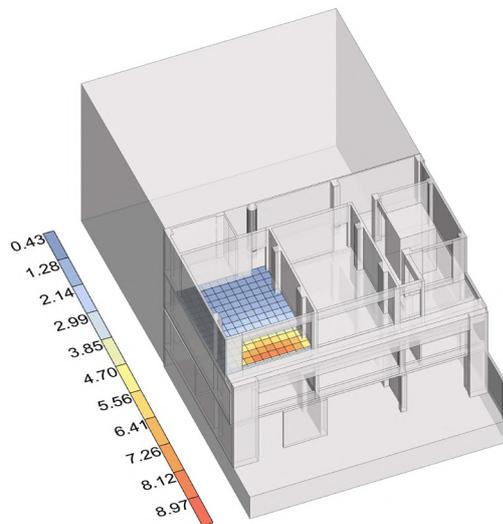
*Radiación Incidente Interna del Aula de Computo 2 de la UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*



En el siguiente gráfico se determinó la irradiación anual que es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie, donde se toma en cuenta a la radiación térmica y se considera adecuada una radiación térmica que no supere los 70 vatios por metro cuadrado, lo cual se puede observar en el gráfico que no se cumple un 50% de las aulas de clase superan los 89.41 w/m<sup>2</sup>. Si bien se observa que llega a 217 w/m<sup>2</sup> (Ver algoritmo anexo 13).

**Figura 93**

*Factor de Luz Diurna Interna del Aula de Computo 2 de la UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*

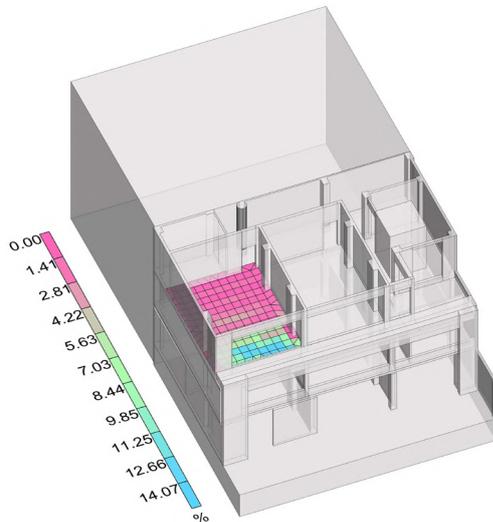


En el siguiente gráfico se evaluó el desempeño energético del edificio y cómo la luz natural afecta a su iluminación y sombreado. (Ver algoritmo anexo 15) En concreto, me permitió entender que porcentaje de luz natural entra al aula con las persianas cerradas en el edificio en diferentes momentos del día y en diferentes condiciones climáticas. Lo que se puede observar es que la luz interna del día entra en un 8.97% al edificio con persianas cerradas que es como comúnmente tiene el aula.

Nota: Debido a limitaciones de tiempo en la realización de la tesis de maestría, solo se evaluó una muestra del edificio en cuestión. En este caso, se ha seleccionado el aula de cómputo 2 como muestra representativa del edificio para llevar a cabo la evaluación. Esta muestra se eligió cuidadosamente debido a que es el aula donde más estudiantes toman clases. Sin embargo, mi intención es dejar un camino claro para que en el futuro se puedan realizar evaluaciones exhaustivas de todas las aulas del edificio en una futura tesis de maestría. De esta manera, se podrá obtener una visión más completa y detallada del estado del edificio y sus instalaciones.

**Figura 94**

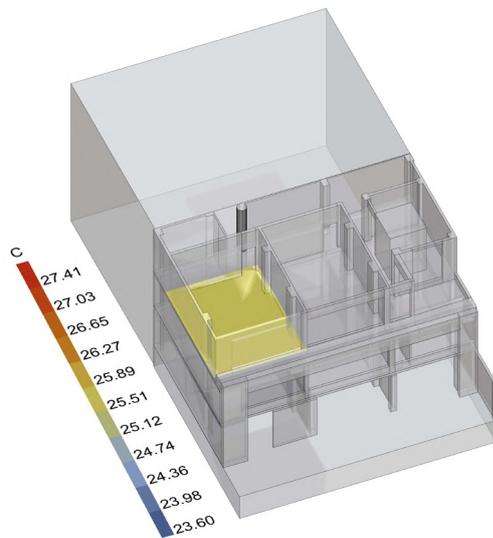
*Porcentaje de Visualización Interna del Aula de Computo 2 de la UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*



En la actualidad, las soluciones de protección solar se enfocan principalmente en mejorar la temperatura y reducir la carga de refrigeración en los edificios, pero muchas veces se descuida la cantidad de luz natural disponible en el interior. En ocasiones, las protecciones solares son tan eficientes que se requiere iluminación artificial, lo cual resulta en un consumo excesivo de energía eléctrica. Por ende, este gráfico es uno de los más importantes a evaluar, ya que en la actualidad tenemos un 14.01% de visibilidad hacia el exterior. (Algoritmo, anexo 17)

**Figura 95**

*Temperatura Interna del Aula de Computo 2 de la UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*



El siguiente gráfico ayudó a determinar la temperatura máxima (25.51) del aula de cómputo 1 a intervenir (Ver algoritmo anexo 18). Esto significa que, la temperatura en el aula es demasiado alta y es posible que las personas se sientan incómodas y distraídas.

**Nota:** Debido a limitaciones de tiempo en la realización de la tesis de maestría, solo se evaluara una muestra del edificio en cuestión. En este caso, se ha seleccionado el aula de cómputo 2 como muestra representativa del edificio para llevar a cabo la evaluación. Esta muestra se eligió cuidadosamente debido a que es el aula donde más estudiantes toman clases. Sin embargo, mi intención es dejar un camino claro para que en el futuro se puedan realizar evaluaciones exhaustivas de todas las aulas del edificio en una futura tesis de maestría. De esta manera, se podrá obtener una visión más completa y detallada del estado del edificio y sus instalaciones.

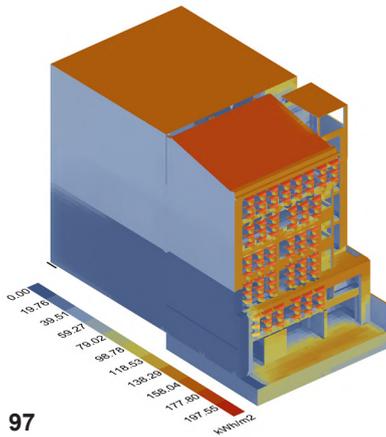
### 4.3. Postevaluación del Edificio de la UIDE-Sede Loja

En la siguiente postevaluación del edificio de la UIDE-sede Loja, se ha llevado a cabo una simulación donde los protagonistas son los envolventes de fachada cinética presentados en el apartado 3.2 utilizando el software de Grasshopper. Esta herramienta permite evaluar el desempeño de las envolventes en términos de radiación incidente interna, luz de día interna, porcentaje de visualización del interior al exterior y temperatura. Estos indicadores son simulados gracias del componente de Honeybee y Ladybug, los cuales permitieron obtener una visión detallada del comportamiento de las envolventes.

Para empezar, evaluaremos a nivel de radiación incidente y porcentaje de visualización exterior-interior la fachada del edificio implementando el prototipo de envoltente para determinar a breves rasgos como está trabajando el prototipo, luego se continuará evaluando el interior del aula seleccionada más a fondo para determinar si el envoltente cinético regula el confort térmico y visual de la UIDE-Sede Loja.

**Figura 96**

*Radiación Incidente Externa de la UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*

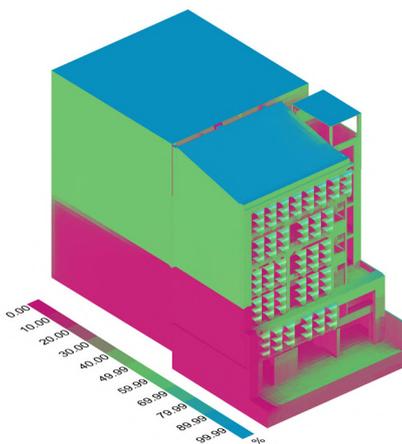


Para determinar la radiación incidente del edificio UIDE se necesitó de la herramienta de Ladybug en Grasshopper, la cual se utilizó para calcular los valores de radiación incidente.

Estos estudios se utilizaron para aproximar el impacto de la energía en base a la orientación del edificio el cual se puede observar en el grafico que entre 158.04 y 177.80 kwh/m2 pegan directamente en el envoltente de fachada, ayudando a que no pase directamente la energía solar.

**Figura 97**

*Porcentaje de Visualización Externa de la UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*

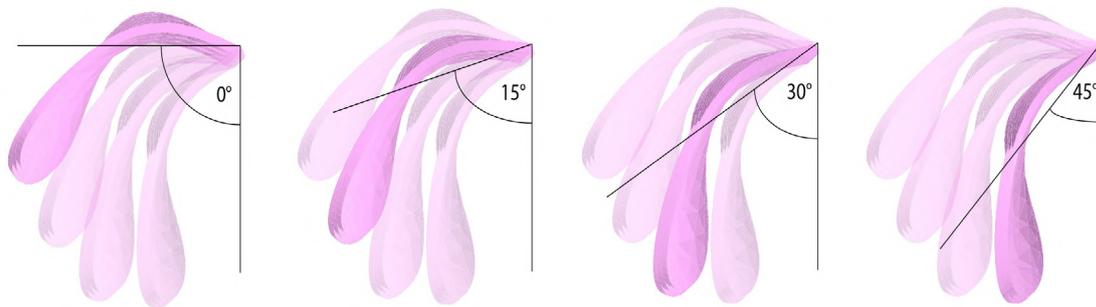


Para determinar el porcentaje de vista al cielo a partir del vano del edificio UIDE, se necesitó de la herramienta de Ladybug en Grasshopper, la cual se utilizó para estimar la calidad de una vista al aire libre desde un lugar determinado.

Estos estudios ayudan a determinar el porcentaje visual que se puede obtener al colocar el envoltente de fachada, rondando entre 20 a 30% el porcentaje

**Figura 98**

*Ángulos principales para evaluación. Fuente: Autor*



Continuando con la investigación, se implementaron 5 materiales ligeros en el envoltente para evaluar su desempeño en términos de radiación incidente, luz de día interna, temperatura y porcentaje de visualización interna. Estos materiales son policarbonato macizo, paneles de acrílico, madefibra y copolímero de etileno-tetrafluoretileno (EFTE). Los coeficientes de estos materiales se presentaron en el apartado 3.3 de la tesis y permiten comparar su desempeño en relación a los indicadores mencionados anteriormente. También se limitó el número de iteraciones en cuanto al ángulo de rotación, los cuales se dividieron en 4 ángulos (fig. 93) principales ( $0^{\circ}$ - $15^{\circ}$ - $30^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ) para evaluar el desempeño de las envoltentes en diferentes orientaciones.

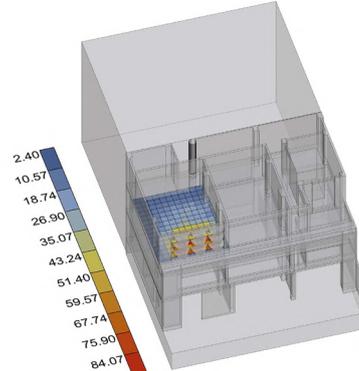
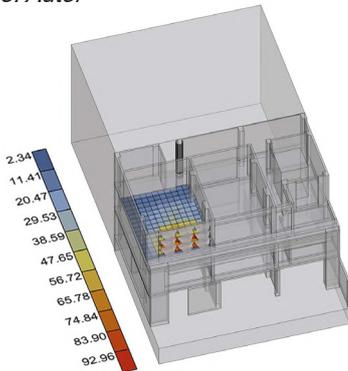
La finalidad de esta postevaluación del edificio es ofrecer una visión más detallada del desempeño de la envoltente de fachada cinética obtenida en el apartado 3.2 utilizando herramientas avanzadas como Honeybee y Grashopper. Los resultados obtenidos permitirán tomar decisiones informadas sobre la selección de materiales y el diseño de las envoltentes para mejorar el confort y la eficiencia energética del edificio.

**Figura 99**

*Radiación Incidente Interna 0°, policarbonato .*

*Radiación Incidente Interna 15°, policarbonato*

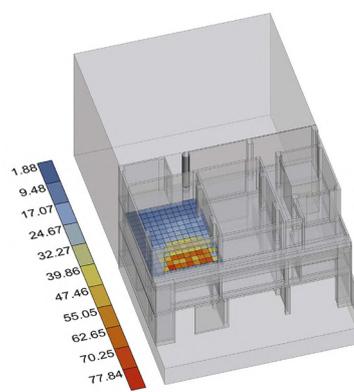
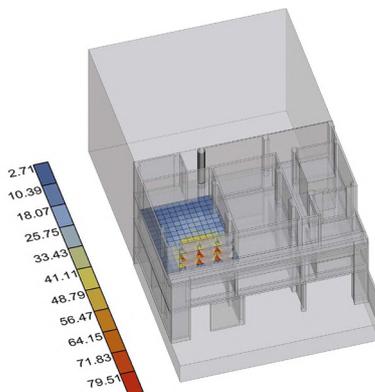
*Fuente: Autor*



*Radiación Incidente Interna 30°, policarbonato*

*Radiación Incidente Interna 45°, policarbonato*

*Fuente: Autor*



#### **4.3.1. Postevaluación con el indicador de radiación incidente interna**

Material: Panel de policarbonato macizo

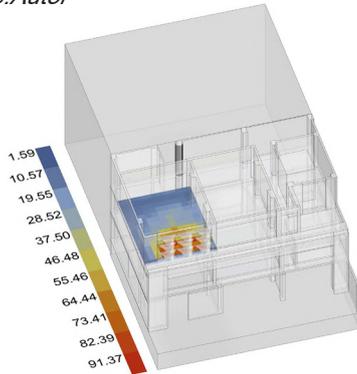
En base a los siguientes gráficos se presentan los resultados de la simulación del prototipo de envolvente de fachada cinética con iteraciones definidas de los ángulos a evaluar.

Para llevar a cabo esta simulación, utilizamos el software Honeybee para evaluar el valor de radiación incidente que entra con una envolvente cinética basada en alas de abeja ubicada en la parte externa de la única ventana del aula de clase. Los resultados indican la cantidad de energía solar que entra al aula, el máximo rango se encuentra entre los 2 al 92.96 w/m<sup>2</sup> con una apertura de 0° y el mínimo con una apertura de 45° en un rango 1.47 - 77.84 w/m<sup>2</sup>, lo que representa una reducción significativa en comparación con el valor actual de 217.1 w/m<sup>2</sup>.(apartado 4.2.3.1)

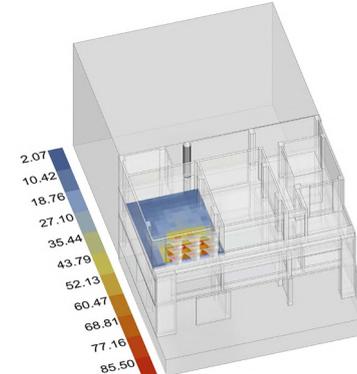
**Figura 100**

*Radiación Incidente Interna 0°, acrílico.*

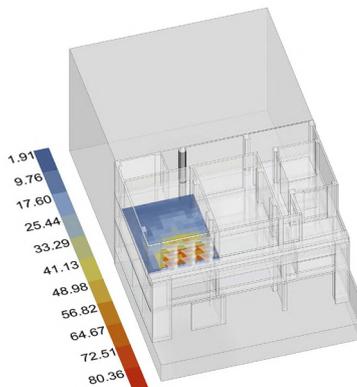
*Fuente: Autor*



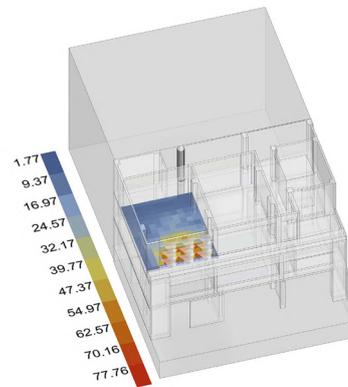
*Radiación Incidente Interna 15°, acrílico*



*Radiación Incidente Interna 30°, acrílico*



*Radiación Incidente Interna 45°, acrílico*



Fuente: Autor

Material: Panel de acrílico

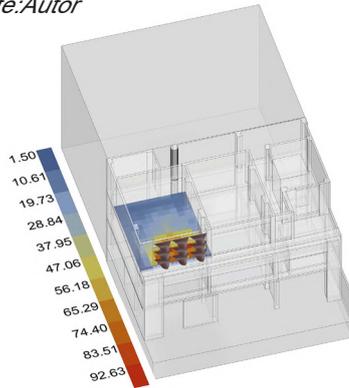
En base a los siguientes gráficos se presentan los resultados de la simulación del prototipo de envolvente de fachada cinética con iteraciones definidas de los ángulos a evaluar.

Para llevar a cabo esta simulación, utilizamos el software Honeybee para evaluar el valor de radiación incidente que entra al aula. Los resultados indican la cantidad de energía solar que entra al aula, el máximo rango se encuentra entre los 2.34 - 91.37 w/m2 con una apertura de 0° y el mínimo con una apertura de 45° en un rango 1.88 - 77.84 w/m2, lo que representa una reducción significativa en comparación con el valor actual de 217.1 w/m2.(apartado 4.2.3.1)

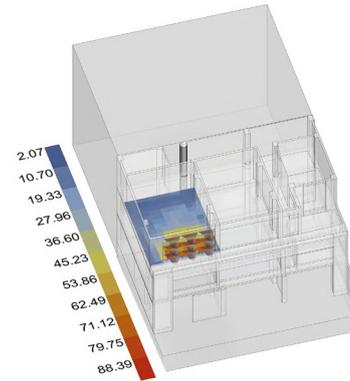
**Figura 101**

*Radiación Incidente Interna 0°, Madefibra.*

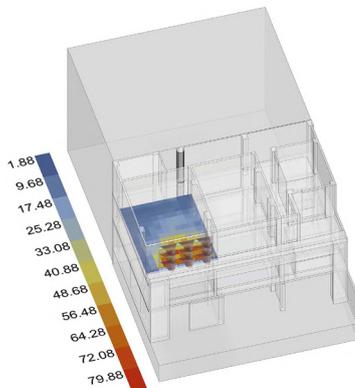
*Fuente: Autor*



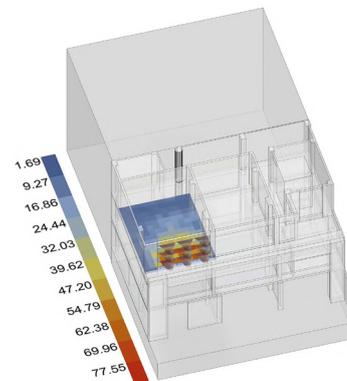
*Radiación Incidente Interna 15°, Madefibra*



*Radiación Incidente Interna 30°, Madefibra*



*Radiación Incidente Interna 45°, Madefibra*



Fuente: Autor

Material: Panel de madefibra

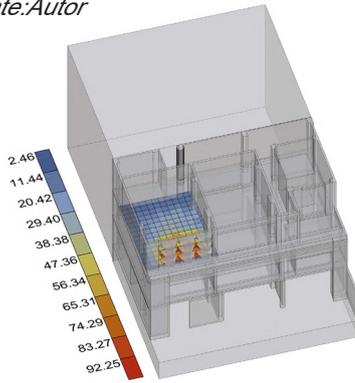
En base a los siguientes gráficos se presentan los resultados de la simulación del prototipo de envolvente de fachada cinética con iteraciones definidas de los ángulos a evaluar.

Para llevar a cabo esta simulación, utilizamos el software Honeybee para evaluar el valor de radiación incidente que entra al aula. Los resultados indican la cantidad de energía solar que entra al aula, el máximo rango se encuentra entre los 1.50 – 92.63 w/m<sup>2</sup> con una apertura de 0° y el mínimo con una apertura de 45° en un rango 1.69 - 77.55 w/m<sup>2</sup>, lo que representa una reducción significativa en comparación con el valor actual de 217.1 w/m<sup>2</sup>.(apartado 4.2.3.1)

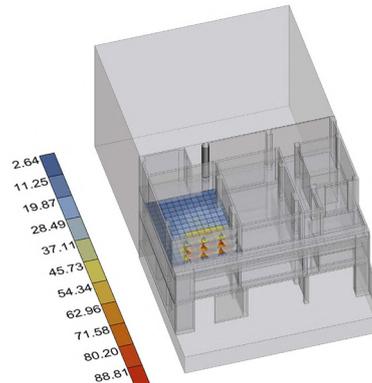
**Figura 102**

*Radiación Incidente Interna 0°, EFTE.*

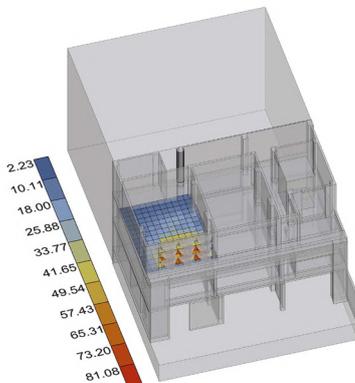
*Fuente: Autor*



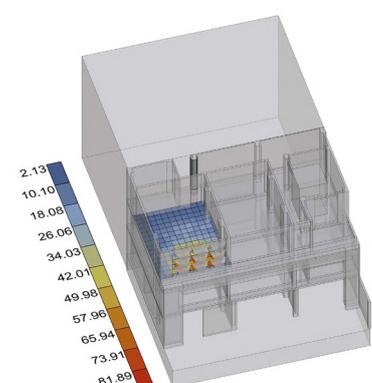
*Radiación Incidente Interna 15°, EFTE*



*Radiación Incidente Interna 30°, EFTE*



*Radiación Incidente Interna 45°, EFTE*



Fuente: Autor

Material: Panel de copolímero de etileno-tetrafluoretileno (EFTE)

En base a los siguientes gráficos se presentan los resultados de la simulación del prototipo de envolvente de fachada cinética con iteraciones definidas de los ángulos a evaluar.

Para llevar a cabo esta simulación, utilizamos el software Honeybee para evaluar el valor de radiación incidente que entra al aula. Los resultados indican la cantidad de energía solar que entra al aula, el máximo rango se encuentra entre los 2.46 – 92.25 w/m<sup>2</sup> con una apertura de 0° y el mínimo con una apertura de 45° en un rango 2.13– 81.89 w/m<sup>2</sup>, lo que representa una reducción significativa en comparación con el valor actual de 217.1 w/m<sup>2</sup>.(apartado 4.2.3.1)

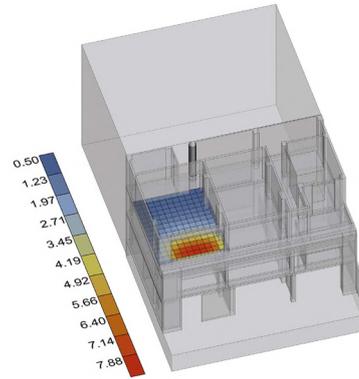
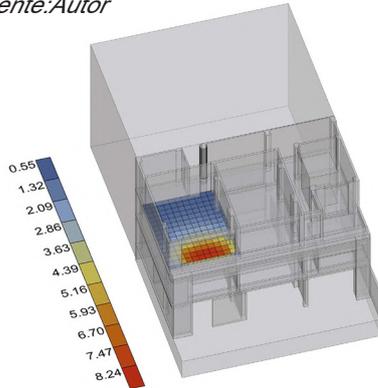
De acuerdo con los datos proporcionados de la simulación de radiación incidente con Honeybee (algoritmo, anexo 19), el panel de madefibra con una apertura de 45° permite la menor cantidad de energía solar en el aula, con un rango de 1.47 - 77.55 w/m<sup>2</sup>. Esto sugiere que este material podría ser una buena opción para reducir la ganancia de calor solar en el aula y mejorar el confort térmico. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la elección del mejor material para la envolvente no depende únicamente de su capacidad para reducir la ganancia de calor solar. También hay otros factores que los veremos a continuación.

**Figura 103**

*Factor de Luz Diurna Interna 0°, Policarbonato.*

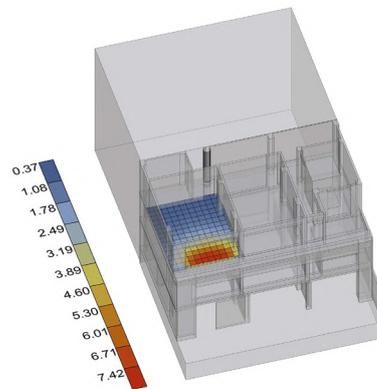
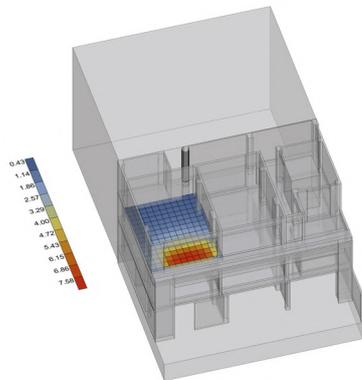
*Factor de Luz Diurna Interna 15°, Policarbonato*

*Fuente: Autor*



*Factor de Luz Diurna Interna 30°, Policarbonato*

*Factor de Luz Diurna Interna 45°, Policarbonato*



*Fuente: Autor*

### 4.3.2. Postevaluación con el indicador de factor de luz diurna interna

Material: Panel de policarbonato macizo

En base a los siguientes gráficos se presentan los resultados de la simulación del prototipo de envolvente de fachada cinética con iteraciones definidas de los ángulos a evaluar.

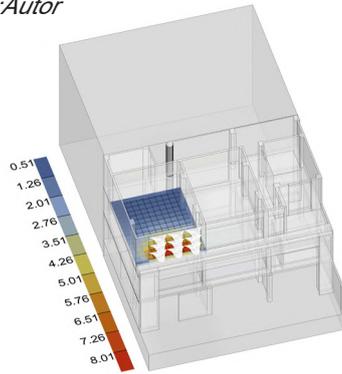
Para llevar a cabo esta simulación, utilizamos el software Honeybee para evaluar el factor de luz diurna (Day light Factor, DF) con una envolvente cinética basada en alas de abeja ubicada en la parte externa de la única ventana del aula de clase. El factor de luz diurna es una medida de la cantidad de luz natural que llega a un punto en el interior de un edificio en relación con la cantidad de luz disponible en el exterior. Se expresa como un porcentaje y se utiliza para evaluar la calidad de la iluminación natural en un espacio interior.

De acuerdo con los resultados que mencionas, el factor de luz diurna en el aula varía entre 7.42% y 8.24% dependiendo del ángulo de apertura de la envolvente cinética. Con un ángulo de apertura de 0°, el factor de luz diurna es del 8.24%, mientras que con un ángulo de apertura de 45°, el factor de luz diurna es del 7.28%. Esto sugiere que la cantidad de luz natural que llega al aula disminuye a medida que aumenta el ángulo de apertura de la envolvente cinética y es similar al porcentaje que el edificio obtiene cuando las persianas están entre abiertas. (apartado 4.2.3.2)

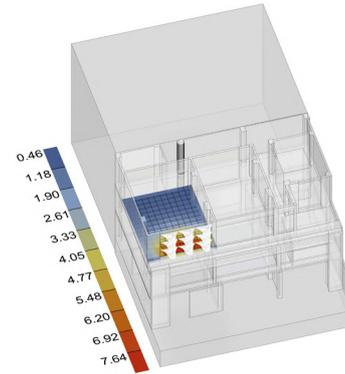
**Figura 104**

*Factor de Luz Diurna Interna 0°, Acrílico.*

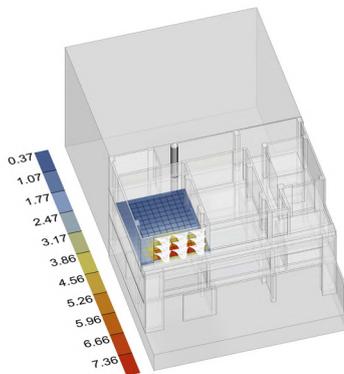
*Fuente: Autor*



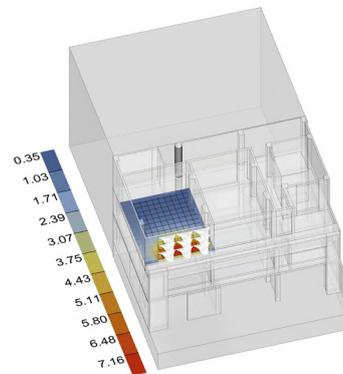
*Factor de Luz Diurna Interna 15°, Acrílico*



*Factor de Luz Diurna Interna 30°, Acrílico*



*Factor de Luz Diurna Interna 45°, Acrílico*



Fuente: Autor

Material: Panel de acrílico

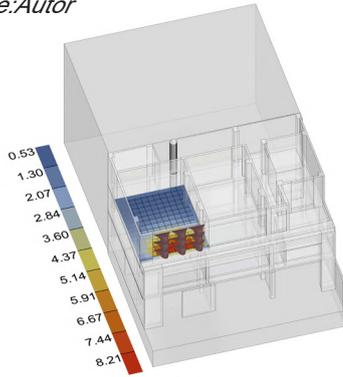
En base a los siguientes gráficos se presentan los resultados de la simulación del prototipo de envolvente de fachada cinética con iteraciones definidas de los ángulos a evaluar.

De acuerdo con los resultados que mencionas, el factor de luz diurna en el aula varía entre 8.01% y 7.16% dependiendo del ángulo de apertura de la envolvente cinética. Con un ángulo de apertura de 0°, el factor de luz diurna es del 8.01%, mientras que con un ángulo de apertura de 45°, el factor de luz diurna es del 7.16%. Esto sugiere que la cantidad de luz natural que llega al aula disminuye a medida que aumenta el ángulo de apertura de la envolvente cinética y es casi similar al porcentaje que el edificio obtiene cuando las persianas están entre abiertas.(apartado 4.2.3.2)

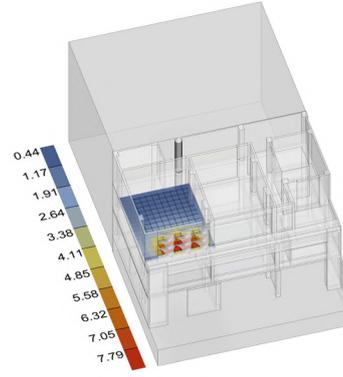
**Figura 105**

*Factor de Luz Diurna Interna 0°, Madefibra .*

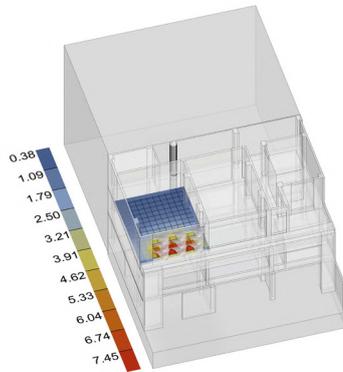
*Fuente: Autor*



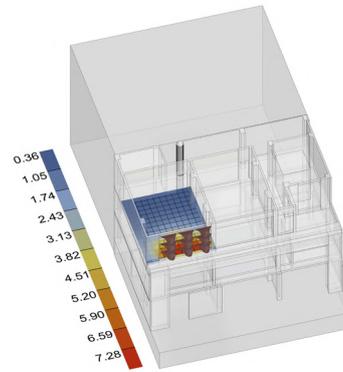
*Factor de Luz Diurna Interna 15°, Madefibra*



*Factor de Luz Diurna Interna 30°, Madefibra*



*Factor de Luz Diurna Interna 45°, Madefibra*



Fuente: Autor

Material: Panel de madefibra

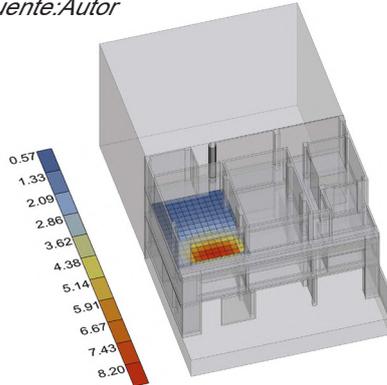
En base a los siguientes gráficos se presentan los resultados de la simulación del prototipo de envolvente de fachada cinética con iteraciones definidas de los ángulos a evaluar.

De acuerdo con los resultados que mencionas, el factor de luz diurna en el aula varía entre 8.21% y 7.28% dependiendo del ángulo de apertura de la envolvente cinética. Con un ángulo de apertura de 0°, el factor de luz diurna es del 8.21%, mientras que con un ángulo de apertura de 45°, el factor de luz diurna es del 7.28%. Esto sugiere que la cantidad de luz natural que llega al aula disminuye a medida que aumenta el ángulo de apertura de la envolvente cinética y es casi similar al porcentaje que el edificio obtiene cuando las persianas están entre abiertas (apartado 4.2.3.2)

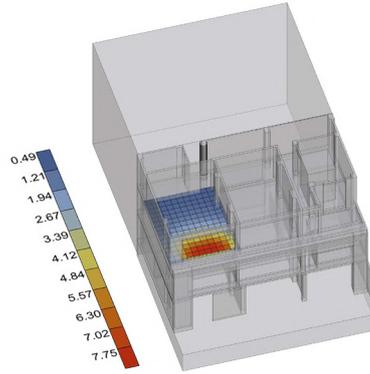
**Figura 106**

*Factor de Luz Diurna Interna 0°, EFTE.*

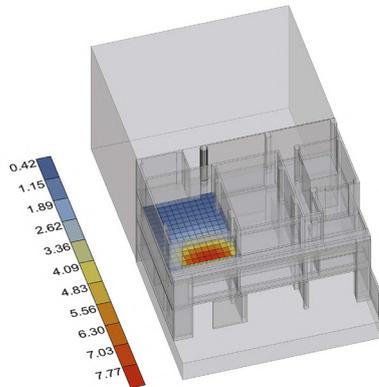
*Fuente: Autor*



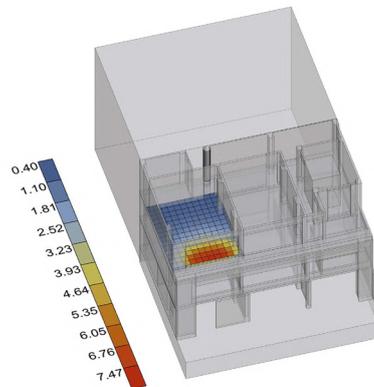
*Factor de Luz Diurna Interna 15°, EFTE*



*Factor de Luz Diurna Interna 30°, EFTE*



*Factor de Luz Diurna Interna 45°, EFTE*



Fuente: Autor

Material: Panel de copolímero de etileno-tetrafluoretileno (EFTE)

En base a los siguientes gráficos se presentan los resultados de la simulación del prototipo de envolvente de fachada cinética con iteraciones definidas de los ángulos a evaluar.

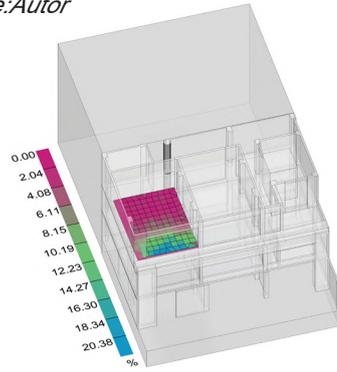
De acuerdo con los resultados que mencionas, el factor de luz diurna en el aula varía entre 8.20% y 7.47% dependiendo del ángulo de apertura de la envolvente cinética. Con un ángulo de apertura de 0°, el factor de luz diurna es del 8.20%, mientras que con un ángulo de apertura de 45°, el factor de luz diurna es del 7.47%. Esto sugiere que la cantidad de luz natural que llega al aula disminuye a medida que aumenta el ángulo de apertura de la envolvente cinética y es casi similar al porcentaje que el edificio obtiene cuando las persianas están entre abiertas. (apartado 4.2.3.2)

De acuerdo con los datos proporcionados de la simulación (algoritmo, anexo 20) del factor de luz diurna (Daylight Factor, DF) con Honeybee, el panel de policarbonato macizo con una apertura de 0° permite la mayor cantidad de luz natural en el aula, con un factor de luz diurna del 8.24%. Esto sugiere que este material podría ser una buena opción para aumentar la cantidad de luz natural en el aula y mejorar el confort visual. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la elección del mejor material para la envolvente no depende únicamente de su capacidad para aumentar la cantidad de luz natural en el aula. También hay otros factores que los veremos a continuación.

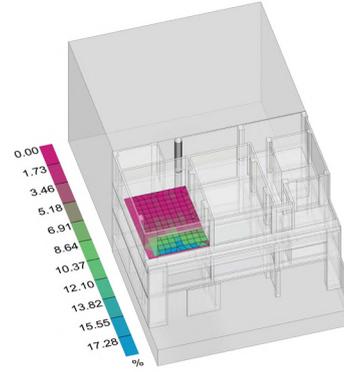
**Figura 107**

*Porcentaje de Visualización Interna 0°*

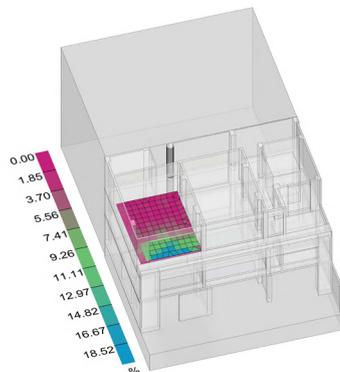
*Fuente: Autor*



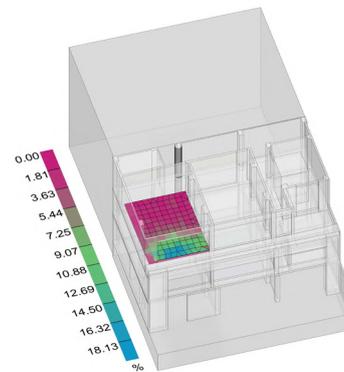
*Porcentaje de Visualización Interna 15°*



*Porcentaje de Visualización Interna 30°*



*Porcentaje de Visualización Interna 45°*



Fuente: Autor

### 4.3.3. Postevaluación con el indicador de porcentaje de visualización

En base a los siguientes gráficos se presentan los resultados de la simulación del prototipo de envolvente de fachada cinética con iteraciones definidas de los ángulos a evaluar.

Para llevar a cabo esta simulación, utilizamos el software Honeybee para evaluar el porcentaje de vista (View Percent) en un aula de clases con una envolvente cinética basada en alas de abeja ubicada en la parte externa de la única ventana del aula de clase. El porcentaje de vista es una medida de la cantidad de luz natural que llega a un punto en el interior de un edificio y que es visible para el ojo humano. Se expresa como un porcentaje y se utiliza para evaluar la calidad de la iluminación natural en un espacio interior.

De acuerdo con los resultados que mencionas, el porcentaje de vista en el aula varía entre 17.28% y 20.38% dependiendo del ángulo de apertura de la envolvente cinética. Con un ángulo de apertura de 0°, el porcentaje de vista es del 20.38%, mientras que con un ángulo de apertura de 15°, el porcentaje de vista es del 17.28%. Esto sugiere que la cantidad de luz natural visible en el aula disminuye a medida que aumenta el ángulo de apertura de la envolvente cinética. Sin embargo, se obtiene mayor porcentaje de visibilidad que al tener las persianas entre abiertas.

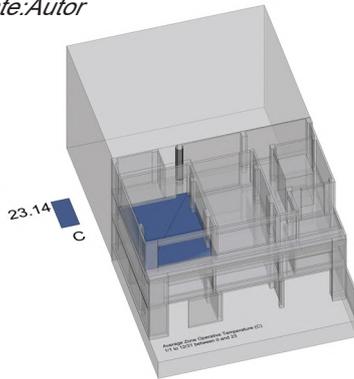
De acuerdo con los datos proporcionados de la simulación (algoritmo, anexo 21) del porcentaje de vista (View Percent) con Ladybug, el ángulo de apertura de la envolvente cinética que permite el mayor porcentaje de vista en el aula es  $0^\circ$ , con un porcentaje de vista del 20.38%. Esto sugiere que este ángulo de apertura podría ser una buena opción para maximizar la cantidad de luz natural visible en el aula y mejorar el confort visual.

En este punto es importante lograr un equilibrio entre la eficacia de las protecciones solares y la cantidad adecuada de luz natural en el interior. Aunque las protecciones solares pueden mejorar la temperatura y disminuir la carga de enfriamiento en los edificios, también pueden disminuir la cantidad de luz natural disponible en el interior. En algunos casos, las protecciones solares son tan efectivas que se necesita iluminación artificial, lo que resulta en un consumo excesivo de energía eléctrica. Por lo tanto, al elegir el ángulo de apertura óptimo para la envolvente cinética, es importante tener en cuenta tanto la eficiencia energética como el confort visual.

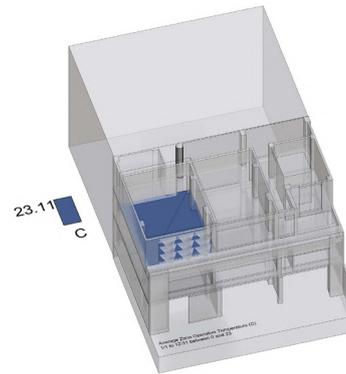
**Figura 108**

*Temperatura Interna - Policarbonato Macizo.*

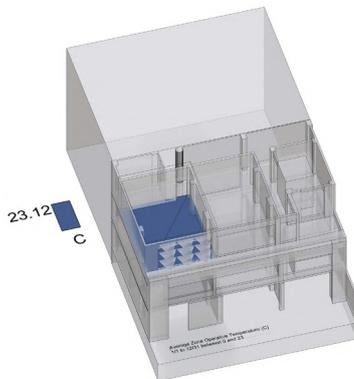
*Fuente: Autor*



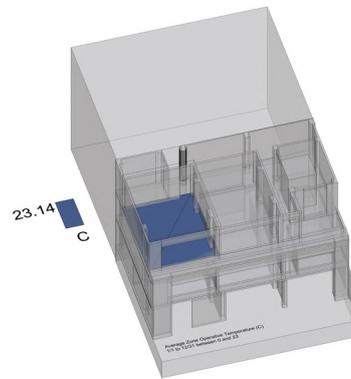
*Temperatura Interna Acrílico*



*Temperatura Interna - Madefibra*



*Temperatura Interna - EFTE*



Fuente: Autor

### 4.3.3. Postevaluación con el indicador de porcentaje de temperatura

En base a los siguientes gráficos se presentan los resultados de la simulación del prototipo de envolvente de fachada cinética con iteraciones definidas de los ángulos y el material a evaluar.

Para llevar a cabo esta simulación, utilizamos el software Honeybee para evaluar el edificio la envolvente cinética basada en alas de abeja ubicada en la parte externa de la única ventana del aula de clase y luego se hizo la simulación con ayuda de Open Studio Model. Se utilizó el componente Color Rooms para graficar la temperatura interior del aula en base a diferentes materiales como panel de policarbonato, acrílico, madefibra, vidrio laminado y alucobond. Los resultados de esta evaluación mostraron valores de temperatura de 23.14°, 23.11°, 23.12°, y 23.14° respectivamente.

Estos resultados indican que los diferentes materiales evaluados tienen un impacto muy pequeño en la temperatura interior del aula, ya que los valores de temperatura son muy similares entre sí. Esto sugiere que la elección del material para el envolvente puede basarse en otro factor además de su impacto en la temperatura interior.

De acuerdo con los datos proporcionados de la simulación (algoritmo, anexo 22) del prototipo de envolvente de fachada cinética con iteraciones definidas de los ángulos y el material a evaluar mostró que los diferentes materiales evaluados tienen un impacto muy pequeño en la temperatura interior del aula. Los valores de temperatura obtenidos para los diferentes materiales son muy similares entre sí, lo que sugiere que la elección del material para el envolvente puede basarse en otros factores además de su impacto en la temperatura interior.

Luego de haber realizado una ardua investigación sin tener datos con los que se pueda establecer una comparativa entre la radiación incidente existente y la radiación incidente con el prototipo de envolvente cinética, fue necesario generar valores en base a la temperatura y radiación incidente del pre y la post evaluación teniendo en cuenta que cada variable depende de la otra, como resultado se obtuvo que para alcanzar los 23°C se debe tener una energía solar igual a 74w/m<sup>2</sup>

#### **4.4. Discusión sobre resultados obtenidos en la pre y post evaluación de la UI-DE-Sede Loja**

La simulación realizada a través del programa de Grasshopper con los componentes de Honeybee y Ladybug permitió evaluar diferentes aspectos relacionados al desempeño energético del edificio, su confort térmico y visual. En la fase de preevaluación, se determinó que más del 50% de las aulas de clase superan los 74 watts por metro cuadrado de radiación térmica, o 23°C, lo que resulta según American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers en un espacio sin confort y según PSSA (Public Sector Sustainability Association) en un ambiente incómodo y poco propicio para el aprendizaje. Además, se observó que el porcentaje de luz natural que entra al aula con las persianas cerradas es limitado, generando la necesidad de utilizar iluminación artificial.

Actualmente para evitar el calentamiento del aula, se cierran totalmente las persianas lo que genera mayor consumo energético del edificio, debido a la utilización de luz artificial y ventiladores eléctricos que normalmente permanecen encendidas en horario de 12h00 a 19h00 (horario que se evaluó).

Asimismo, se determinó que la temperatura máxima evaluada en el aula es alta con respecto a la óptima según ASHRAE, afectando el rendimiento de los estudiantes.

En la fase de postevaluación, se identificaron diferentes opciones para mejorar el desempeño energético, confort térmico y visual del edificio. En cuanto a la ganancia de calor solar, se identificó que el panel de madefibra con una apertura de 45° permite el paso de 77.55 w/m<sup>2</sup> de energía solar al aula, permitiendo reducir la ganancia de calor solar y optimar el confort térmico del aula de clase

Por otro lado, se identificó que el panel de policarbonato macizo con una apertura de 0° permite la mayor cantidad de luz natural en el aula, lo que resulta en la mejor opción (en base a los materiales evaluados) para aumentar la cantidad de luz natural llegando a 8.24% en el aula mejorando el confort visual de los estudiantes.

Finalmente, se identificó que el ángulo de apertura de la envolvente cinética que permite el mayor porcentaje de vista en el aula es 0° con un 20.38% de vista desde el interior hacia el exterior, siendo la mejor opción (en base a lo analizado) para maximizar la cantidad de luz natural visible en el aula y mejorar el confort visual de los estudiantes.

En conclusión, la simulación realizada a través del software Grasshopper con Honeybee y Ladybug permitió evaluar diferentes aspectos relacionados con el desempeño energético del edificio, confort térmico y visual. Se determinó que los material más óptimo para usar en la estructura envolvente son el policarbonato macizo y la madefibra por su temperatura, mejor radiación incidente y su máximo porcentaje de luz entrante en el aula. Cabe recalcar que la simulación puede ayudar a predecir el comportamiento del edificio y a explorar diferentes opciones de diseño y materiales, sin embargo, esta información resultante debe ser evaluada por expertos en el campo y comprobada con mediciones reales en el sitio.

**Figura 109**

*Representación de la estructura envolvente en el Edificio de la UIDE-Sede Loja. Fuente: Autor*



En la figura 109 se creó el render de la estructura envolvente desarrollada con uno de los materiales (en este caso madefibra) que muestra una de las soluciones óptimas para mejorar el desempeño energético y el confort térmico del edificio de la UIDE-Sede Loja. El panel de madefibra con una apertura de 45°-30°-15°-0° dependiendo de la necesidad de cada aula permite reducir la ganancia de calor solar y optimar el confort térmico de la misma.

La madefibra es un material que ha demostrado ser eficaz en la regulación de la temperatura y la radiación incidente en el aula. Su uso en la estructura envolvente del edificio permite maximizar el confort térmico y mejorar el desempeño energético del mismo.

Otro punto importante es la necesidad de cambiar las ventanas de vidrio templado por unas pivotantes con apertura hacia el interior para que el flujo de aire del mecanismo ingrese de la mejor manera hacia el interior del edificio. Las ventanas pivotantes permiten una mayor apertura y una mejor circulación del aire, lo que puede mejorar la ventilación y el confort térmico en el interior. Además, al abrir hacia adentro, estas ventanas también pueden facilitar la limpieza y el mantenimiento.

## **CAPITULO V. REFLEXIONES DEL DISEÑO DE ESTRUCTURA ENVOLVENTE BASADA EN LA NATURALEZA PARA LA UIDE-SEDE LOJA**

Después de todo el estudio previo, se entiende que la arquitectura es una disciplina en constante evolución que se adapta a las necesidades de la sociedad y las tecnologías disponibles. Así como el rol de los arquitectos han evolucionado con el tiempo y ya no se limita a ser agentes de notación. La tecnología digital se ha combinado con la artesanía en sistemas mixtos que permiten mejorar la eficiencia en el diseño y construcción de proyectos arquitectónicos. La tecnología ya no se opone a la artesanía, sino que ambas trabajan juntas para crear mejores resultados.

La biomimética es un enfoque reciente que busca inspirarse en la naturaleza para crear soluciones innovadoras. Como seres humanos dinámicos, es importante buscar soluciones dinámicas y no estáticas para satisfacer nuestras necesidades cambiantes. A través de la experiencia personal de 5 años cursando el pregrado en el Edificio de la UIDE, ubicada la provincia de Loja-ciudad de Loja, se determinó problemas de confort térmico y visual que presentan las aulas orientadas al oeste del mismo.

Para abordar el reto de esta investigación, la arquitectura cinética es una estrategia que se utilizó con sus sistemas móviles y activos en la envolvente de los edificios para mejorar su eficiencia energética y su relación con el entorno. Al igual que la biomimética, la arquitectura cinética también puede inspirarse en la naturaleza para crear soluciones eficientes.

En base a estos antecedentes se llega a concluir la investigación en los siguientes puntos

### **5.0. Movimiento como solución dinámica**

En la revisión de literatura de este proyecto se ha considerado la naturaleza cambiante del ser humano y sus necesidades en constante evolución. Por lo tanto, es esencial ofrecer soluciones dinámicas. El movimiento es un elemento clave en la investigación, ya que la arquitectura cinética en el diseño de estructuras envolventes permite crear soluciones más adaptativas y flexibles que responden mejor a las necesidades y comportamientos de los usuarios.

### **5.1. Abstracción soluciones dinámicas mediante la abstracción de parámetros de diseño inspirados en la naturaleza**

Al definir y abstraer los parámetros del diseño, se determinaron soluciones dinámicas potenciales (Genes). En esta investigación, estos genes son el movimiento de rotación y trayectoria del ala de la abeja cuando regula la temperatura en su colmena.

## **5.2. Diseño evolutivo y fabricación del prototipo de estructura envolvente en 3D**

Desarrollar el diseño y fabricación del prototipo de estructura envolvente en conjunto es la clave que permitió una perspectiva realista y práctica del prototipo tomando en cuenta las consideraciones técnicas del software grasshop-per sin dejar de lado la parte constructiva, obteniendo un producto innovador fabricable.

La fabricación del prototipo de estructura envolvente impreso en 3D puede presentar cierta complejidad, debido a la precisión necesaria de sus componentes en su desarrollo, se determinó que el material idóneo de mayor exactitud para el prototipo de estructura envolvente es la resina aunque tenga un alto costo, también se determinó que por su resistencia PET(polietileno tereftalato) es apto para poder desarrollar el prototipo

## **5.3. Evaluación de la estructura envolvente mediante simulación de materiales**

Al simular la pre y post evaluación de la estructura envolvente en el edificio con el software Grasshopper utilizando los componentes Honeybee y Ladybug se determinó la mejora de los parámetros de temperatura, radiación y visibilidad, mientras que la luz entrante en el espacio se mantuvo.

Se determinó que el policarbonato macizo y la madefibra son los materiales óptimos para el uso en la estructura envolvente porque mantienen confortable la temperatura interna del espacio, disminuyen la radiación incidente interna y mejoran la visibilidad del interior del espacio hacia el exterior.

Al concluir la investigación y en base a lo expuesto anteriormente, se alienta a los lectores a continuar utilizando y explorando con materiales livianos y maleables con cierta flexibilidad para adaptarse a ondas de viento para mejorar aún la eficacia del mecanismo, también plantear otras alternativas de mecanismo de estructuras envolventes industrializando la producción con materiales del mercado.

En este punto de la investigación, el cambio de pensamiento ha desarrollado una reflexión acerca de este diseño avanzado donde explora las relaciones entre la arquitectura y las intervenciones estructurales, ambientales y humanas. A través de una serie de estrategias como la envolvente cinética, la biomimesis y la inclusión de distintos pensamientos y campos profesionales, se definen nuevos puntos de intersección entre la identidad colectiva y el pensamiento de lo común. Se debe desarrollar el pensamiento común de la sociedad con el fin de establecer un crecimiento y desarrollo colectivo desde la arquitectura. La construcción de bordes necesarios para definir estos espacios sociales permite la creación de redes de acción y la participación recíproca. La envolvente cinética potencializa la experimentación y evidencia la innovación de lo común mediante el prototipado que incrementan la participación activa de las personas y dan acceso a una atmósfera habitable. Además, este diseño innovador integra geometrías evolutivas que recopilaron lo mejor de muchas generaciones para llegar a un estado de consenso para crear un ambiente agradable para los estudiantes y el personal. La envolvente cinética es una solución óptima para mejorar el bienestar en el edificio universitario. El desarrollo del sistema permite que se parametrize el diseño mecánico en función de cómo se entienda a la naturaleza y se extraiga la esencia de sistema que por millones de años han funcionado y se han adaptado al entorno.

## BIBLIOGRAFÍA

- AIA JAPAN. (26 de Abril de 2021). Keynote - Ken Yeang: Designing for Sustainability and Resilience based on the Science of Ecology (AIA IR Singapore). Obtenido de <https://www.aiainternational.org/online-lectures-calendar/2021/4/26/keynote-ken-yeang-designing-for-sustainability-and-resilience-based-on-the-science-of-ecology>
- acdis.org. (1 de Marzo de 2019). acdis.org. Obtenido de <https://acdis.org/articles/2019-update-guidelines-achieving-compliant-query-practice>
- ACRILICOS S.A. (s.f.). LÁMINA DE ACRILOCO. Obtenido de <https://www.acrilicos.com/wp-content/uploads/2022/03/Ficha-Tecnica-Acrylic.pdf>
- Alucobond. (s.f.). ALUCOBOND® PLUS. Obtenido de <https://alucobond.com/products/alucobond-plus?locale=es>
- Amaya, F. (2008). LA SIMULACIÓN COMPUTARIZADA COMO INSTRUMENTO DEL MÉTODO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA FÍSICA, DESDE LA COGNICIÓN SITUADA: LEY DE OHM. Actualidades Investigativas en Educación, 1-31.
- American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers. (2020). Thermal environmental conditions for human occupancy.
- ArchDaily. (2019). What are Kinetic Facades in Architecture. <https://www.archdaily.com/922930/what-are-kinetic-facades-in-architecture>.
- Arizona State University. (s.f). askabiologist. Obtenido de <https://askabiologist.asu.edu/anatom%C3%A1Da-de-abejas-mel%C3%ADferas>
- Baixas, J. (2012). Envolventes: la piel de los edificios. <https://doi.org/10.4067/S0717-69962012000300016>, 98-101.
- BIOMIMICRY . (2015). BIOMIMICRY TOOL BOX. Obtenido de <https://toolbox.biomimicry.org/es/introduccion/>
- Bustamante, D. (2014). La profundidad de la envolvente. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/50380>
- Castelló, D. (s.f.). Metodología de la investigación. Obtenido de <https://poliformat.upv.es/access/content/user/24389381/Contenido%20abierto%20al%20p%C3%BAblico/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n/3.2%20Metodologi%CC%81a%20experimental.pdf>
- Candia Fuentes, C. (2012). scribd. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/77189671/Escultura-cinetica>
- Carpo, M. (21 de Diciembre de 2018). PA Talks 02 The Second Digital Turn. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=1lvPwUGWSKY>
- Chiou, Y. S. (3 de Marzo de 2020). Visual Comfort in Modern University Classrooms. Sustainability. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/su12093930>
- Climaterra. (27 de Agosto de 2019). La desaparición de las abejas en el mundo. Obtenido de <https://www.climaterra.org/post/la-desaparici%C3%B3n-de-las-abejas-en-el-mundo>
- Coellar, I. (2018). ucuena. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30293>

- De Canales, F. (2001). Envolventes. revista de Crítica y Teoría de la Arquitectura, 5-6, 62-71.
- «Definiciona, definición y etimología. (2016). «Definiciona, definición y etimología. Obtenido de <https://definiciona.com/fachada/#etimologia>
- Diccionario Actual. (2018). [diccionarioactual](https://diccionarioactual.com/energia-cinetica/). Obtenido de <https://diccionarioactual.com/energia-cinetica/>
- Ernesto, G., Adriana, C., Laura G., E., & Guadalupe, G. (2011). Colonización, impacto y control de las abejas melíferas africanizadas en México. [scielo](https://scielo.org).
- Espinoza, L. (2017). Arquitectura biomimética Centro de Investigación Biológica, Hospital de Navarra. España. ARQUITEXTOS, 33-38.
- ESTUDIO STGO. (2012). [stgo](https://stgo.es/2012/09/arte-cinetico-escultura-en-movimiento/). Obtenido de <https://stgo.es/2012/09/arte-cinetico-escultura-en-movimiento/>
- Experience Grand Rapids. (2022). [experiencegr](https://www.experiencegr.com/articles/post/calder). Obtenido de <https://www.experiencegr.com/articles/post/calder>
- Fox, M., & Yeh, B. (2000). Intelligent Kinetic Systems in Architecture. Managing Interactions in Smart Environments, 91-103.
- García, J., & Sánchez, P. (2020). Diseño teórico de la investigación: instrucciones metodológicas para el desarrollo de propuestas y proyectos de investigación científica. SCIELO.
- García, P. (2017). [library](https://1library.co/title/estudio-de-las-fachadas-activas-en-la-edificacion). Obtenido de <https://1library.co/title/estudio-de-las-fachadas-activas-en-la-edificacion>
- González, M., & Molina, L. (2017). Envolvente arquitectónica: un Espacio para la sostenibilidad. Revista Hábitat Sustentable Vol. 5,.
- Haramoto, E. (2002). Proyección paralela: metodología de diseño arquitectónico. Adrede.
- Hernandez Martinez, C. (2015). Biblioteca Universitaria Politecnica. Obtenido de [https://oa.upm.es/40886/1/MARIA\\_CAROLINA\\_HERNANDEZ\\_MARTINEZ.pdf](https://oa.upm.es/40886/1/MARIA_CAROLINA_HERNANDEZ_MARTINEZ.pdf)
- Hoque, S. &. (2016). The relationship between comfort perceptions and academic performance in university classroom buildings. Journal of Green Building. Obtenido de <https://doi.org/10.3992/jgb.11.1.108.1>
- HYDROSIGHT. (2009). VENTANAS DE ACRÍLICO VS. VENTANAS DE VIDRIO. Obtenido de <https://www.hydro-sight.com/es/vidrio-vs-acrilico-la-comparacion>
- International Energy Agency. (2013). Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities. Paris: International Energy Agency.
- KENCH, S. (2020). [Studiobinder](https://www.studiobinder.com/blog/what-is-kinetic-art/). Obtenido de <https://www.studiobinder.com/blog/what-is-kinetic-art/>
- kronoshome. (s.f.). [kronoshome](https://www.kronoshomes.com/es/ideas/que-es-el-confort-termico/). Obtenido de <https://www.kronoshomes.com/es/ideas/que-es-el-confort-termico/>
- LaVanguardia. (2016). LaVanguardia. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/natural/20160524/402013701495/biomimesis-inventos-naturaleza.html#:~:text=La%20biomimesis%20plantea%20que%20no,referentes%20espa%C3%B1oles%20en%20este%20campo>.
- lifeder. (2022). Método experimental. Obtenido de <https://www.lifeder.com/metodo-cientifico-experimental/>
- M. Gea, B. S. (s.f.). [sedici.unlp.edu.ar](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/83195/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1). Obtenido de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/83195/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/83195/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1)

Mackenzie, A. (25 de Marzo de 2014). architectureau. Obtenido de <https://architectureau.com/articles/national-identity-in-architecture-an-interview-with-rem-koolhaas/>

Maderame. (s.f.). Maderame. Obtenido de <https://maderame.com/fachadas-madera/>

Manufacturer, A. F. (s.f.). La Conductividad Eléctrica Del Aluminio. Obtenido de <https://materiales.phemtycs.com/la-conductividad-electrica-del-aluminio/Maquina--Mecanismos.> (Febrero de 2015). maquina--mecanismos. Obtenido de <https://maquina--mecanismos.blogspot.com/p/transmision-por-cadena.html>

Material-Properties. (s.f.). Vidrio – Densidad – Capacidad calorífica – Conductividad térmica. Obtenido de <https://material-properties.org/es/vidrio-densidad-capacidad-calorifica-conductividad-termica/>

MoMA. (s.f.). Alexander Calder. Obtenido de <https://www.moma.org/artists/922>

Museo de Física. (2021). museo.fisica.unlp. Obtenido de <http://museo.fisica.unlp.edu.ar/museo-desde-casa/alexander-calder-16478>

Nievessaenzm. (6 de Julio de 2014). ESCULTURAS CINÉTICAS: BELLEZA IMPONENTE Y ARMONÍA MÓVIL. Obtenido de <https://nievessaenzm.wordpress.com/2014/07/06/esculturas-cineticas-belleza-imponente-y-armonia-movil/>

Oneistox. (2023). Everything You Need to Know About Kinetic Architecture. Obtenido de <https://www.oneistox.com/blog/kinetic-architecture-guide>

Openstax. (2006). Calorimetria. Obtenido de <https://openstax.org/books/qu%C3%ADmica-2ed/pages/5-2-calorimetria>

Plásticos, T. d. (3 de Marzo de 2013). Copolímero de etileno-tetrafluoroetileno (ETFE). Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2013/03/etfe.html#:~:text=El%20ETFE%20es%20un%20pl%C3%A1stico,se%20quema%20libera%20%C3%A1cido%20fluorh%C3%ADrico.>

POLYRISE. (s.f.). Jiangxi Polyrise Group. Obtenido de <https://www.polyrise.cn/product/105.html>

PSSA. (s.f.). The importance of thermal comfort in the education sector. Obtenido de <https://pssa.info/the-importance-of-thermal-comfort-in-the-education-sector/>

Ramzy, N., & Fayed, H. (2011). Kinetic systems in architecture: New approach for environmental control systems and context-sensitive buildings. *Sustainable Cities and Societ*, 170-177.

Real Academia Española. (2022). Real Academia Española,. Obtenido de <https://dle.rae.es/cinético>

Rodríguez, H. (23 de Noviembre de 2020). nationalgeographic. Obtenido de [https://www.nationalgeographic.com/es/naturaleza/cientificos-elaboran-primer-mapa-biodiversidad-abejas\\_16105](https://www.nationalgeographic.com/es/naturaleza/cientificos-elaboran-primer-mapa-biodiversidad-abejas_16105)

Rossi, A. (2015). *La arquitectura de la ciudad*. Barcelona: Gustavo Gili, S.L.

Ruth, R. (2012). cumincad. Obtenido de [http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2012\\_14.content.pdf](http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2012_14.content.pdf)

Saint-Gobain. (s.f.). ASESORAMIENTO TÉCNICO - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GAMA DE CONTROL SOLAR COOL-LITE. Obtenido de <https://www.saint-gobain-glass.es/es/asesoramiento-tecnico-caracteristicas-tecnicas-gama-de-control-solar-cool-lite>

Sánchez, J., & Campos, P. (2018). upcommons. Obtenido de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/130219/14\\_Jorge%20Sanchez%20Bajo,%20Pablo%20Campos.pdf?sequence=3](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/130219/14_Jorge%20Sanchez%20Bajo,%20Pablo%20Campos.pdf?sequence=3)

Sergio, G. (19 de Junio de 2017). sgarq. Obtenido de <https://sgarq.com/que-es-el-confort-termico/>

SIMBAÑA, H. (2015). Evaluación de tres métodos de reproducción de abejas reinas de la especie (*Apis mellifera*) en el cantón Pedro Moncayo . Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9837/1/YT00305.pdf>.

SLU, S. S. (s.f.). <https://www.solerpalau.com/>. Obtenido de <https://www.solerpalau.com/>: <https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-velocidad-del-aire/>

Soler & Palau Sistemas de ventilacion. (2006). Velocidad del aire. Obtenido de <https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-velocidad-del-aire/>

Soriano, P. F., Colmenares, V. S., Gil-Lopesino, E., & CastilloVinuesa, E. (2019). Versiones Beta. El prototipado como herramienta de aprendizaje. I Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura, 491-504.

Spaces4Learning. (2020). Comfort Is Critical for Student Success. Here Are 3 Simple Factors to Consider. Obtenido de <https://spaces4learning.com/articles/2020/05/25/comfort-is-critical-for-student-success.-here-are-3-simple-factors-to-consider.aspx>

Tate. (s.f.). Who is Alexander Calder? Obtenido de <https://www.tate.org.uk/art/artists/alexander-calder-848/who-is-alexander-calder>

STGO. (2012). Obtenido de Obras cinéticas

Techno.expertepro. (s.f.). Monolítico policarbonato: propiedades y aplicación. Obtenido de <https://techno.expertepro.com/es/stroitelnye-materialy/241-monolitnyj-polikarbonat-svoystva-i-primenenie.html#p2>

Tectonica. (s.f.). Obtenido de <https://tectonica.archi/materials/sistema-de-efte-para-cubiertas-y-fachadas/>

Thermal Engineering. (11 de 09 de 2019). Qué es la absorción de calor? Obtenido de <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-absorcion-de-calor-definicion/>

todoenmaderashop. (s.f.). Conoce todo sobre las propiedades térmicas de la madera. Obtenido de <https://www.todoenmaderashop.com/propiedades/termicas/>

Tweddale, N. M. (11 de Junio de 2019). Festival of the Arts - Nancy Mulnix Tweddale. (F. o. Arts, Entrevistador)

Treuil, J.-P., Drogoul, A. y Zucker, J.-D. (2008), *Modélisation et simulation à base d'agents*, Dunod, Paris.

Vaz Ferra, T. (2017). *energiatoday*. Obtenido de *energiatoday*: <https://energiatoday.com/cinetica/>

Vitralba. (s.f.). EL VIDRIO y la transmisión de calor. Obtenido de [https://vitralba.com/wp-content/uploads/2018/09/el\\_vidrio\\_y\\_la\\_transmision\\_de\\_calor.pdf](https://vitralba.com/wp-content/uploads/2018/09/el_vidrio_y_la_transmision_de_calor.pdf)

Wang, J., & Li, J. (Marzo de 2010). Bio-inspired Kinetic Envelopes for Building Energy Efficiency based on Parametric Design of Building Information Modeling. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/5449511>

Wieloch, Marcin, K., & J, A. (2004). Edificación y Medio Ambiente. Solar energy absorption by acrylic coatings–I: absorption characteristics, 1313-1319. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132304001076>

Wigginton, M., & Harris, J. (2002). *Intelligent Skins*. Oxford: Reed Educational and. <https://www.xlse-manal.com/personajes/20171001/norman-foster-lo-unico-constante-cambio-creo-futuro.html#:~:text=N.F.,Lo%20%C3%BAnico%20constante%20es%20el%20cambio.,otros%20estaban%20ansiosos%20porque%20sucieran>.

Yeang, K. (2007). *Eco Skyscrapers*. Australia: Images Publishing. Obtenido de [https://books.google.com.ec/books?id=QitFFq7Ybg0C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=QitFFq7Ybg0C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Yilmaz, B. (2014). *Art Enginnering and Kinetic Art*. Revisiones científicas interdisciplinaria

# ANEXOS

## Anexo 1

Caja de Herramienta fase Definir Reto. Fuente: BIOMIMICRY, (2015).

### Definir el reto

Al empezar un reto de diseño, es importante definirlo y asegurarte de que tú y tus compañeros de equipo tengan un entendimiento común de lo que están buscando lograr con su diseño. Utiliza esta hoja de trabajo para definir tu reto y generar una pregunta de diseño.

#### Contextualiza tu reto:

Ofrece una explicación sencilla del impacto que quieres tener. (Pista: no se trata de hablar de lo que quieres hacer, sino de lo que deseas que tu diseño logre o haga).

LOGRAR UN MECANISMO DE DISEÑO MOVIMIENTO QUE PERMITA  
CONTENER BASADO EN UNA ESTRUCTURA NATURAL AUTOCTONA QUE  
PERMITA CONTROLAR EL FLUJO DE CALOR, AIRE E ILUMINACIÓN

#### Considera el contexto: DEL ESPACIO.

Describe algunos de los factores contextuales que son importantes para el reto. (Pista: esto podría incluir grupos de interesados, condiciones de la localidad, disponibilidad de recursos, etc.).

- ESTRUCTURA NATURAL AUTOCTONA
- EXTERNA.

#### Pregunta de diseño:

Utilizando la información anterior, plantea tu reto en forma de pregunta:

¿Cómo podríamos... AYUDAR A LOS USUARIOS DEL ESPACIO A CONTROLAR?  
LOS FLUJOS DE CALOR, AIRE E ILUMINACIÓN A TRAVÉS DE ESTRUCTURAS GÉNICAS  
DE MECANISMOS DE MOVIMIENTO CON ESTRUCTURAS GÉNICAS

#### Pon a prueba la pregunta:

¿Es demasiado general? Tu pregunta debe dar un sentido del contexto en el cual estás diseñando, así como del impacto que deseas tener y a qué o a quién beneficia. Si tu pregunta no logra hacer esto, puede que sea muy general.

¿Es demasiado limitada? Tu pregunta debe ser hasta cierto punto una pregunta abierta para asegurarte de que no has llegado a conclusiones acerca de lo que estás diseñando. Si tu pregunta es muy específica, puede que sea muy limitada.

#### Si es necesario, intenta de nuevo:

¿Cómo podríamos \_\_\_\_\_?

Anexo 2

Caja de Herramienta fase Supersistemas. Fuente: BIOMIMICRY, (2015).

### Supersistema

(medio ambiente extenso que proporciona energía, materiales e información)

HABITAD LOCAL

Ciudad

EDIFICIO

FACHADAS

PROPORCIONAN PROTECCIÓN Y AISLAMIENTO DE CONDICIONES  
DOS FABRILABIOS DE SU ENTORNO.

### Sistema paralelo

PAREDES

### Subsistema

- Control de Divisiones
- Control de Pines
- Divisores

### Sistema de interes

ESTRUCTURA  
CINETICA

### Subsistema

- Control de los Flujos de Calor
- Aire e Iluminación
- mediante el movimiento

### Sistema paralelo

PUERTA

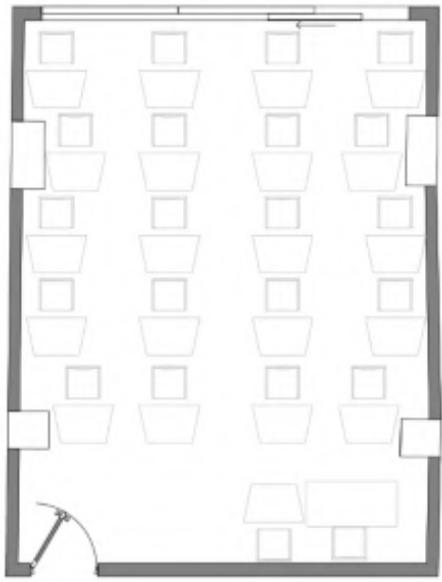
### Subsistema

- Cierre
- Sistema para controlar el Cierre



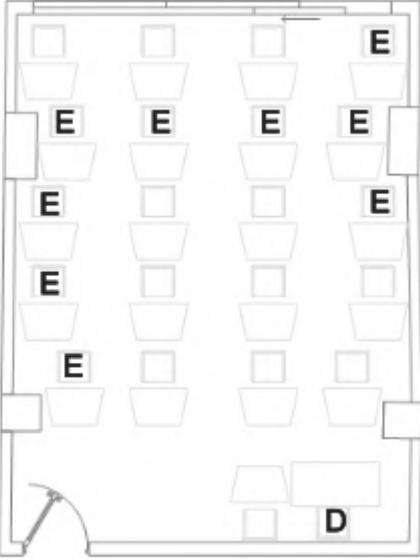
**Anexo 4.**

*Formulario base de actividades que se desarrollan en las Aulas de la UIDE. Fuente: Autor*

<b>Actividad:</b>		
<b>Ventana</b>	Abierta ( )	Cerrada ( )
<b>Persianas</b>	Abierta ( ) # ( )	Cerrada ( ) # ( )
<b>Trabajan con computadoras</b>	Si ( )	No ( )
<b>Iluminación Encendida</b>	Si ( ) Parcialmente ( )	No ( )
<b>Ventilador Encendido</b>	Si ( ) Parcialmente ( )	No ( )
<b>Puerta abierta</b>	Si ( ) Parcialmente ( )	No ( )
<b>Tendencia de como los estudiantes se sientan</b>		
		

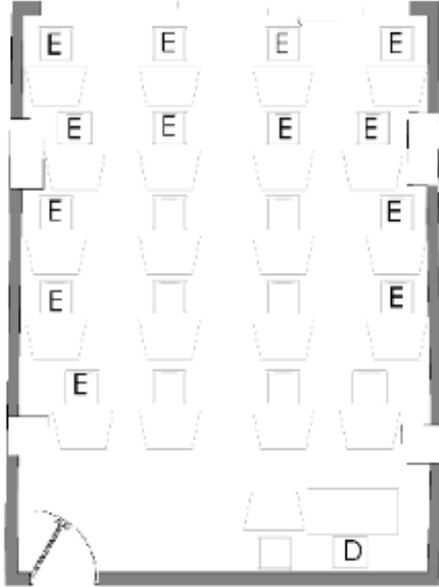
**Anexo 5.**

*Actividad de revisiones individuales. Fuente: Autor*

<b>Actividad: Revisiones individuales</b>			
<b>Ventana</b>	Abierta ( )	Cerrada ( x )	
<b>Persianas</b>	Abierta ( ) # ( )	Cerrada ( x ) # ( 3 )	
<b>Trabajan con computadoras</b>	Si ( x )	No ( )	
<b>Iluminación Encendida</b>	Si ( x )	Parcialmente ( )	No ( )
<b>Ventilador Encendido</b>	Si ( x )	Parcialmente ( )	No ( )
<b>Puerta abierta</b>	Si ( )	Parcialmente ( )	No ( x )
<b>Tendencia de como los estudiantes se sientan</b>			
			

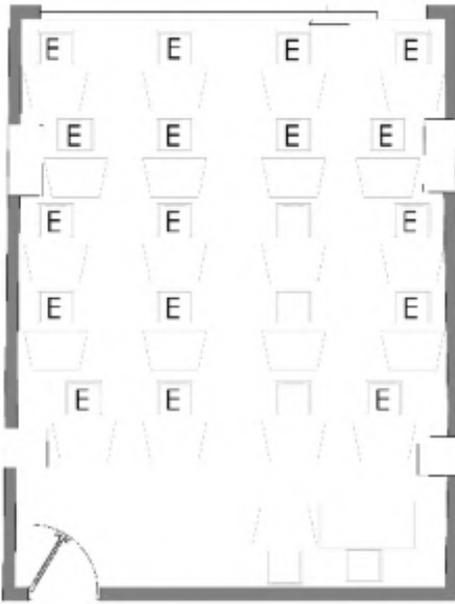
**Anexo 6.**

*Actividad de Exposiciones con Infocus. Fuente: Autor*

Actividad: Exposiciones con Infocus		
Ventana	Abierta ( )	Cerrada ( x )
Persianas	Abierta ( ) # ( )	Cerrada ( x ) # ( )
Trabajan con computadoras	Si ( x )	No ( )
Iluminación Encendida	Si ( ) Parcialmente ( x )	No ( )
Ventilador Encendido	Si ( x ) Parcialmente ( )	No ( )
Puerta abierta	Si ( ) Parcialmente ( )	No ( x )
Tendencia de como los estudiantes se sientan		
 Diagrama de un aula con 20 sillas dispuestas en 5 filas y 4 columnas. Una pizarra (D) está ubicada en la parte inferior derecha. Una puerta está visible en la parte inferior izquierda.		

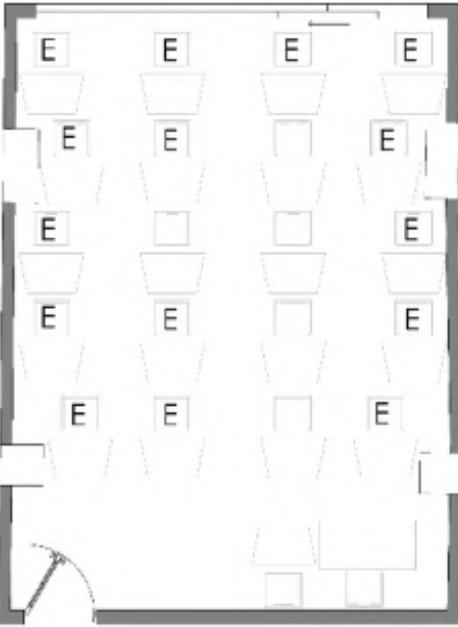
**Anexo 7.**

*Actividad de Trabajos Grupales. Fuente: Autor*

Actividad: Trabajos Grupales		
Ventana	Abierta ( x )	Cerrada ( )
Persianas	Abierta ( x ) # ( 1 )	Cerrada ( ) # ( )
Trabajan con computadoras	Si ( x )	No ( )
Iluminación Encendida	Si ( x )    Parcialmente ( )	No ( )
Ventilador Encendido	Si ( x )    Parcialmente ( )	No ( )
Puerta abierta	Si ( )    Parcialmente ( x )	No ( )
<b>Tendencia de como los estudiantes se sientan</b>		
		

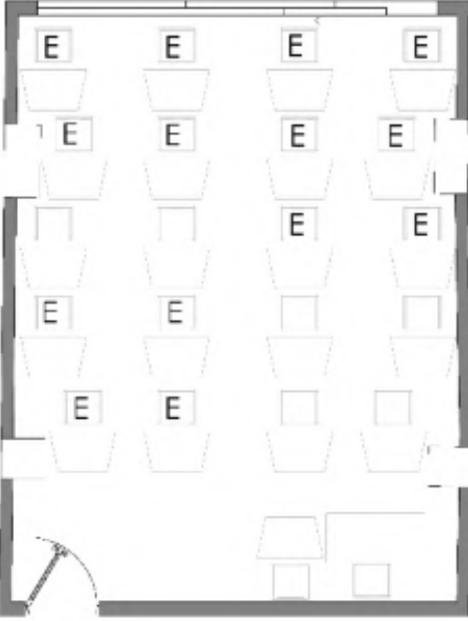
**Anexo 8.**

*Actividad de Revisión tipo taller Fuente: Autor*

Actividad: Revisión Tipo Taller		
Ventana	Abierta ( x )	Cerrada ( )
Persianas	Abierta ( x ) # ( 1 )	Cerrada ( ) # ( )
Trabajan con computadoras	Si ( x )	No ( )
Iluminación Encendida	Si ( x )    Parcialmente ( )	No ( )
Ventilador Encendido	Si ( x )    Parcialmente ( )	No ( )
Puerta abierta	Si ( )    Parcialmente ( )	No ( x )
Tendencia de como los estudiantes se sientan		
		

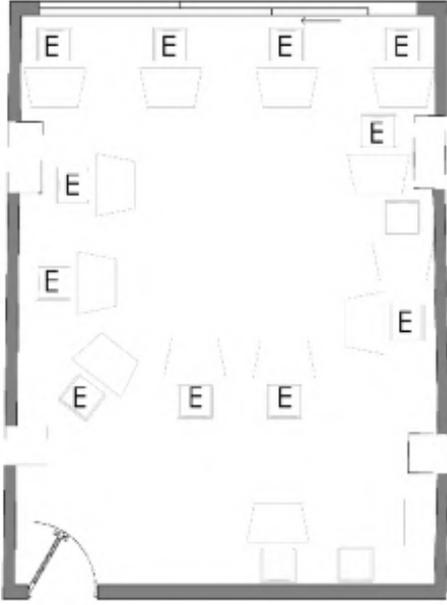
**Anexo 9.**

*Actividad de maqueteria. Fuente: Autor*

Actividad: Maquetación		
Ventana	Abierta ( x )	Cerrada ( )
Persianas	Abierta ( x ) # ( 1 )	Cerrada ( ) # ( )
Trabajan con computadoras	Si ( )	No ( x )
Iluminación Encendida	Si ( x )	Parcialmente ( ) No ( )
Ventilador Encendido	Si ( x )	Parcialmente ( ) No ( )
Puerta abierta	Si ( x )	Parcialmente ( ) No ( )
Tendencia de como los estudiantes se sientan		
		

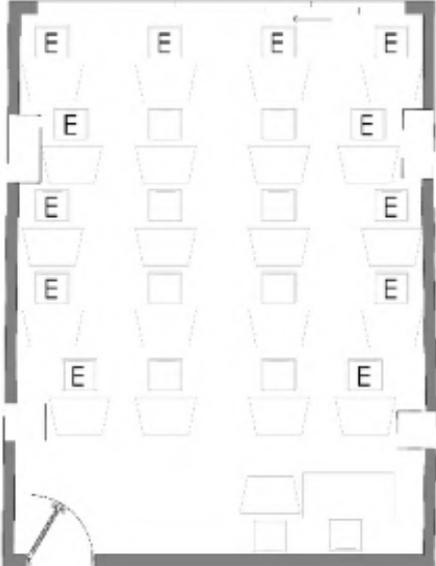
**Anexo 10.**

*Actividad de Exposición tipo Galería. Fuente: Autor*

<b>Actividad: Exposición tipo Galería</b>			
<b>Ventana</b>	Abierta ( )	Cerrada ( x )	
<b>Persianas</b>	Abierta ( x ) # ( 3 )	Cerrada ( ) # ( )	
<b>Trabajan con computadoras</b>	Si ( x )	No ( )	
<b>Iluminación Encendida</b>	Si ( x )	Parcialmente ( )	No ( )
<b>Ventilador Encendido</b>	Si ( x )	Parcialmente ( )	No ( )
<b>Puerta abierta</b>	Si ( x )	Parcialmente ( )	No ( )
<b>Tendencia de como los estudiantes se sientan</b>			
			

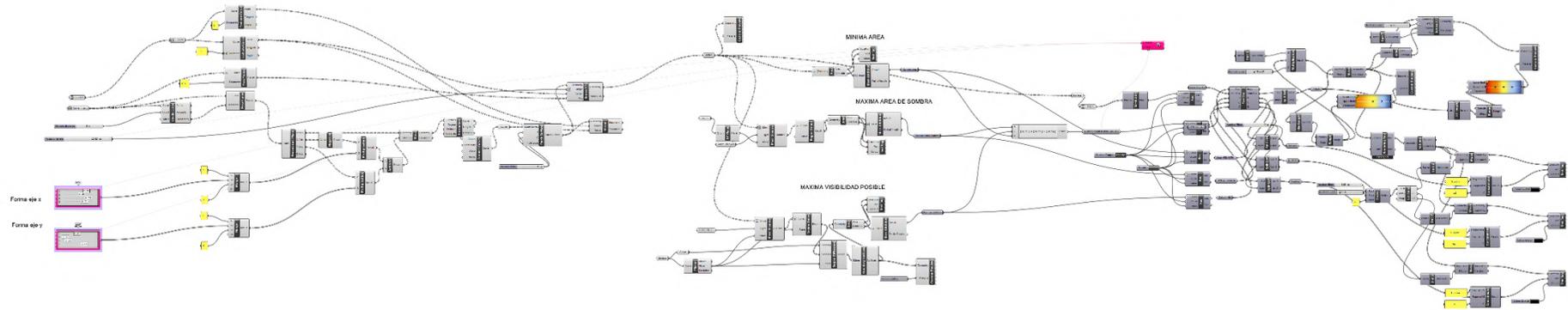
**Anexo 11.**

*Actividad de trabajos individuales. Fuente: Autor*

<b>Actividad: Trabajos Individuales</b>		
<b>Ventana</b>	Abierta ( x )	Cerrada ( )
<b>Persianas</b>	Abierta ( x ) # ( 1 )	Cerrada ( ) # ( )
<b>Trabajan con computadoras</b>	Si ( x )	No ( )
<b>Iluminación Encendida</b>	Si ( x )	Parcialmente ( ) No ( )
<b>Ventilador Encendido</b>	Si ( x )	Parcialmente ( ) No ( )
<b>Puerta abierta</b>	Si ( )	Parcialmente ( ) No ( x )
<b>Tendencia de como los estudiantes se sientan</b>		
		

**Anexo 12.**

*Algoritmo de búsqueda de forma fase 1. Fuente: Autor*

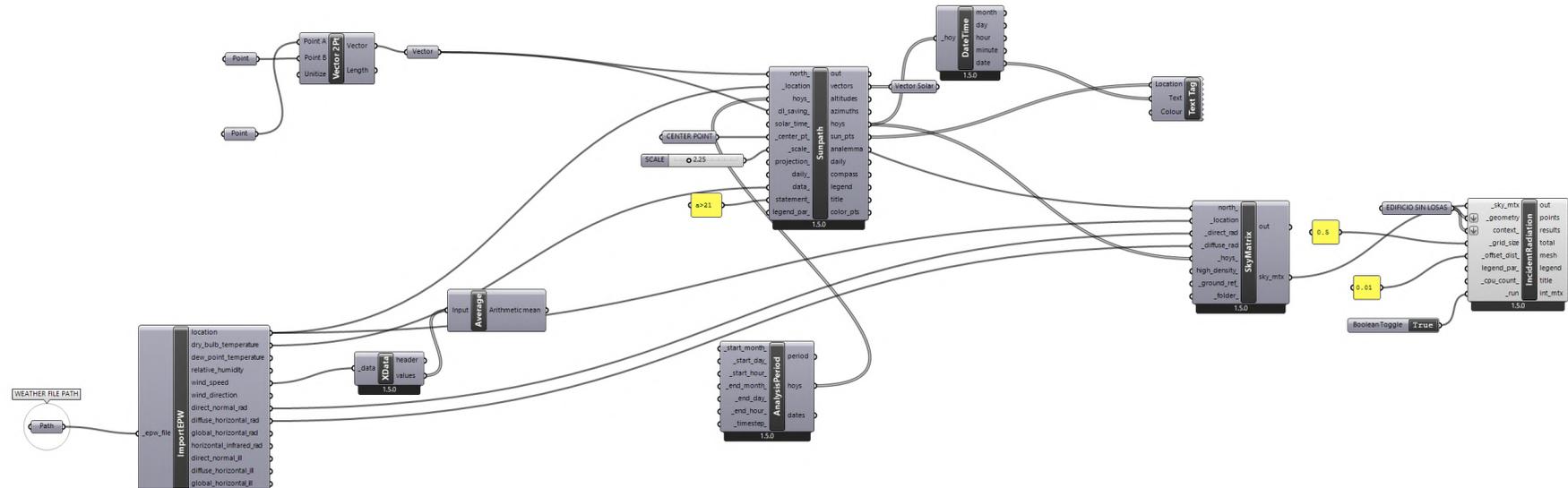






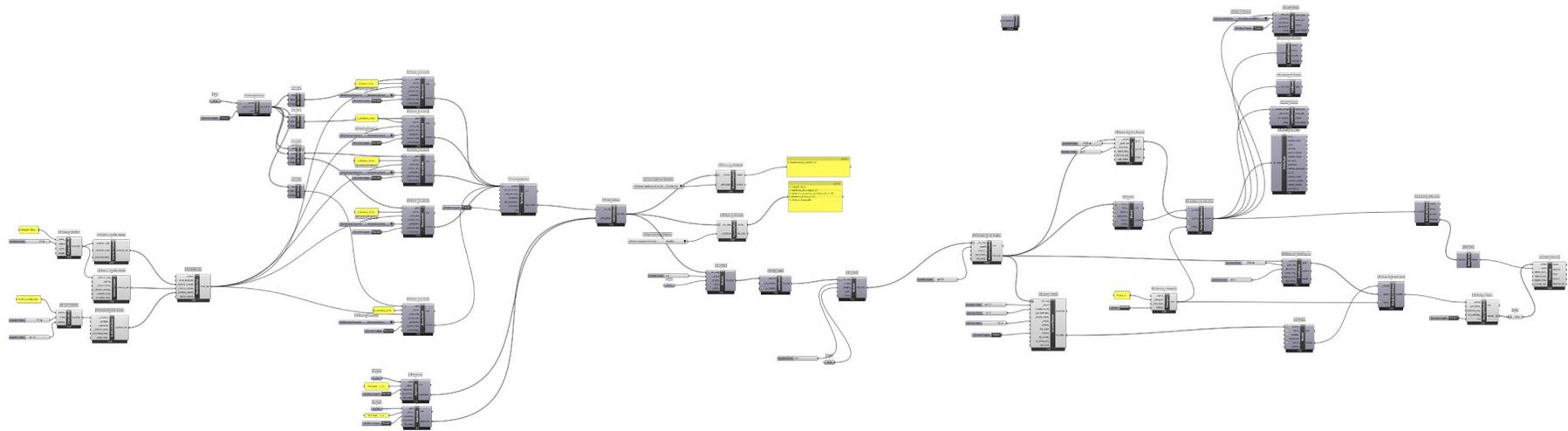
## Anexo 15.

Algoritmo preevaluación de radiación incidente exterior edificio Uide-Sede Loja. Fuente: Autor



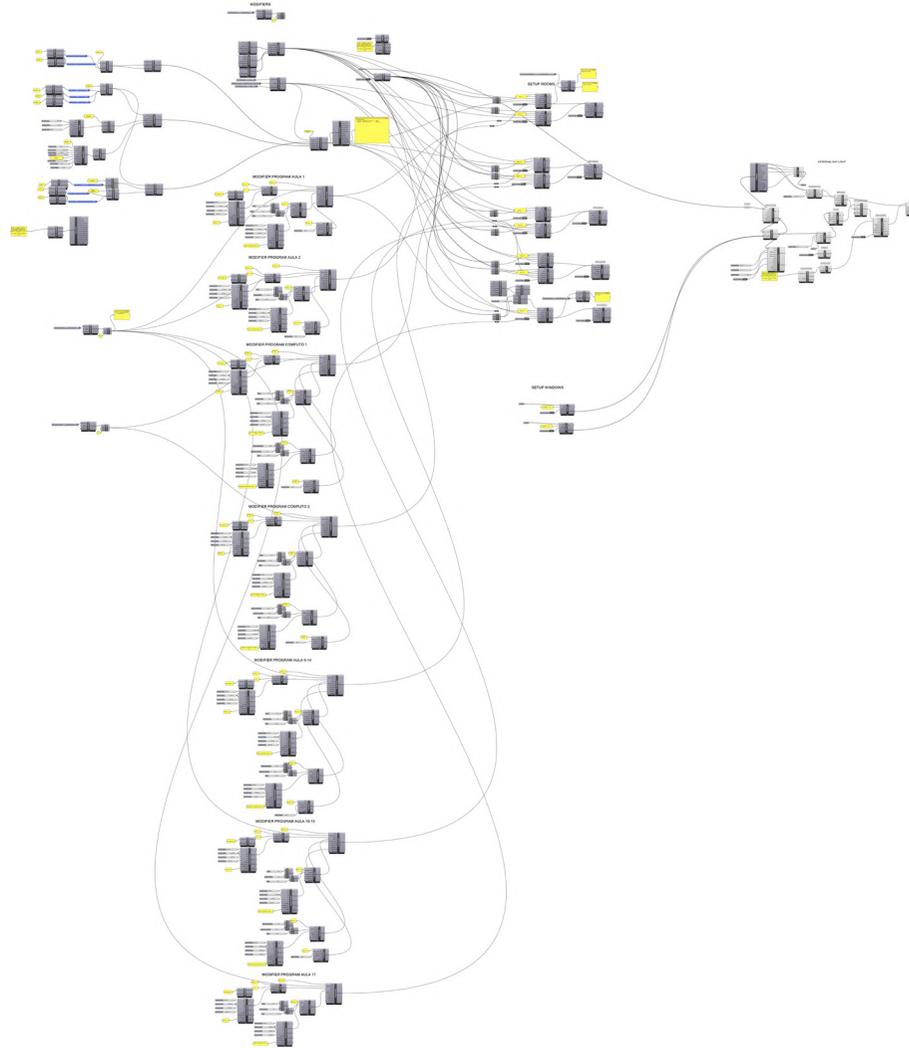
**Anexo 16.**

*Algoritmo preevaluación de Day light factor interior Edificio Uide-Sede Loja. Fuente: Autor*



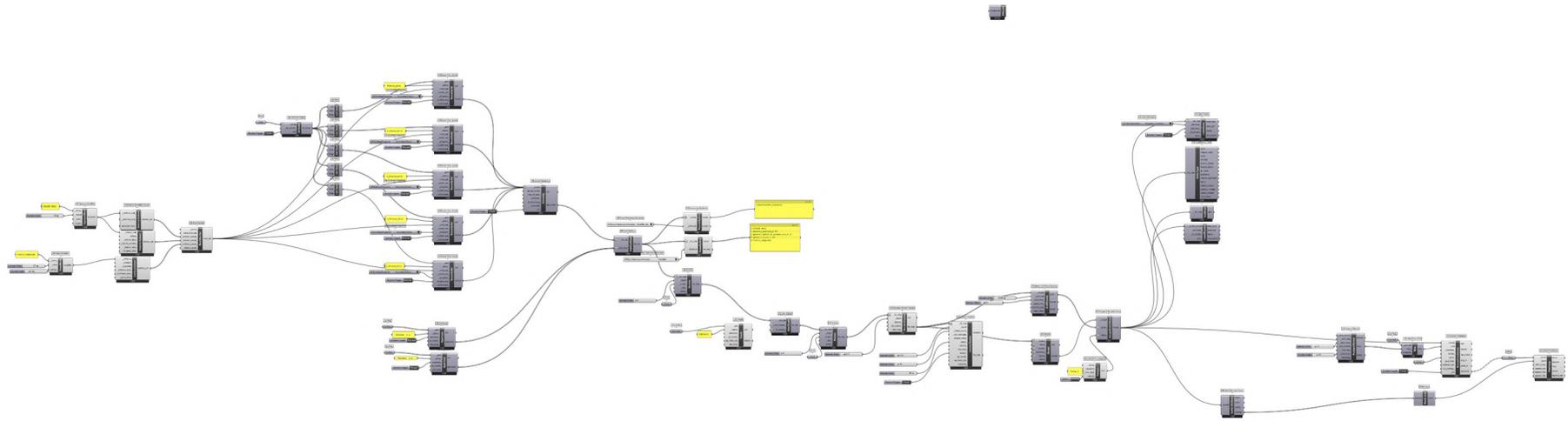
**Anexo 17.**

*Algoritmo preevaluación porcentaje de luz de día externa Edificio Uide-Sede Loja. Fuente: Autor*



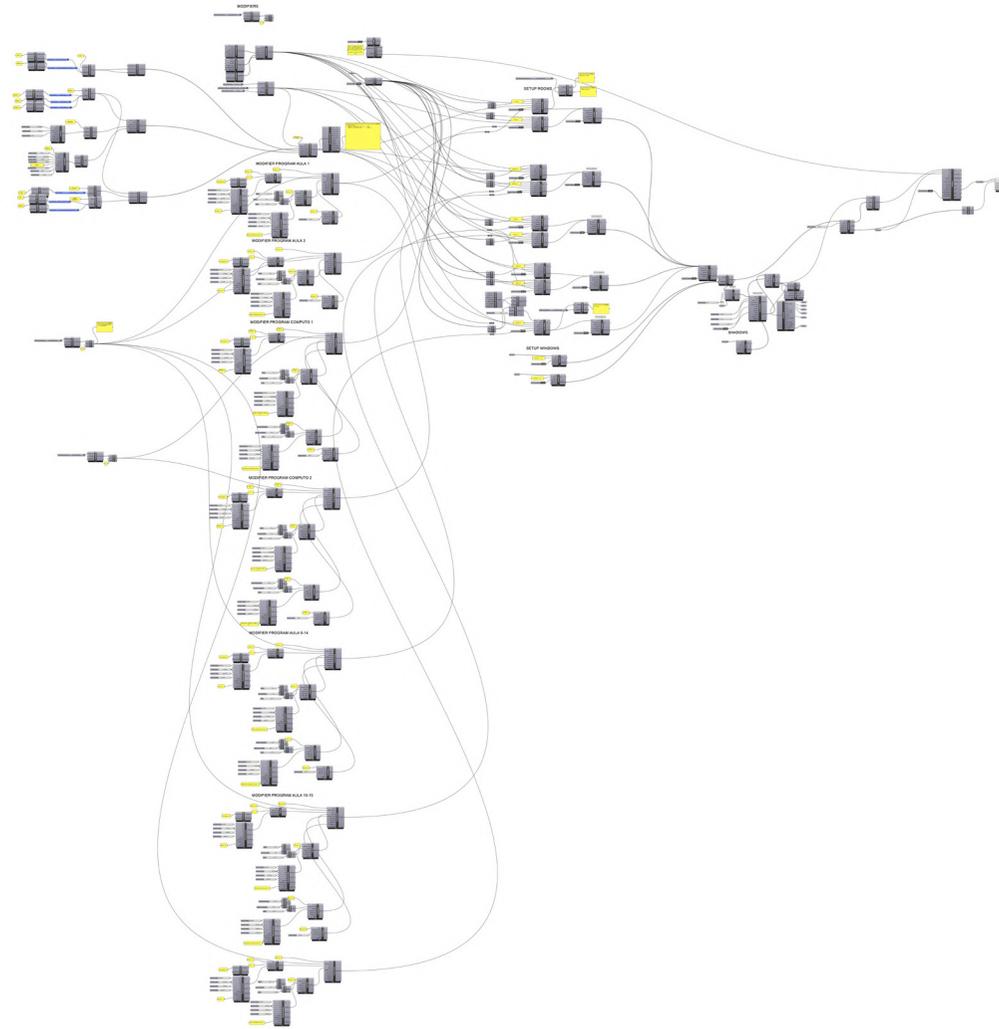
**Anexo 18.**

*Algoritmo preevaluación porcentaje de luz de día Interna Edificio Uide-Sede Loja. Fuente: Autor*



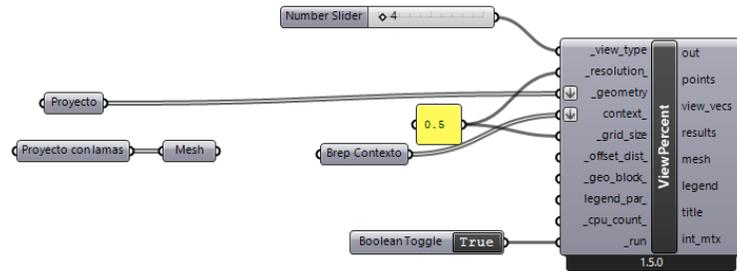
**Anexo 19.**

*Algoritmo preevaluación porcentaje de visualización exterior Edificio Uide-Sede Loja. Fuente: Autor*



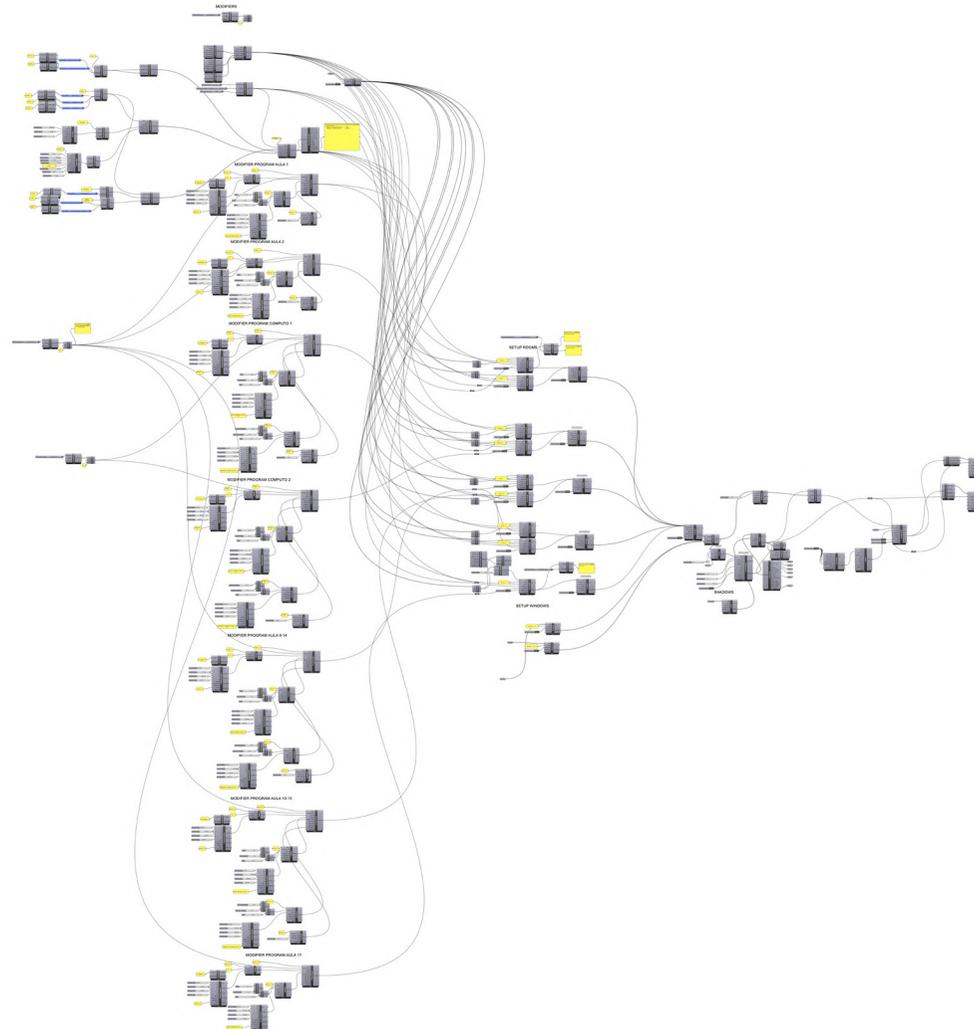
**Anexo 20.**

*Algoritmo preevaluación porcentaje de visualización interior Edificio Uide-Sede Loja. Fuente: Autor*



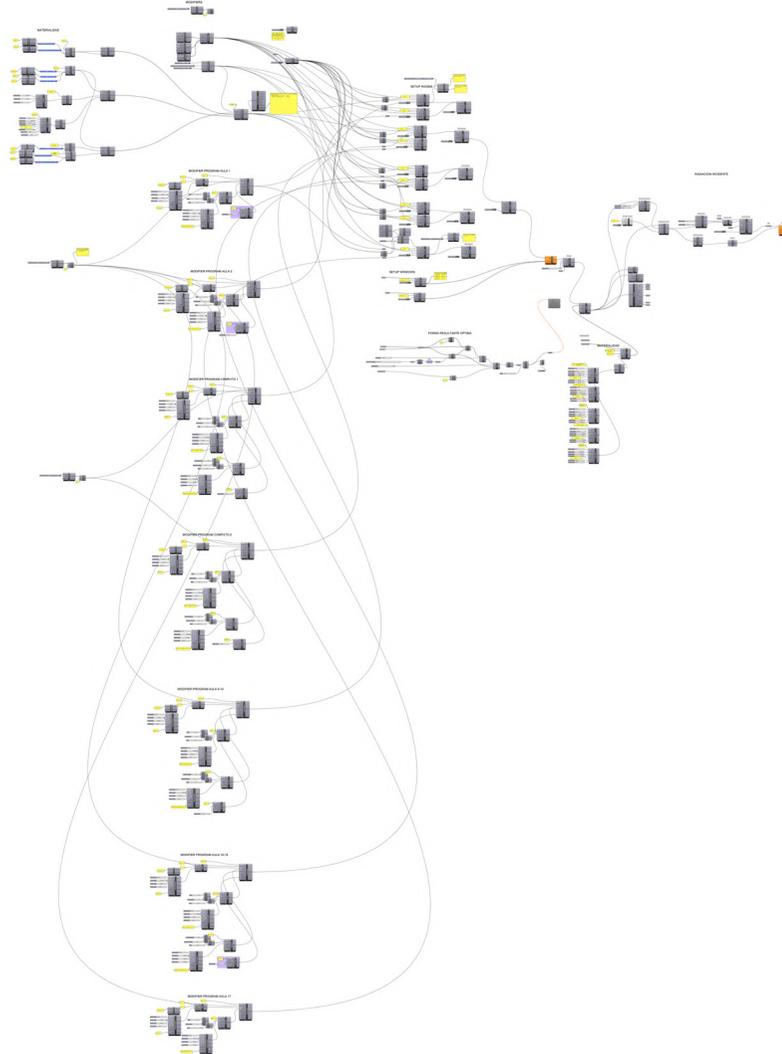
**Anexo 21.**

*Algoritmo preevaluación de temperatura interna Edificio Uide-Sede Loja. Fuente: Autor*



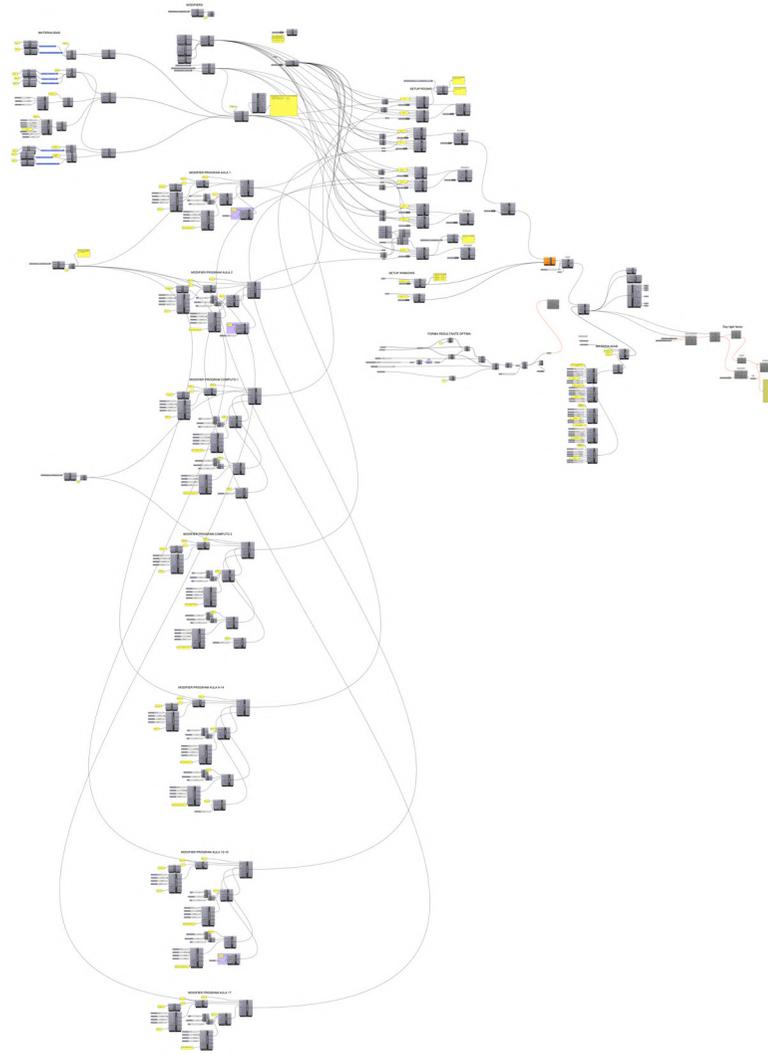
**Anexo 22**

*Algoritmo de postevaluación de radiación incidente interior Edificio Uide-Sede Loja. Fuente: Autor*



**Anexo 23**

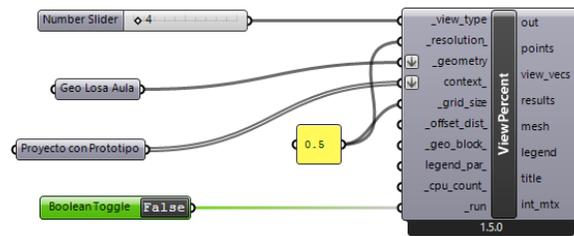
*Algoritmo de postevaluación de porcentaje de luz de día entrante interior Edificio Uide-Sede Loja. Fuente: Autor*



## Anexo 24

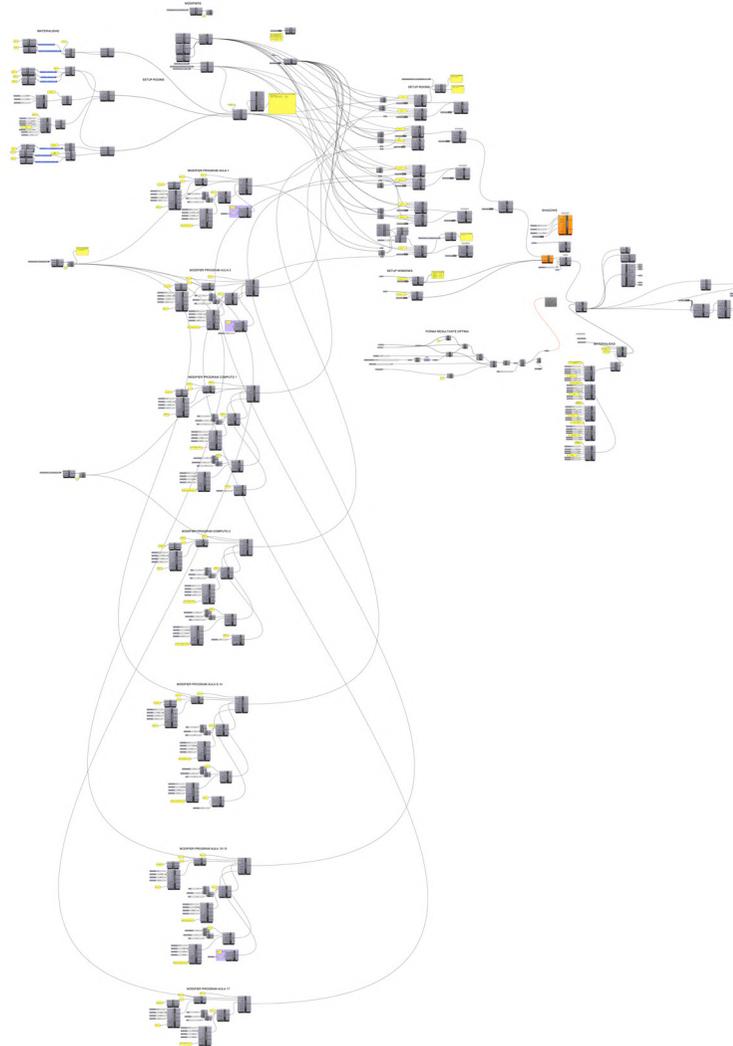
*Algoritmo de postevaluación de porcentaje de visualización interior Edificio Uide-Sede Loja. Fuente: Autor*

### VISUALIZACION



**Anexo 25**

*Algoritmo de postevaluación de temperatura interna Edificio Uide-Sede Loja. Fuente: Autor*



## Anexo 26

Diagrama de Conexión de la Tarjeta Arduino Módulo ESP 8266. Fuente: Autor

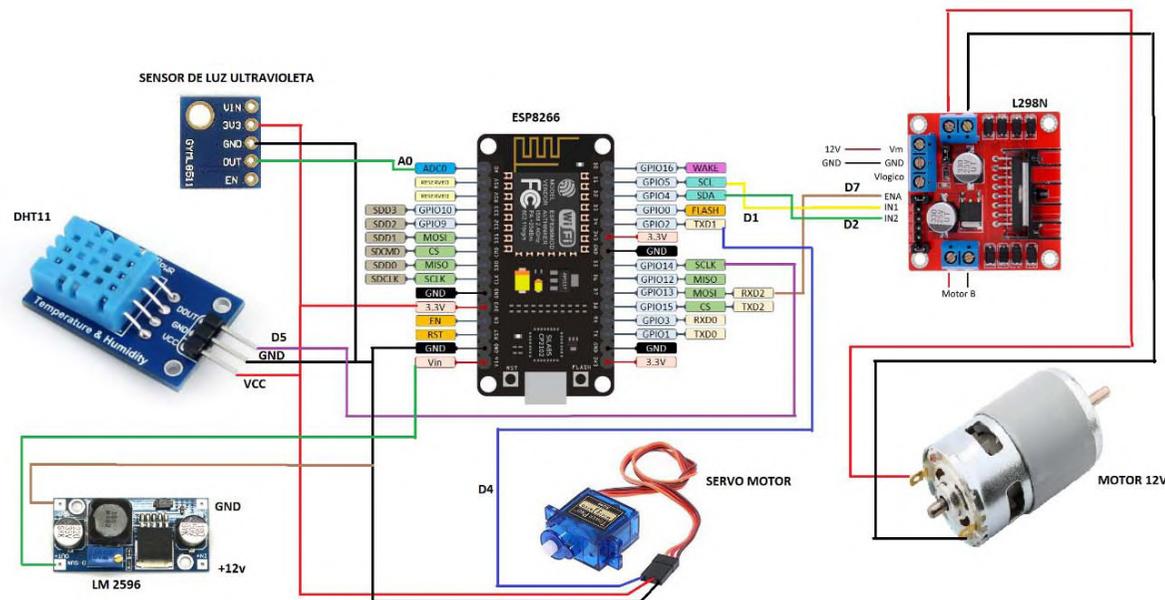


Diagrama de conexiones

El sensor de temperatura se conecta de la siguiente manera:

- Pin VCC del sensor al pin de 3V de la ESP8266.
- Pin de GND del sensor al pin GND de la ESP8266
- Pin de datos del sensor al pin D5 de la ESP8266.

El sensor UV se conecta de la siguiente manera:

- Pin VCC del sensor al pin de 3V de la ESP8266.
- Pin de GND del sensor al pin GND de la ESP8266
- Pin OUT al A0 de la ESP 8266.

El servo motor se conecta de la siguiente manera:

- El cable color rojo al pin de 3V de la ESP8266.
- El cable color café al pin GND de la ESP8266.
- El cable color naranja al pin D4 de la ESP8266.

El regulador de voltaje LM 2596 se conecta de la siguiente manera:

- OUT+ al pin Vin de la ESP8266.
- OUT- al pin GND de la ESP8266.
- VIN+ al positivo de la fuente de 12V.
- VIN- al negativo de la fuente de 12V.

El L298N se conecta de la siguiente manera:

- VIN al positivo de la fuente de 12V.
- GND al negativo de la fuente de 12V.
- ENA al pin D7 de la ESP 8266.
- IN1 al pin D1 de la ESP 8266.
- IN2 al pin D2 de la ESP 8266.
- El motor DC se conecta en la bornera con el nombre OUT1 y OUT2 sin importar la polaridad del motor.

## Anexo 27

Código de programación utilizado en el software Arduino. Fuente: Autor

```
.....
/* Librerías
.....
#include "Ubidots.h"
#include "Servo.h"
#include "DHT.h"
.....
/* PINES DE ENTRADA Y SALIDA ESP 8266 */
#define DHTPIN 14 // PIN D5 ENTRADA DE DATOS PARA EL SENSOR DE TEMPERATURA
#define DHTTYPE DHT11 // SE DEFINE EL TIPO DE SENSOR DE TEMPERATURA
#define PIN_SER 2 // PIN D4 SALIDA PARA EL CONTROL DEL SERVO MOTOR
int ENA = 13; //PIN D7 HABILITADOR PARA L298N
int IN1 = 5; //PIN D1 ----- N1 (L298N)
int IN2 = 4; //PIN D2 -----N2 (L298N)
.....
int VVSENSORPIN = A0; //AL ENTRADA ANALOGICA PARA LOS DATOS DEL SENSOR UV
const char* UBIDOTS_TOKEN = "BBFF-Bg8Cr91Bn6MUamxHmMw2wG1oqQ1dRZ"; // TOKEN DE LA PAGINA DE UBIDOTS
const char* WIFI_SSID = "POCO X3 Pro"; //NOMBRE DE LA RED WIFI
const char* WIFI_PASS = "123456789"; //CONTRASEÑA DE LA RED WIFI
const char* DEVICE_LABEL_TO_RETRIEVE_VALUES_FROM = "esp8266"; //NOMBRE DEL DISPOSITIVO CREADO EN UBIDOTS
const char* VARIABLE_SERVO= "var_servo"; //NOMBRE DE LA VARIABLE QUE CONTROLA EL SERVO MOTOR DESDE LA PAGINA DE UBIDOTS
const char* VARIABLE_MOTOR= "var_velocidad"; // NOMBRE DE LA VARIABLE QUE CONTROLA LA VELOCIDAD DEL MOTOR DESDE LA PAGINA DE UBIDOTS
float temperatura =0; //VARIABLE DE TEMPERATURA
int servo=0; // VARIABLE SERVO MOTOR
int velocidad=0; // VARIABLE VELOCIDAD
int v=0; //VARIABLE V
.....
Ubidots ubidots(UBIDOTS_TOKEN, UBI_TCP); //SE CREA UN OBJETO LLAMADO UBIDOTS CON EL PROTOCOLO DE COMUNICACION TCP
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); //SE CREA UN OBJETO LLAMADO DHT
Servo servo_motor; // SE CREA UN OBJETO LLAMADO SERVO MOTOR
.....
void setup() {
  Serial.begin(115200); //SE INICIA COMUNICACION POR EL PUERTO SERIAL ESP 8266
  pinMode(VVSENSORPIN, INPUT); // SE PIN ANALOGICO AO COMO ENTRADA
  ubidots.wifiConnect(WIFI_SSID, WIFI_PASS); //SE ESTABLECE CONEXIÓN CON LA RED WIFI
  dht.begin(); // SE INICIALIZA EL SENSOR DE TEMPERATURA
  servo_motor.attach(PIN_SER); //SE DEFINE EL PIN D4 COMO EL PIN DE CONTROL DEL SERVO MOTOR
  //ENCERAMOS TODAS LAS VARIABLES
  temperatura =0;
  servo=0;
  v=0;

  servo_motor.write(servo); //SE ORDENA AL SERVO MOTOR COLOCARSE EN UN ANGULO DE 0°
  //SE DECLARAN LOS PINES DE SALIDA PARA CONTROLAR LA VELOCIDAD DEL MOTOR
  pinMode(ENA, OUTPUT);
  pinMode(IN1, OUTPUT);
  pinMode(IN2, OUTPUT);
  digitalWrite(IN1, LOW);
  digitalWrite(IN2, LOW);
  // ubidots.setDebug(true); // Uncomment this line for printing debug messages
.....
void loop() {
  servo = ubidots.get(DEVICE_LABEL_TO_RETRIEVE_VALUES_FROM, VARIABLE_SERVO); //SE OBTIENE EL VALOR QUE TIENE LA VARIABLE DEL SERVO MOTOR ENVIADO DESDE UBIDOTS HACIA LA ESP8266
  //SE VALIDA SI EL DATO RECIBIDO ES UNA CANTIDAD VALIDA
  if (servo != ERROR_VALUE) {
    Serial.print("Valor del SERVO:"); // MUESTRA EL DATO RECIBIDO EN EL PUERTO SERIAL DE LA ESP8266
    Serial.println(servo);
  }
  else{
    Serial.println("----- Error lectura del servo -----"); // MUESTRA UN MENSAJE DE ERROR EN CASO DE RECIBIR DATOS ERRONEOS
  }
  // SE DEFINE LAS 4 POSICIONES DEL SERVO MOTOR
  if(servo==0){
    servo_motor.write(0); // POSICION A 0°
  }
  if (servo==15){
    servo_motor.write(45); // POSICION A 45°
  }
  if(servo==45){
    servo_motor.write(90); // POSICION A 90°
  }
  if (servo==90){
    servo_motor.write(180); // POSICION A 180°
  }
.....
}
```

Explicación: Para controlar el servo motor, comunicarse con la página web Ubidots y leer los datos del sensor de temperatura se requiere incluir las siguientes librerías.

Explicación: Luego se declara los pines tanto de entrada como salida donde se conectarán los sensores, motor y servo motor.

Explicación: A continuación, se define constantes que se relacionan con el nombre de la red WIFI, contraseña de la red WIFI, nombre de dispositivo y el nombre de las variables creadas Ubidots.

Explicación: Se define variables para facilitar el manejo de los datos adquiridos creadas Ubidots.

Explicación: Se crea objetos tanto para el servo motor, DHT11 y Ubidots. Con la finalidad de poder diferenciarlos y usar los métodos especificados en las librerías.

Explicación: Se define que pines son de entrada y salida, la posición inicial del servo motor y se establece una conexión entre la ESP 8266 y la red WIFI para el envío de datos a internet.

Explicación: Se obtiene el dato de la variable que controla el movimiento del servo motor. Este dato es enviado desde Ubidots hacia la ESP 8266. Una vez recibido el dato se procede a catalogarlo dentro de las 4 posiciones definidas (posición 1 = 0°, posición 2 = 45°, posición 3 = 90° y posición 4= 180°) y se ejecuta la orden especificada.

## Anexo 28

*Código de programación utilizado en el software Arduino. Fuente: Autor*

```
velocidad = ubidots.get(DEVICE_LABEL_TO_RETRIEVE_VALUES_FROM, VARIABLE_MOTOR); // SE OBTIENE EL VALOR DE LA VARIABLE VELOCIDAD DEL MOTOR ENVIADO DESDE UBIDOTS HACIA LA ESP8266
//SE VALIDA SI EL DATO RECIBIDO ES UNA CANTIDAD VALIDA
if (velocidad != ERROR_VALHE) {
  Serial.print("Valor del motor:");
  Serial.println(velocidad);
}
else{
  Serial.println("----- Error lectura del MOTOR -----");
}
// SE DEFINE LAS 4 VELOCIDAD DEL MOTOR
if (velocidad==10) {
  w=0; // PARAR EL MOTOR
}
if (velocidad==25)
{
  w=71; // VELOCIDAD 1
}
if (velocidad==50)
{
  w=132; // VELOCIDAD 2
}
if (velocidad==75)
{
  w=193; // VELOCIDAD 3
}
if (velocidad==100)
{
  w=254; //VELOCIDAD 4
}
.....
analogWrite(ENA, w); //SE LE ORDENA QUE EL MOTOR GIRE A LA VELOCIDAD SELECCIONADA
digitalWrite(IN1, HIGH);
digitalWrite(IN2, LOW);
.....
//SENSOR UV
int uvLevel = averageAnalogRead(UVsensorIn); // SE LEEN LOS DATOS DEL SENSOR UV
float outputVoltage = 3.3 * uvLevel/1024; // SE TRANSFORMA EL DATO RECIBIDO A UN NIVEL DE VOLTAJE
float uvIntensity = mapfloat(outputVoltage, 0.99, 2.9, 0.0, 16.0); // SE TRANSFORMA DE VOLTAJE A INTENSIDAD UV

//SENSOR DE TEMPERATURA
temperatura = dht.readTemperature(); // SE LEE EL DATO DEL SENSOR DE TEMPERATURA
//SE IMPRIMEN LAS VARIABLES DE TEMPERATURA E INTENSIDAD UV EN EL PUERTO SERIAL ESP 8266
Serial.println("X-----X");
Serial.print("Temperatura: ");
Serial.println(temperatura);
Serial.print("Intensidad UV:");
Serial.println(uvIntensity);
Serial.print(" mW/cm^2");
Serial.println("X-----X");
.....
ubidots.add("var_temp", temperatura); // SE AGREGA EL VALOR DE LA TEMPERATURA A LA CORRESPONDIENTE VARIABLE CREADA EN UBIDOTS
ubidots.add("var_intensidad", uvIntensity); //SE AGREGA EL VALOR DE INTENSIDAD UV
bool bufferSent = false;
bufferSent = ubidots.send(DEVICE_LABEL_TO_RETRIEVE_VALUES_FROM); // SE PREPARA LOS DATOS A ENVIAR DESDE LA ESP 8266 A UBIDOTS

if (bufferSent) {
  // SE MUESTRA UN MENSAJE EN EL PUERTO SERIAL ESP 8266 CUANDO LOS DATOS FUERON ENVIADOS CORRECTAMENTE
  Serial.println("DATOS ENVIADOS");
}

.....
delay(5000); // RETARDO DE 5 SEGUNDO PARA LA LECTURA DE LOS SENSORES
.....
```

Explicación: Se obtiene el valor de la variable que controlar la velocidad del motor. Este dato es enviado desde Ubidots hacia la ESP 8266. Una vez recibido el dato se cataloga dentro de las 4 velocidades y luego se ejecuta la instrucción.

Explicación: Se obtiene los datos del sensor UV y temperatura. Además, se muestra esos datos por el puerto serial de la ESP 8266.

Explicación: Se prepara el paquete que contiene los datos de temperatura e intensidad UV para ser enviados a Ubidots.