



Universidad Nacional de Asunción  
FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y ARTE  
Dirección Académica

**CARRERA DE ARQUITECTURA  
APROBACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN,  
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ARQUITECTO**

**TEMA:**

TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS

**TÍTULO:**

“OPTIMIZACION DEL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE CHIMENEAS  
SOLARES COMO TECNOLOGIA ALTERNATIVA PARA EL  
ACONDICIONAMIENTO PASIVO DE VIVIENDAS”

**NOMBRE DEL POSTULANTE:** ANDREA CAROLINA PAREDES ACOSTA

**CALIFICACIÓN**

.....

**FECHA**

...../...../.....

**TRIBUNAL EXAMINADOR**

**1.** .....

**2.** .....

**3.** .....

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN**  
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y ARTE**

Trabajo Final de Graduación para la obtención del título de  
Arquitectura

**“OPTIMIZACION DEL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE CHIMENEAS  
SOLARES COMO TECNOLOGIA ALTERNATIVA PARA EL  
ACONDICIONAMIENTO PASIVO DE VIVIENDAS”**

**AUTORA**  
**ANDREA CAROLINA PAREDES ACOSTA**

**TUTORA**  
**ARQ. EMMA GILL**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN**

**San Lorenzo**  
**2017**

## **Agradecimientos**

*A Dios, por las bendiciones recibidas.*

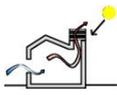
*A mis padres, por ser los pilares de mi vida y darme la oportunidad de estudiar.*

*A mis hermanos Rodrigo y Francisco, por el apoyo y el aliento constante.*

*A mis compañeras y amigas, por acompañarme todos estos años y hacer que esta etapa sea inolvidable.*

*A mis profesores, por guíarme y brindarme conocimientos y enseñanzas a lo largo de la carrera.*

**Muchas Gracias.**



## RESUMEN

Se realiza la presente investigación con el objetivo de optimizar el diseño y construcción de chimeneas solares como tecnología alternativa para el acondicionamiento pasivo de viviendas; para lo cual se recurre a identificar las condiciones y requerimientos para la utilización de chimeneas solares como tecnología alternativa para el acondicionamiento pasivo de viviendas; para posteriormente determinar los aspectos tecnológicos, espaciales, funcionales y constructivos, para la obtención de condiciones internas de confort con una chimenea solar que permitan establecer pautas que optimicen el diseño y construcción de chimeneas solares.

Tras el estudio de una chimenea solar implementada en una residencia del barrio recoleta de la ciudad de Asunción, se logra establecer las pautas necesarias de diseño y construcción para el buen rendimiento de la chimenea solar como tecnología alternativa tanto en cuanto a la localización, posición de aberturas, geometría, altura del coronamiento, tipo de materiales, color de materiales y aislaciones, concluyendo con un diseño optimizado de chimenea solar aplicable a viviendas en clima cálido-húmedo.

**Palabras claves:** Tecnología Alternativa, Acondicionamiento Pasivo.



## INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>iv</b>
<b>LISTA DE ILUSTRACIONES</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	<b>viii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
Antecedentes.....	2
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos .....	3
Justificación .....	3
Metodología.....	4
Resultados Esperados .....	4
<b>CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
1. Tecnología alternativa .....	5
1.1. Aplicación de Tecnologías Alternativas.....	6
1.1.1. Aplicación de la Tecnología Alternativa en Acondicionamiento.....	7
1.2. Chimenea solar como Tecnología Alternativa para el Acondicionamiento Pasivo .....	19
1.2.1. Chimeneas solares como estrategias de confort .....	21
1.2.2. Antecedentes de investigación sobre la construcción de chimeneas solares .....	22
1.2.3. Funcionamiento de las Chimeneas Solares .....	27
1.2.4. Tipos de Chimeneas Solares .....	27
1.2.5. Los elementos de diseño de Chimeneas Solares .....	27
<b>CAPÍTULO II. CONDICIONES Y REQUERIMIENTOS PARA LA UTILIZACIÓN DE CHIMENEAS SOLARES EN PARAGUAY</b> .....	<b>30</b>
2.1. Requerimientos para la utilización de chimeneas solares en viviendas	30
2.1.1. Requerimientos Funcionales.....	30
2.1.2. Requerimientos Espaciales.....	31
2.1.3. Requerimientos Constructivos .....	32
2.1.3.1. Características térmicas de los materiales .....	32
2.1.4. Requerimientos de Mantenimiento .....	34
2.2. Combinación con otros sistemas de acondicionamiento pasivo.....	34
2.2.1. Chimenea Solar y Conductos Subterráneos .....	35
2.2.2. Chimenea Solar con incorporación de colectores solares (Placa Solar) .....	36



2.2.3. Chimenea Solar con variación: Ático Solar .....	37
<b>CAPITULO III. ASPECTOS REQUERIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE CONDICIONES INTERNAS DE CONFORT .....</b>	<b>38</b>
3.1. Características físicas del sitio .....	38
3.2. Aspectos Espaciales .....	40
3.3. Aspectos Funcionales.....	42
3.4. Aspectos Constructivos .....	45
3.5. Aspectos de Radiación .....	52
3.6. Diagnóstico del caso de estudio .....	53
<b>CAPÍTULO IV: PAUTAS DE OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CHIMENEAS SOLARES .....</b>	<b>55</b>
4.1. Pautas de optimización.....	55
4.2. Debilidades y Adecuaciones referentes al caso de estudio.....	58
<b>CONCLUSIÓN .....</b>	<b>63</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>67</b>
ANEXO I – Casos de utilización de Chimeneas Solares .....	67
ANEXO II – Programa de Análisis de Incidencia Solar.....	71



## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Elementos de zona de confort. ....	7
Ilustración 2: Confort Térmico. ....	8
Ilustración 3: Diagrama Bioclimático de Olgyay. ....	9
Ilustración 4: Síntesis de la Aplicación de la Tecnología Alternativa en el Acondicionamiento.....	12
Ilustración 5: Ventilación Natural.....	14
Ilustración 6: Chimenea Solar. ....	19
Ilustración 7: Beneficios del uso de chimeneas solares. ....	20
Ilustración 8: Esquema Chimenea Solar. ....	22
Ilustración 9: Torres de Viento. ....	23
Ilustración 10: Chimenea Solar Manzanares.....	23
Ilustración 11: Funcionamiento Chimenea Solar.....	27
Ilustración 12: Funcionamiento Pozo Canadiense .....	35
Ilustración 13: Esquema conceptual de un pozo canadiense funcionando con chimeneas solares .....	36
Ilustración 14: Placas solares.....	36
Ilustración 15: Ubicación del sitio de estudio.....	39
Ilustración 16: Corte Transversal. ....	41
Ilustración 17: Corte de la Vivienda.....	43
Ilustración 18: Corte Sector Chimenea. ....	44
Ilustración 19: Planta Subsuelo.....	45
Ilustración 20: Detalle Constructivo de Hueco de Entrada de Aire.....	46
Ilustración 21: Planta Baja. ....	47
Ilustración 22: Corte A – A. ....	48
Ilustración 23: Planta Alta. ....	49
Ilustración 24: Azotea.....	50
Ilustración 25: Detalles y Vistas del Área Colectora.....	51
Ilustración 26: Corte Nivel Azotea .....	51
Ilustración 27: Análisis de Radiación de la Casa de Estudio.....	53
Ilustración 28: Corte Chimenea Optimizada.....	57
Ilustración 29: Vista Chimenea Optimizada. ....	58

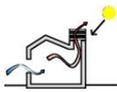


---

## LISTA DE CUADROS

---

Cuadro 1: Caracterización Tecnologías Alternativas. ....	6
Cuadro 2: Factores Climáticos Incidentes.....	10
Cuadro 3: Elementos del Sistema Pasivo. ....	15
Cuadro 4: Clasificación de estrategias de Acondicionamiento Pasivo. ....	16
Cuadro 5: Tecnologías para Acondicionamiento Pasivo.....	17
Cuadro 6: Tecnologías para Acondicionamiento Pasivo.....	17
Cuadro 7: Tecnologías para Acondicionamiento Pasivo.....	18
Cuadro 8: Tecnologías para Acondicionamiento Pasivo.....	18
Cuadro 9: Características de las chimeneas solares. ....	21
Cuadro 10: Casos de estudio, investigación y aplicación del sistema: Chimeneas Solares.....	24
Cuadro 11: Casos de estudio, investigación y aplicación del sistema: Chimeneas Solares.....	25
Cuadro 12: Antecedentes de casos de estudio y uso de chimeneas solares. .	26
Cuadro 13: Elementos de Chimeneas Solares. ....	28
Cuadro 14: Requerimientos Funcionales. ....	30
Cuadro 15: Requerimientos Espaciales. ....	31
Cuadro 16: Características térmicas de los materiales. ....	32
Cuadro 17: Requerimientos Constructivos.....	33
Cuadro 18: Requerimientos de Mantenimiento.....	34
Cuadro 19: Vientos Predominantes. ....	39
Cuadro 20: Incidencia Solar.....	40
Cuadro 21: Fortalezas y debilidades del caso de estudio relevado. ....	54
Cuadro 22: Pautas de diseño y construcción de la chimenea solar.....	56
Cuadro 23: Optimización Espacial. ....	59
Cuadro 24: Optimización Funcional. ....	60
Cuadro 25: Optimización Constructiva.....	61



---

## INTRODUCCIÓN

---

El problema de acondicionamiento de los espacios habitables es uno de los asuntos que la arquitectura en la actualidad no puede dejar de lado, teniendo en cuenta que la ventilación mecánica y el aire acondicionado han sido durante décadas el método estándar de control ambiental en muchos tipos de edificios y viviendas: la contaminación y la reasignación de los suministros de energía han llevado a un nuevo enfoque ambiental en el diseño de edificios y viviendas.

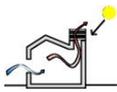
Las tecnologías innovadoras, junto con los principios bioclimáticos y las estrategias de diseño tradicional a menudo se combinan para crear soluciones de diseños nuevos potencialmente exitosos. La chimenea solar es uno de estos conceptos que se está probando actualmente por los científicos, así como por diseñadores, sobre todo mediante la investigación y la experimentación.

Este Trabajo Final de Grado – TFG, se centra en el estudio y análisis del sistema de chimenea solar como tecnología alternativa para lograr el acondicionamiento pasivo de viviendas, con el fin de entender el funcionamiento, identificar las fortalezas y debilidades de dicho sistema, reconocer las variaciones y posibles inconvenientes que se pueden presentar a la hora de su utilización y posteriormente establecer pautas constructivas y estrategias de diseño, a los efectos de optimizar sus diferentes aspectos para lograr el confort térmico en el interior del espacio habitable.

Al construir un edificio o una vivienda es importante tener en cuenta ciertos factores, que ofrezcan ventajas al interior del lugar a ser habitado, para así lograr el confort adecuado dentro del mismo; como también al medio ambiente, con el propósito de generar un mínimo impacto ambiental.

Entre los factores que determinan la situación del confort térmico se encuentran los factores naturales exteriores como las radiaciones solares (las cuales actúan sobre sólidos o líquidos), la humedad y el movimiento de aire (ventilación). La ventilación es la técnica más efectiva para extraer el calor no deseado de un edificio o vivienda.

Ligado a los factores a tener en cuenta, éste trabajo, hace hincapié en la importancia del uso y funcionamiento de una tecnología alternativa como sistema pasivo acondicionamiento, consistente en la elaboración de estructuras



necesarias para que dada las condiciones climatológicas se pueda alcanzar en los espacios interiores el confort necesario. Se pretende conocer cuáles son los aspectos funcionales, espaciales y constructivos, que puedan influir a la hora de la utilización de la chimenea solar y cómo se puede optimizar el sistema estableciendo pautas y estrategias de diseño y construcción, a la vez conocer el impacto que genera en el interior de los espacios y en el medio ambiente.

## **Antecedentes**

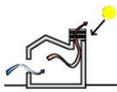
Para identificar y seleccionar las pautas de diseño y construcción adecuadas para la optimización de chimeneas solares como tecnología alternativa, fue conveniente recurrir a la consulta documental de trabajos realizados que guardan relación con el tema propuesto y ayuden a comprender y evaluar la tecnología y el sistema, en función a ello se mencionan investigaciones realizadas internacionalmente, una de ellas fue realizada en la UNAM - México, D.F. titulada “Análisis térmico experimental de una chimenea solar adosada a una habitación”, dicha investigación aborda de manera específica el estudio térmico experimental del sistema; también se puede citar “Análisis de la tecnología de Chimenea Solar para la generación de energía eléctrica” realizada en la facultad de Veracruz; también se pudo encontrar como dicho sistema fue implementado en varios programas arquitectónicos:

La escuela francesa, conocida como Lycée Charles de Gaulle, ubicada en Damasco – Siria, Parque Nacional de Zion – USA, Hemiciclo Solar en Móstoles – Madrid, España.

A nivel nacional se puede nombrar, el TFG de Graciela Zanoni, titulado “Sistemas pasivos de refrigeración aplicables a viviendas unifamiliares urbanas en climas subtropicales”, hace un estudio general de los sistemas pasivos, donde menciona las chimeneas solares como sistema pasivo de refrigeración.

Al encontrar variables que influyen a la hora de su utilización es donde se percibe las limitadas exploraciones que existen a la fecha en cuanto al tema y se confirma la necesidad de establecer pautas constructivas y estrategias de diseño como aporte tecnológico.

Múltiples son los estudios y aplicaciones de la chimenea solar, más siempre es interesante evaluar la posibilidad de hacer un aporte a lo que ya se



ha realizado anteriormente, tanto en innovación de la técnica y la definición del elemento arquitectónico, así como también la introducción de nuevos materiales y sus combinaciones en la construcción.

### **Objetivo General**

Optimizar el diseño y construcción de chimeneas solares como tecnología alternativa para el acondicionamiento pasivo de viviendas

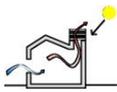
### **Objetivos Específicos**

- Identificar las condiciones y requerimientos para la utilización de chimeneas solares como tecnología alternativa para el acondicionamiento pasivo de viviendas.
- Determinar los aspectos tecnológicos, espaciales, funcionales y constructivos, para la obtención de condiciones internas de confort con una chimenea solar.
- Establecer pautas que optimicen el diseño y construcción de chimeneas solares para el acondicionamiento pasivo de viviendas.

### **Justificación**

El desarrollo de este trabajo, ha permitido abordar desde el punto de vista tecnológico la chimenea solar, buscando la interacción arquitectura – medio ambiente por medio de un dispositivo que en base a un proceso natural, aprovecha la conducción, convección y radiación, con el propósito de disminuir las variaciones de temperatura entre día y noche que superen el valor promedio y mitigar el impacto que el sol genera en los espacios donde se desarrolla la vida diaria.

Al entender su funcionamiento, identificar los elementos de diseño, las técnicas constructivas, los materiales y los aspectos considerados, para el uso de esta tecnología, se pudo conocer las variaciones que pueden presentarse y de esta manera obtener propuestas optimizadoras del sistema, cuya finalidad es incrementar la eficiencia mediante una técnica constructiva, reducir costos y brindar ventajas en la reducción de consumo de energías, como así también



mejora el control de corriente de aire en el interior de la vivienda y mejora la calidad del aire.

En éste trabajo, se han estudiado, posibles soluciones constructivas de la chimenea solar como tecnología alternativa para lograr buenos y mejores resultados a la hora de su utilización, lo que ayudó a definir los criterios y las pautas a tener en cuenta para su optimización, generando de esta manera nuevos conocimientos tecnológicos, sin olvidar el impacto económico y social que tendrá al utilizar como alternativa para el acondicionamiento pasivo.

### **Metodología**

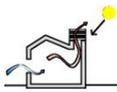
1. Análisis bibliográfico, sistematización de informaciones relacionadas al tema.
2. Entrevistas a profesionales con conocimiento del tema a desarrollar: tecnologías alternativas, chimeneas solares.
3. Análisis de los aspectos a tener en cuenta en el diseño y construcción de chimeneas solares.
4. Selección de pautas de diseño y construcción de chimeneas solares.
5. Elaboración de conclusiones de acuerdo al estudio.

### **Resultados Esperados**

Al concluir el desarrollo del proceso de trabajo de investigación se espera:  
El cumplimiento de todos los objetivos generales y específicos.

Ampliar el conocimiento acerca del uso de las tecnologías alternativas para lograr el confort térmico.

Las pautas de diseño establecidas serán válidas para la reducción de impactos ambientales.



---

## CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

---

Luego de la crisis energética de inicios de la década del 70, países desarrollados y subdesarrollados comenzaron a tomar medidas en cuanto al uso racional de energías y uso de tecnologías no convencionales, por motivos diferentes y en circunstancias distintas. Como consecuencia se dan a conocer nuevos conceptos y desarrollos en la arquitectura, los cuales dan lugar al uso de tecnologías y procedimientos respetuosos de los bienes naturales que la sociedad posee con la finalidad de integrar a esquemas que contemplen cambios positivos a largo plazo.

La relación MEDIO AMBIENTE – HOMBRE – ARQUITECTURA – TECNOLOGIA, se convierte en un sistema donde se busca el desarrollo del bienestar y seguridad, el progreso de los hombres en y con un medio ambiente interactuante protegido de la contaminación y con un equilibrado aprovechamiento de los recursos naturales. (Gonzalo, 2004)

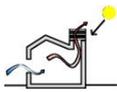
### 1. Tecnología alternativa

En la actualidad al hablar de tecnología alternativa se tiene el desafío de aplicarlas para un desarrollo sustentable, como ser la conservación del suelo, del agua, incremento de la productividad, la disminución del riesgo climático y sus consecuencias.

Al referirse al término de TECNOLOGIA entendemos que se trata de la aplicación al proceso a través del cual los seres humanos diseñan herramientas y máquinas para incrementar su control y su comprensión del entorno material.

En cuanto a la TECNOLOGIA ALTERNATIVA, entiéndase como aquella que no utiliza las técnicas, procesos y materiales convencionales pero con un desempeño equivalente o mejor sin que ello signifique una degradación de la misma, más aún si respetan los aspectos culturales y medio-ambientales". (Gill Nessi, 2000)

Surgen con base en las necesidades sociales, van desde el ahorro de energía por ende, el ahorro en cuestión monetaria pero, de fondo hay mucho más; como la elevación de la calidad de vida, la consecución de un lugar donde vivir que, además, sea adecuado, autosustentable, económico y por simple



lógica, conseguir la conservación del planeta y del medio ambiente. Al optar por el uso de tecnologías alternativas en la construcción, se presentan características específicas en cuanto a la técnica constructiva se refiere.

En el siguiente cuadro se expone diferentes puntos donde se citan aspectos a tener en cuenta al utilizar tecnologías alternativas, como ser el área que puede ser aplicada, los recursos, la mano de obra necesaria, costos, entre otros.

**Cuadro 1: Caracterización Tecnologías Alternativas.**

MATERIAL POR GRADO DE ELABORACION	MEDIO TRANSFORMADO
<b>USO</b>	Área urbana Área rural Área marginal Pueblo del interior
<b>MATERIAL – COSTOS</b>	Medio Bajo
<b>MATERIAL – RECURSOS</b>	Del Sitio De la Zona
<b>FACILIDAD DE TRANSPORTE</b>	Poca Mediana Mucha
<b>MANO DE OBRA – FACILIDAD CONSTRUCTIVA</b>	Medianamente especializados No calificados
<b>MANO DE OBRA – COSTOS</b>	Medio Bajo

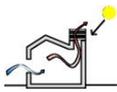
Fuente: Apuntes de clase Tecnologías Alternativas, FADA – UNA.

### 1.1. Aplicación de Tecnologías Alternativas

Existen varios tipos de tecnologías alternativas, las cuales son aplicables en la arquitectura con distintos enfoques, siendo estas:

- La generación y conservación de energía. (LUZ).
- La refrigeración, acondicionamiento. (AIRE).
- La provisión y ahorro de agua potable. (AGUA).
- La obtención de la materia.

Específicamente para los fines de esta investigación se estudia la **Tecnología Alternativa en Acondicionamiento**, referido a “la fuente capaz de sustituir las tecnologías convencionales establecidas en la actualidad (sistemas de acondicionamiento mecánico) con el fin de proporcionar comodidad a los usuarios (confort térmico) y no propicie el consumo de energías no renovables”. (Portillo Sirvent, 1987, p 97).



### 1.1.1. Aplicación de la Tecnología Alternativa en Acondicionamiento

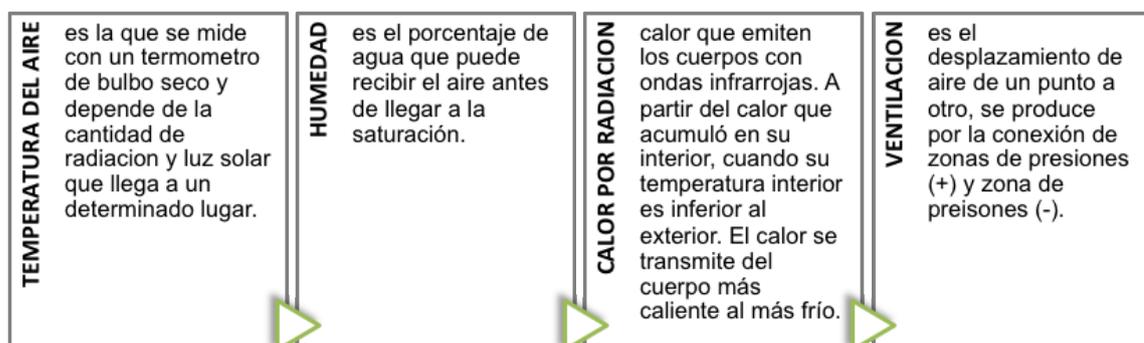
Según Nelson Bayardo (Las seis coordenadas de la Arquitectura – 1972) en donde la relación SER HUMANO – SITIO – TECNOLOGIA es importante de ser observada, ya que por una parte los seres humanos que tienen un hábitat dado (sitio con recursos y clima característicos) en el que para sobrevivir y luego mejorar constantemente su calidad de vida, recurren a una tecnología que responde a sus saberes (cultura) y a los recursos que pueden utilizar en el sitio (después de la globalización depende ya de las patentes exigibles, de que se haya importado de donde) o que finalmente se fabrique.

El medio ambiente físico está formado por numerosos elementos relacionados (luz, clima, sonido), que inciden directamente en el cuerpo humano, puede absorberlos o intentar contrarrestar sus efectos. El ser humano se esfuerza por llegar al punto en el que adaptarse a su entorno requiera un mínimo de energía. Las condiciones bajo las cuales consigue este objetivo se definen como zona de confort.

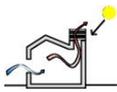
#### 1.1.1.1. Elementos fundamentales para determinar la zona de confort térmica.

Al hablar de confort térmico, puede ser descrita como el equilibrio en la temperatura que logra el cuerpo humano en un ambiente determinado, que le permita desarrollar sin dificultad ni molestia cualquier actividad física o mental. El confort térmico resulta de la interacción del control efectivo de los agentes térmicos del medio exterior (temperatura, humedad, radiación directa o difusa y velocidad del aire – ventilación) y otras fuentes de calor.

**Ilustración 1: Elementos de zona de confort.**



Fuente: Elaboración Propia en base a apuntes de clase Autoclimatización.

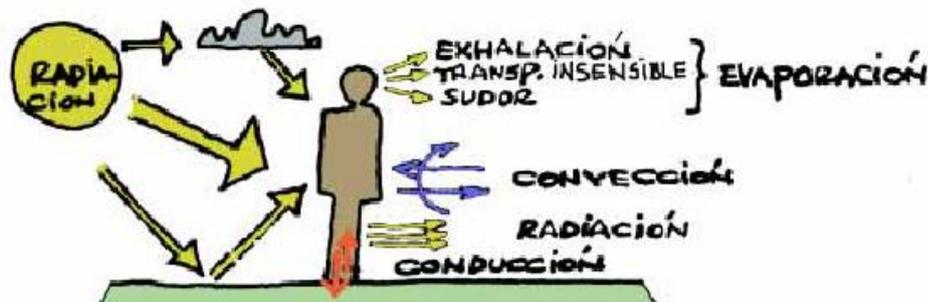


El ser humano gana calor del medio exterior a través de la radiación solar (directa, difusa o reflejada), por convección (la acción del viento) y conducción (por contacto directo) y libera calor por medio de radiación, convección, conducción y además por la evaporación, en forma de transpiración, exhalación y sudor.

La relación entre ganancia y pérdida de calor debe ser constante e igual a cero y se expresa por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Metabolismo} - \text{Evaporación} \pm \text{Condensación} \pm \text{Convección} \pm \text{Radiación} = 0$$

### Ilustración 2: Confort Térmico.



Fuente: Apuntes de clase Autoclimatización, FADA – UNA.

El diagrama bioclimático de OLGYAY es uno de varios intentos de establecer las condiciones de confort, de acuerdo a la interrelación de factores climáticos externos, en este caso la temperatura seca (TS) y la humedad relativa (HR).

Se observa la zona de confort, ubicada en el verano entre los 22° y los 26° C, para humedades relativas que oscilan entre el 20% y el 75%, y en el invierno algo desfasados y con más bajas temperaturas de confort. Al disminuir la temperatura bajo la zona de confort, se entra a la zona **1/** en la que para mantener el confort hay que agregar calor. Si la temperatura en cambio aumentara se llegaría a la zona **2/** en la cual para mantener el confort es necesario el movimiento del aire. Se observa que el límite tolerable para el trabajo liviano disminuye con el aumento de la humedad relativa. Si el aire en cambio es muy seco (entre 10% y 30%) se puede mejorar la condición de confort con la adición de humedad, expresada en **3/**.

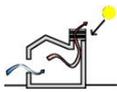
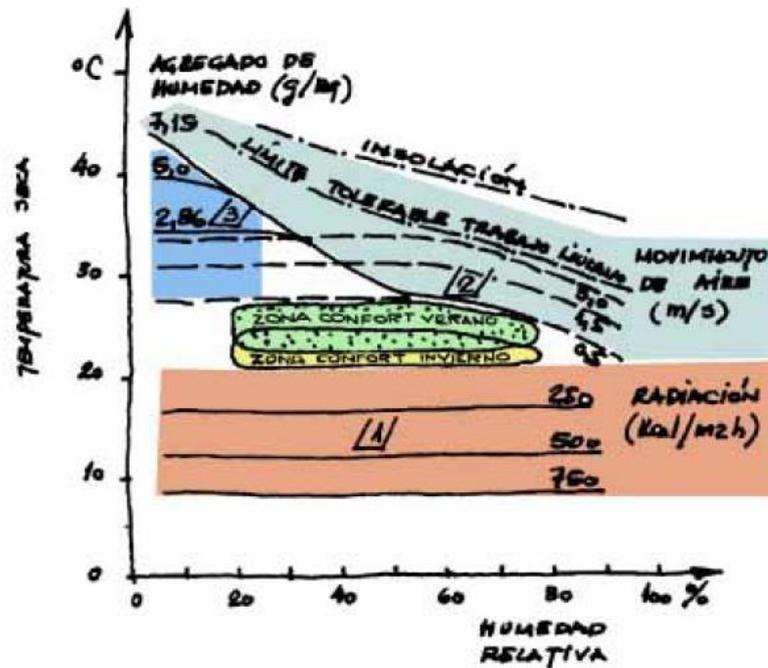


Ilustración 3: Diagrama Bioclimático de Olgay.



Fuente: Arquitectura y Clima, Víctor Olgay, 1998.

Para permitir el confort térmico y seguridad a los ocupantes del hábitat construido Guillermo E. Gonzalo destaca (Manual de Arquitectura Bioclimática - 2004) que “El clima debe de entenderse como un material más, constitutivo y condicionante de la obra arquitectónica, que como organismo vivo y no como un objeto estático, debe poder regular y modificar su relación con el tiempo natural y social”.

### 1.1.1.2. Comportamiento de los factores climáticos incidentes para el confort térmico en Paraguay.

El clima de un País, localidad o región está determinado por la influencia de un conjunto de elementos y factores que actúan simultáneamente, estos producen variadas situaciones ambientales. (Temperatura, humedad, radiación solar, vientos).

El Paraguay, dada su extensa geografía predomina el clima subtropical. Presenta temperaturas elevadas casi todo el año, además las precipitaciones son abundantes, al igual que las tormentas, por lo tanto se pueden presentar bruscos cambios en el tiempo.

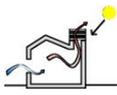
Los factores climáticos del Paraguay analizados en el Cuadro 2 son, la radiación, temperatura, los vientos predominantes y la humedad.



**Cuadro 2: Factores Climáticos Incidentes.**

	Definición	Características en Paraguay	Mapa de Paraguay	Promedio mensual																				
<b>Radiación Solar</b>	<p>La superficie de la tierra no se calienta uniformemente. Ese calentamiento depende de la exposición a la radiación solar, del coeficiente de transmisión de calor de cada material y de la temperatura del aire exterior.</p> <p>Puede decirse que cuando un material recibe radiación solar se produce:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1- Un aumento de su temperatura (mayor en la superficie y no uniforme en la masa del material).</li> <li>2- Una acumulación de calor en la masa del material.</li> </ol>	<p>En el sentido de insolación, según los datos proporcionados por SunEarthTools, se demuestra las horas de incidencia solar en Paraguay.</p> <p>Equinoccio de verano: 13:43 horas, duración del día.</p> <p>Equinoccio de otoño: 12:05 horas, duración del día.</p> <p>Equinoccio de invierno: 10:33 horas, duración del día.</p> <p>Equinoccio de primavera: 12:05 horas, duración del día.</p>	<p><b>Radiación Solar Promedio por Año</b></p>																					
<b>Temperatura</b>	<p>La temperatura depende de diversos factores, como la inclinación de los rayos solares, la dirección y fuerza del viento, la latitud, la altura sobre el nivel del mar, la proximidad de masas de agua, entre otros.</p>	<p>En nuestro país, las temperaturas medias se pueden observar en los mapas, la zona más calurosa es el Noreste chaqueño y la más fresca acompaña al río Paraná en el Sur y Este, también es muy fresca la zona de las cordilleras del Amambay y Mbaracayú. Cabe destacar que, en Paraguay se registran cambios bruscos de temperatura.</p>	<p><b>Temperatura media diaria Enero</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>TEMPERATURA MAXIMA EXTREMA</th> <th>TEMPERATURA MAXIMA MEDIA</th> <th>TEMPERATURA MEDIA</th> <th>TEMPERATURA MINIMA MEDIA</th> <th>TEMPERATURA MINIMA EXTREMA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Periodo Verano (Enero): 40 a 41 °C</td> <td>Periodo Verano (Enero): 33 a 34 °C</td> <td>Periodo Verano (Enero): 27 a 28 °C</td> <td>Periodo Verano (Enero): 22 a 23 °C</td> <td>Periodo Verano (Enero): 12 a 13 °C</td> </tr> <tr> <td>Periodo Invierno (Julio): 34 a 35 °C</td> <td>Periodo Invierno (Julio): 23 a 24 °C</td> <td>Periodo Invierno (Julio): 16 a 17 °C</td> <td>Periodo Invierno (Julio): 12 a 13 °C</td> <td>Periodo Invierno (Julio): -2 a -1 °C</td> </tr> <tr> <td>Periodo Anual: 41 a 42 °C</td> <td>Periodo Anual: 28 a 29 °C</td> <td>Periodo Anual: 22 a 23 °C</td> <td>Periodo Anual: 17 a 18 °C</td> <td>Periodo Anual: 0 a -2 °C</td> </tr> </tbody> </table>	TEMPERATURA MAXIMA EXTREMA	TEMPERATURA MAXIMA MEDIA	TEMPERATURA MEDIA	TEMPERATURA MINIMA MEDIA	TEMPERATURA MINIMA EXTREMA	Periodo Verano (Enero): 40 a 41 °C	Periodo Verano (Enero): 33 a 34 °C	Periodo Verano (Enero): 27 a 28 °C	Periodo Verano (Enero): 22 a 23 °C	Periodo Verano (Enero): 12 a 13 °C	Periodo Invierno (Julio): 34 a 35 °C	Periodo Invierno (Julio): 23 a 24 °C	Periodo Invierno (Julio): 16 a 17 °C	Periodo Invierno (Julio): 12 a 13 °C	Periodo Invierno (Julio): -2 a -1 °C	Periodo Anual: 41 a 42 °C	Periodo Anual: 28 a 29 °C	Periodo Anual: 22 a 23 °C	Periodo Anual: 17 a 18 °C	Periodo Anual: 0 a -2 °C
TEMPERATURA MAXIMA EXTREMA	TEMPERATURA MAXIMA MEDIA	TEMPERATURA MEDIA	TEMPERATURA MINIMA MEDIA	TEMPERATURA MINIMA EXTREMA																				
Periodo Verano (Enero): 40 a 41 °C	Periodo Verano (Enero): 33 a 34 °C	Periodo Verano (Enero): 27 a 28 °C	Periodo Verano (Enero): 22 a 23 °C	Periodo Verano (Enero): 12 a 13 °C																				
Periodo Invierno (Julio): 34 a 35 °C	Periodo Invierno (Julio): 23 a 24 °C	Periodo Invierno (Julio): 16 a 17 °C	Periodo Invierno (Julio): 12 a 13 °C	Periodo Invierno (Julio): -2 a -1 °C																				
Periodo Anual: 41 a 42 °C	Periodo Anual: 28 a 29 °C	Periodo Anual: 22 a 23 °C	Periodo Anual: 17 a 18 °C	Periodo Anual: 0 a -2 °C																				
<b>Vientos</b>	<p>Es el movimiento de aire, el aire caliente asciende y el frío ocupa su lugar, este movimiento crea los vientos. Se origina por las diferencias de presión atmosférica entre unos lugares y otros, el aire va de zonas de alta presión a las de baja presión.</p>	<p>En Paraguay los vientos del norte son los vientos cálidos cargados de alta humedad que soplan desde el Brasil con dirección noreste. Los vientos del sur son los vientos frescos secos que soplan de la Antártida, atravesando Argentina de sudoeste a noreste. Son fuertes y secos, en ocasiones pueden superar los 50 km/h.</p>	<p><b>VELOCIDAD DEL VIENTO A 10 METROS DE ALTURA PROMEDIO ANUAL</b></p>																					
<b>Humedad</b>	<p>Llamamos humedad al vapor de agua contenido en el aire, constituido por pequeñas gotitas de agua que son invisibles y se comportan como un gas, el cual se forma por la evaporación. La humedad ambiente es necesaria para el confort humano.</p>	<p>En nuestro país, podemos observar que los más altos porcentajes de Humedad Relativa Ambiente se registran en Alto Paraná, desde Encarnación a Saltos del Guairá con casi 80%, en contraste, la zona más seca es el Oeste chaqueño, donde la media anual es de apenas 55%.</p>	<p><b>REGION DE CARACTERISTICA SECA</b></p> <p><b>REGION DE CARACTERISTICA HUMEDA</b></p>																					

Fuente: Elaboración propia en base a Dirección de Meteorología y la Web de la MOPC.



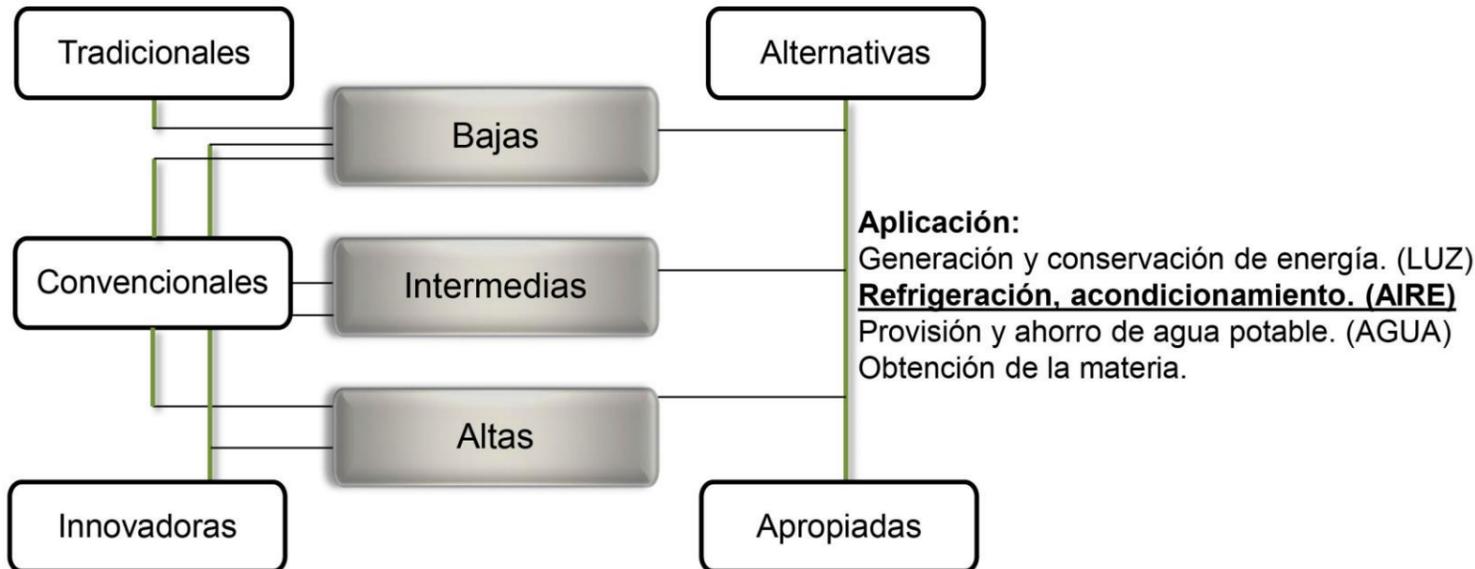
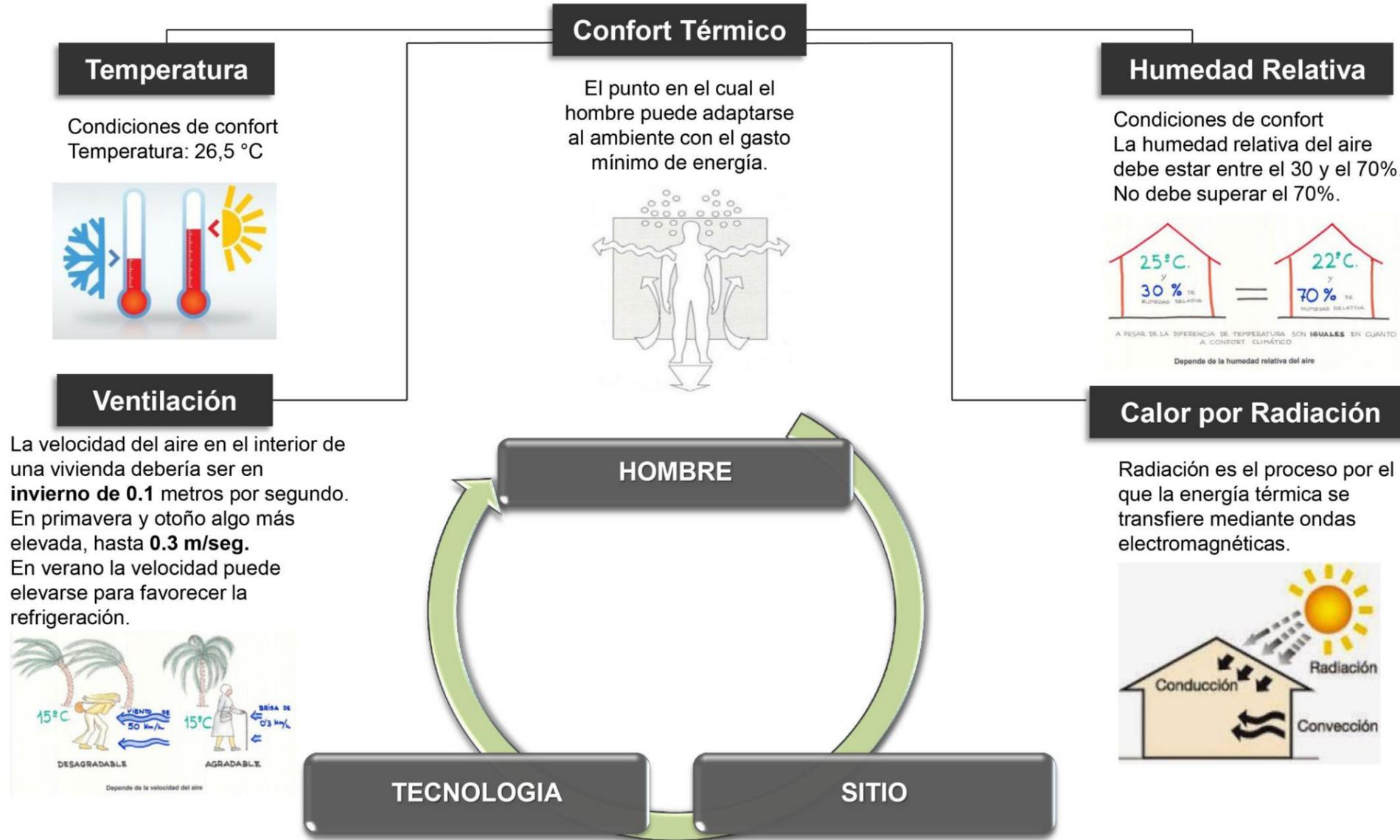
Analizar los factores climáticos del Paraguay permite lograr el mejor aprovechamiento de tecnologías alternativas como método de acondicionamiento pasivo y como finalidad brindar confort al ser humano.

En el esquema que sigue se demuestra la relación existente entre el hombre que vive en un determinado sitio con características climatológicas y las tecnologías que lo ayudan a mejorar su calidad de vida con la finalidad de ampliar los índices de la zona de confort térmico del espacio donde reside y trabaja.



Ilustración 4: Síntesis de la Aplicación de la Tecnología Alternativa en el Acondicionamiento.

ELEMENTOS QUE AFECTAN EL CONFORT HUMANO



El **CLIMA**, las condiciones climáticas del sitio

- Temperatura en Paraguay
- Radiación en Paraguay
- Humedad en Paraguay
- Vientos predominantes en Paraguay



Los **RECURSOS**, renovables o no renovables

Ciclo del AIRE del AGUA de la ENERGIA de la MATERIA





### 1.1.1.3. Tipos de Acondicionamiento

Al referirse al término acondicionamiento, se reconocen dentro de esta especialidad diferentes campos para la definición de los distintos equipos y estrategias, que determinan a su vez los sistemas: activo, pasivo, combinado.

#### ➤ Sistema de Acondicionamiento Activo

Sistema de climatización artificial, son aquellos que necesitan instalaciones, para su funcionamiento precisan de fuente de energía exterior, como ser la electricidad. Los fluidos, tales como aire o agua, circulan por estos sistemas activos a base de bombas o ventiladores.

#### ➤ Sistema de Acondicionamiento Combinado

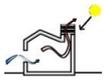
Sistema en el cual es utilizado el sistema pasivo conjuntamente con el sistema activo (mecánicos), donde se busca a través de la combinación de los mismos obtener mejores resultados y permitir al edificio ahorrar energía en ventilación mecánica y refrigeración sólo en los espacios que lo necesiten y solo en momentos donde la ventilación natural no sea suficiente.

Entre las combinaciones de sistemas actualmente se presenta el Sistema Domotico, también conocido como “sistema inteligente”, el cual bajo una misma central gestiona los servicios de una vivienda para el máximo aprovechamiento de todo lo instalado; tiene como función principal el ahorro energético, como también el control electromecánico de elementos claves en la climatización de los espacios.

#### ➤ Sistema de Acondicionamiento Pasivo

Sistema térmico de captación y almacenamiento que tienen como finalidad mejorar el comportamiento climático del edificio durante la estación cálida, sin la utilización de fuentes de energías convencionales. (Gonzalo, 2004).

Los sistemas pasivos, son por su costo y necesidad de control y mantenimiento, de aplicación más inmediata a la arquitectura y a sus necesidades funcionales; y los activos, al área industrial y de transporte. El desarrollo del trabajo se enfoca específicamente en el sistema de acondicionamiento pasivo.



Se encara el análisis del uso de la tecnología alternativa como generador de ventilación a los espacios interiores de una vivienda, dentro del concepto de sistema de acondicionamiento pasivo. Teniendo como objetivo conseguir condiciones de bienestar en el interior y aumentar la calidad de vida.

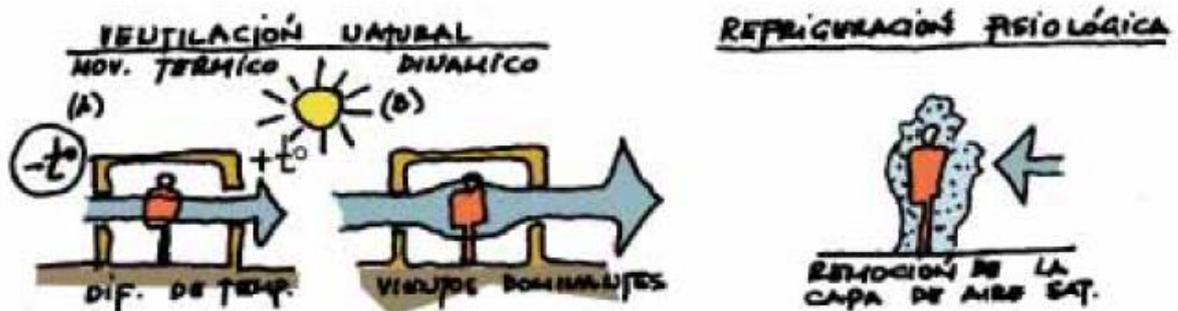
#### 1.1.1.4. Acondicionamiento Térmico Natural como fundamento del Sistema Pasivo

El acondicionamiento térmico natural es la técnica que estudia los métodos para que el espacio habitado presente las condiciones térmicas exigidas por el ser humano, sin recurrir a ningún tipo de energía propia. (Rivero, 1998)

La ventilación natural cumple la función de generar el proceso de intercambio de aire del interior de una edificación por aire del exterior puede ser logrado por la diferencia de temperatura o de presión entre ambos, lo cual permite evacuar los aportes de calor solares e internos (producidos por los ocupantes, la iluminación, maquinarias) y la humedad del ambiente.

El movimiento del aire sobre el cuerpo humano incrementa la disipación de calor y humedad de la transpiración, además con la ventilación se puede mantener cierto tenor de pureza del aire. (Quadri, 2005)

Ilustración 5: Ventilación Natural.



Fuente: Apuntes de clase Autoclimatización, FADA – UNA.

La ventilación natural cumple tres funciones, el suministro de aire fresco, es decir, un volumen de aire a ser renovado; la eliminación de calor a partir de un espacio por intercambio de aire, en el cual inciden la vegetación, la topografía del lugar y la disposición de las aberturas y refrigeración fisiológica.



Todos los sistemas pasivos están compuestos, y en ellos se pueden reconocer cinco elementos definidores, que son: captador, aborbedor, almacenamiento, distribución y control.

En este caso se describe los elementos dentro del contexto de sistemas solares pasivos.

**Cuadro 3: Elementos del Sistema Pasivo.**

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>
<b>Captador</b>	La superficie de captación determina la radiación directa solar que será eficaz para la vivienda y el rendimiento de la captación se puede mejorar aumentando la radiación solar captada dirigiéndola mediante una superficie reflectante.
<b>Absorbedor</b>	Consiste en una superficie oscura de los elementos de almacenamiento y es situada en la trayectoria directa de la radiación solar.
<b>Almacenamiento</b>	Se refiere a los materiales usados en la construcción y que además se han situado con la intención específica de mantener el calor producido por la radiación solar.
<b>Distribución</b>	Es el método por el cual el calor circula desde la captación y los puntos de almacenamiento, a las distintas zonas de la vivienda.
<b>Control</b>	Son los elementos que impiden el sobrefriamiento, el sobrecalentamiento y la pérdida de calor.

Fuente: Elaboración Propia en base a McPhillips Martín, 1985.

#### **1.1.1.5. Estrategias de Acondicionamiento Pasivo**

Dentro de sus diferentes clasificaciones se pueden citar los de ventilación, evaporación, enfriamiento por radiación, inercia térmica, aislamiento térmico, conductores subterráneos, paneles radiantes y humidificadores. Se expone en el siguiente cuadro los tipos de tecnologías correspondientes a cada estrategia – (Cuadro 4).



**Cuadro 4: Clasificación de estrategias de Acondicionamiento Pasivo.**

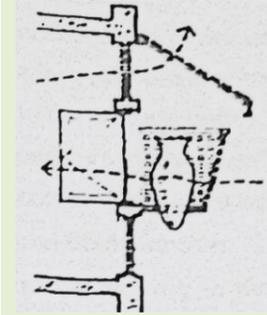
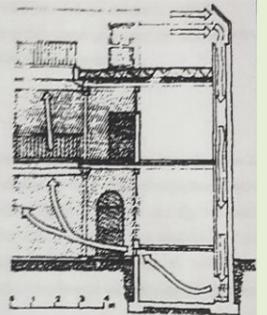
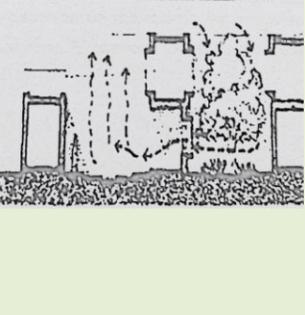
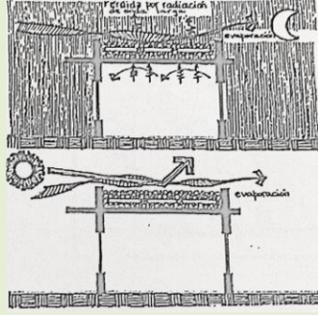
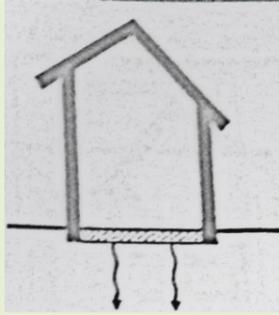
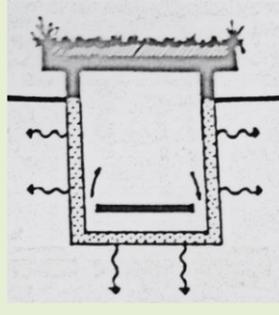
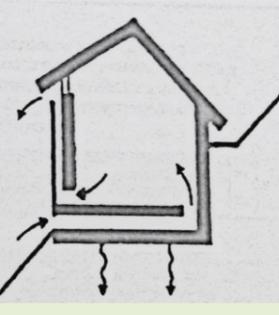
<b>Clasificación</b>	<b>Tipo de Tecnología</b>
<b>Evaporación</b>	Ventana de refrigeración. Respiraderos de trampillas. Enfriamiento por evaporación. Enfriamiento evaporativo indirecto, por lecho de piedras.
<b>Inercia Térmica</b>	Enfriamiento por piso. Enfriamiento por edificio enterrado con intercambiador de calor. Enfriamiento por canal bajo piso y muro solar.
<b>Enfriamiento por Radiación</b>	Enfriamiento por radiación nocturna en espacio adosado. Enfriamiento por radiación nocturna directa. Enfriamiento evaporativo indirecto. Cubierta con agua "Sistema Cool Pool". Sistema Skytherm.
<b>Conductores Subterráneos</b>	Enfriamiento por conductos subterráneos. Enfriamiento por conductos enterrados, con regeneración nocturna.
<b>Aislamiento Térmico</b>	Puentes térmicos.
<b>Paneles Radiantes</b>	Refrigeración mural SYTEC. Piso radiante.
<b>Humidificadores</b>	Sistema de llovizna o dinámica termal.
<b>Ventilación</b>	Ventilación cruzada. Ventilación estructural de techo. <b>Ventilación por "chimenea solar".</b> <b>Ventilación por extracción mediante "chimenea solar"</b> Ventilación por efecto de "tiro". Ventilación por muro solar termosifónico. Refrigeración por "colector solar".

Fuente: Elaboración propia en base a Investigación Sistemas Pasivos de refrigeración aplicables a viviendas unifamiliares urbanas en climas sub-tropicales, Gabriela Zanoni, 2005.

Por lo tanto, luego de identificar los tipos de estrategias utilizadas para generar mecanismos de acondicionamiento pasivo, se describe los diversos tipos de tecnologías aplicables a las mismas, según su clasificación (evaporación, inercia térmica, enfriamiento por radiación, conductores subterráneos, aislamiento térmico, paneles radiantes, humidificadores y ventilación); descritos en el cuadro 5 al 8.

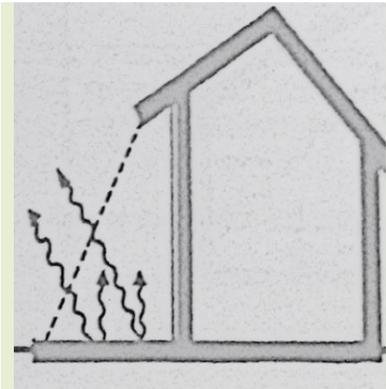
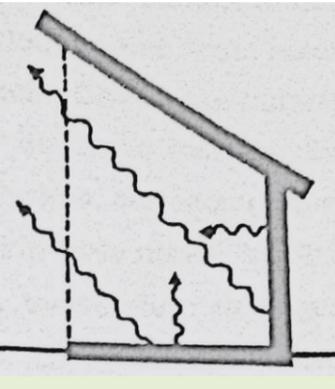
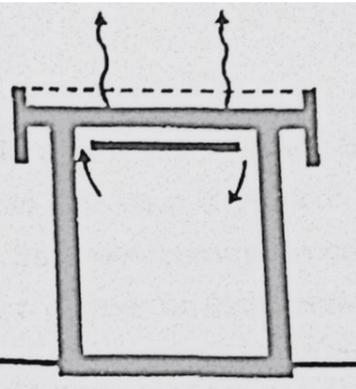
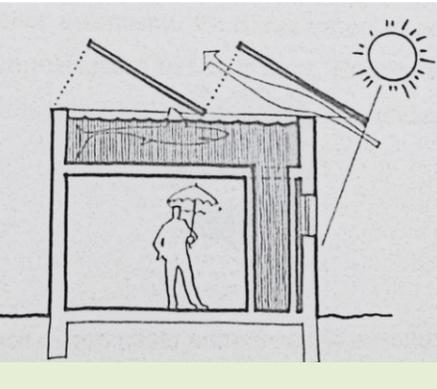
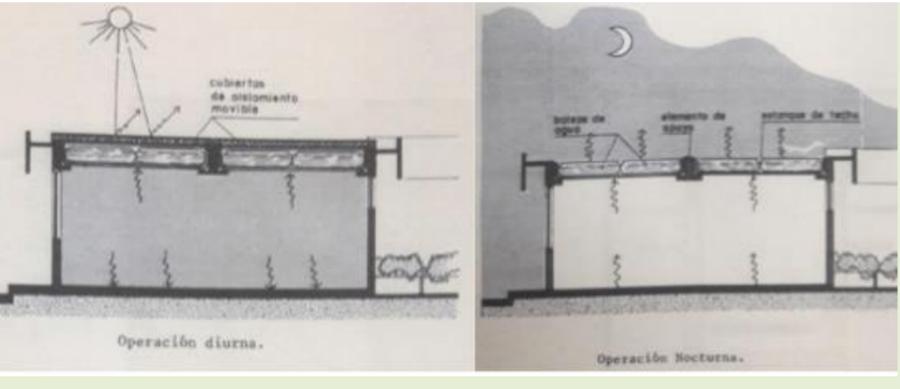


**Cuadro 5: Tecnologías para Acondicionamiento Pasivo.**

EVAPORACION				INERCIA TERMICA		
<b>Ventana de refrigeración</b>	<b>Respiraderos de trampillas</b>	<b>Enfriamiento por evaporación</b>	<b>Enfriamiento evaporativo indirecto, por lecho de piedras</b>	<b>Enfriamiento por piso</b>	<b>Enfriamiento por edificio enterrado con intercambiador de calor.</b>	<b>Enfriamiento por canal bajo piso y muro solar.</b>
El aire se enfría por evaporación al pasar por la superficie del recipiente poroso lleno de agua.	También llamados "torres de viento". Pueden variar en sus detalles y formas de una región a otra, pero permanece idéntico del principio fundamental de recoger las brisas que corren por encima del edificio y que no encuentran obstáculos a su paso.	Se trata de un proceso que ocurre en la naturaleza en las áreas con abundante vegetación: el agua filtrada desde las raíces se evapora en las hojas y da una sensación de frescor.	Enfriamiento evaporativo indirecto, a través de un techo cubierto con piedras, preferiblemente blancas o claras, con un aislamiento intermedio e inundado con agua; permitirá tener un cielorraso fresco y disminuir la temperatura del aire interior.	En las regiones cálidas - húmedas, la inercia térmica de los materiales del edificio debe ser lo más pequeña posible, para impedir la acumulación de calor durante el día y para hacer mínima su re irradiación, que puede originar molestias durante la noche cuando el movimiento del aire es pequeño.	Dado que el suelo casi siempre está más frío que el aire, durante los meses en que resulta necesaria la refrigeración, cuanto más en contacto con la tierra se encuentre la edificación, más fresca se hallará.	Las disposiciones para la aplicación de esta estrategia son múltiples y para la circulación del flujo de aire enfriado por contacto con la tierra podemos combinar sistemas, a fin de que el muro solar mueva el aire exterior a través de los canales o tuberías, pasándolo por el interior de los ambientes.
						

Fuente: Elaboración propia en base a Investigación Sistemas Pasivos de refrigeración aplicables a viviendas unifamiliares urbanas en climas sub-tropicales, Gabriela Zanoni, 2005.

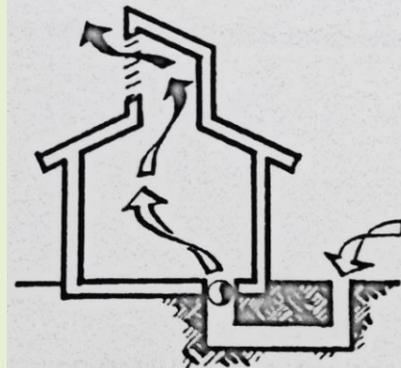
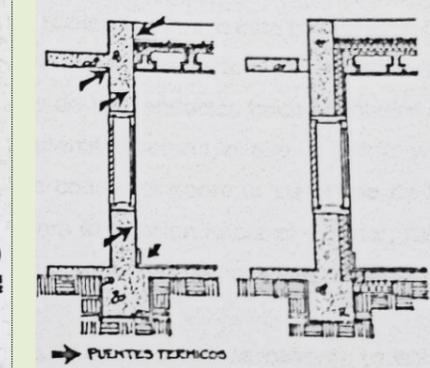
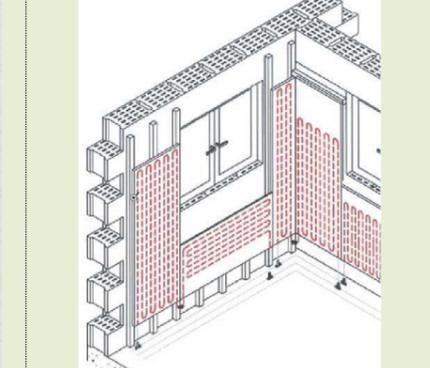
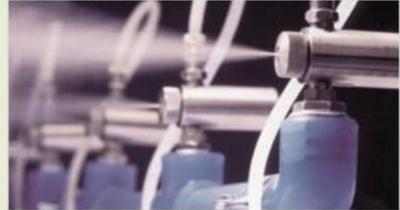
**Cuadro 6: Tecnologías para Acondicionamiento Pasivo.**

ENFRIAMIENTO POR RADIACION				
<b>Enfriamiento por radiación nocturna en espacio adosado.</b>	<b>Enfriamiento por radiación nocturna directa.</b>	<b>Enfriamiento evaporativo indirecto.</b>	<b>Cubierta con agua "Sistema Cool Pool".</b>	<b>Sistema Skytherm.</b>
La pérdida de calor por emisión de radiación de onda larga de todas las superficies exteriores de un edificio, especialmente las enfrentadas al cielo, es el componente físico fundamental del enfriamiento radiante.	Relación entre la ventilación artificial realizada en circuito cerrado en el interior de un edificio y la transferencia del calor llevado por el aire a una superficie enfrentada al exterior, la cual pierde este calor al emitirlo hacia la bóveda celeste.	Reduce la temperatura del aire en un evaporador directo o torre de enfriamiento, haciendo circular luego el aire interior enfriado en un intercambiador de calor. Esta estrategia puede funcionar con un techo mojado, protegido de la radiación solar diurna.	El estanque del techo irradia su calor al firmamento. El agua más fría descende hacia el panel radiante de la pared, enfriando la casa. El agua más caliente asciende hacia el estanque donde irradia hacia el firmamento.	Utiliza el techo como un estanque de agua colocado encima, para suministrar calefacción solar en invierno y enfriamiento por convección y radiación nocturna en verano.
				

Fuente: Elaboración propia en base a Investigación Sistemas Pasivos de refrigeración aplicables a viviendas unifamiliares urbanas en climas sub-tropicales, Gabriela Zanoni, 2005.



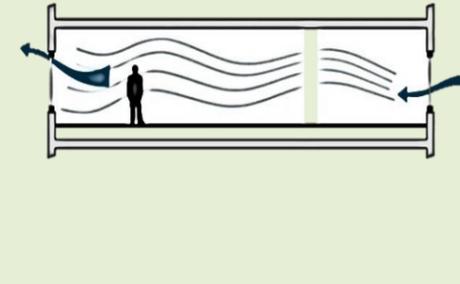
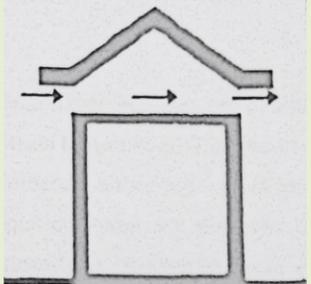
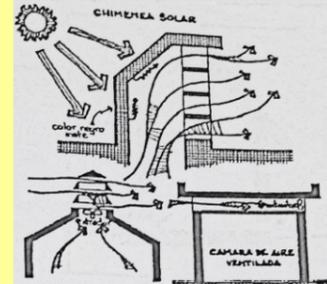
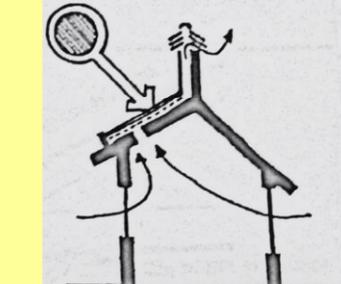
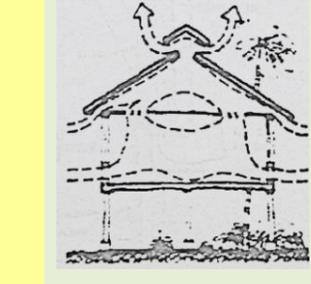
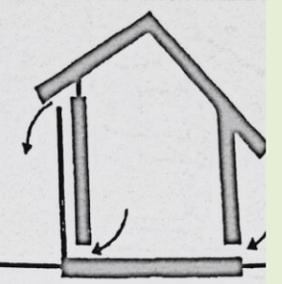
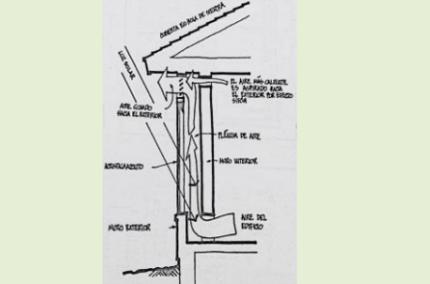
**Cuadro 7: Tecnologías para Acondicionamiento Pasivo.**

CONDUCTORES SUBTERRANEOS	CONDUCTORES SUBTERRANEOS	AISLAMIENTO TERMICO	PANELES RADIANTES	HUMIDIFICADORES
<p>Enfriamiento por conductos subterráneos.</p> <p>Cuando el aire de la edificación es extraído, naturalmente o por medio de un ventilador, se aspira aire exterior que se enfría al pasar a través de los conductores enterrados.</p>	<p>Enfriamiento por conductos enterrados, con regeneración nocturna.</p> <p>Se puede utilizar para enfriar el interior de los locales y la estructura del edificio un esquema de enfriamiento por conductos bajo tierra, realizando el circuito de aire de modo tal a obtener regeneración nocturna.</p>	<p>Puentes térmicos.</p> <p>Construcciones monolíticas con huecos pequeños en climas cálidos-secos. Los gruesos muros exteriores y cubiertas, contruidos a menudo con materiales de gran inercia térmica como la piedra o la arcilla, absorben la radiación solar durante las horas de sol, irradiándola lentamente durante la noche. De esta forma las temperaturas exteriores se amortiguan, siendo más frescas durante el día y más cálidas durante la noche.</p>	<p>Refrigeración mural SYTEC. Piso radiante.</p> <p>Fue diseñado como un sistema de calefacción mural y refrigeración. Sistema que enfría una habitación por radiación y con mínimos movimientos de aire, haciendo circular un fluido refrigerante, asegurando un clima uniforme y un equilibrio de humedad en el aire. Puede adaptarse a cualquier característica geométrica de la habitación. (Sistema diseñado e implementado en España por POLYSAN S.A.)</p> <p>El suelo radiante requiere de un espacio entre la losa y el mortero de como mínimo 4cm, por lo tanto para mantener la altura de los techos se deberá aumentar la distancia entre plantas. Los circuitos de tuberías del sistema son alimentados individualmente por medio de un colector. Los tubos pueden ser instalados sin dificultad por medio de barras de sujeción y clips de anclajes.</p>	<p>Sistema de llovizna o dinámica termal.</p> <p>En su forma más simple, la boquilla de rocío, diseñada en acero inoxidable para producir gotas de agua más pequeñas que el diámetro de un cabello humano, generan llovizna o "niebla" que se evapora al instante disminuyendo la temperatura del aire circundante.</p>
	 <p>CIRCUITO DE AIRE BAJO TIERRA</p>	 <p>PUNTES TERMICOS</p>		 

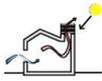
Fuente: Elaboración propia en base a Investigación Sistemas Pasivos de refrigeración aplicables a viviendas unifamiliares urbanas en climas sub-tropicales, Gabriela Zanoni, 2005.

**Cuadro 8: Tecnologías para Acondicionamiento Pasivo.**

**VENTILACION**

<p><b>Ventilación cruzada</b></p> <p>Generar aberturas estratégicamente ubicadas para facilitar el ingreso y salida del viento a través de los espacios interiores de los edificios, considerando de manera cuidadosa la dirección de los vientos dominantes. Siendo más precisos, la ventilación cruzada implica generar aberturas en zonas de alta y baja presión de viento de la envolvente arquitectónica.</p>	<p><b>Ventilación estructural de techo</b></p> <p>Utilizar para ventilar entretechos y lograr así mantener una temperatura superficial de la parte superior de la envolvente, a un nivel similar a la temperatura del aire exterior.</p>	<p><b>Ventilación por "chimenea solar"</b></p> <p>Conveniente en casos de poca disponibilidad de vientos, las chimeneas solares o térmicas tipo de ventilación inducida que permiten extraer el aire caliente del interior.</p>	<p><b>Ventilación por extracción mediante "chimenea solar"</b></p> <p>La ventilación puede ser reforzada por medio de chimeneas solares como extractores naturales al calentar el aire, el cual al perder densidad se eleva, arrastrando el aire que ingresa a través de las ventanas.</p>	<p><b>Ventilación por efecto de "tiro"</b></p> <p>Contribuye en buena medida a crear condiciones de confort en regiones húmedas, cuando haya poco o nulo movimiento de aire.</p>	<p><b>Ventilación por muro solar termosifónico</b></p> <p>Para situaciones climáticas con baja velocidad de vientos, se puede reforzar el efecto ventilante mediante efecto termosifónico por muro solar.</p>	<p><b>Refrigeración por "colector solar"</b></p> <p>Su función consiste en aspirar el aire caliente hacia el exterior por convección natural, arrastrando el aire de la casa a través del mismo y suministrando ventilación. Los colectores aspiran el aire caliente hacia el exterior en los días soleados del verano.</p>
		 <p>CHIMENEA SOLAR</p> <p>EFEECTO CHIMENEA</p> <p>CAMARA DE AIRE VENTILADA</p>				

Fuente: Elaboración propia en base a Investigación Sistemas Pasivos de refrigeración aplicables a viviendas unifamiliares urbanas en climas sub-tropicales, Gabriela Zanoni, 2005.



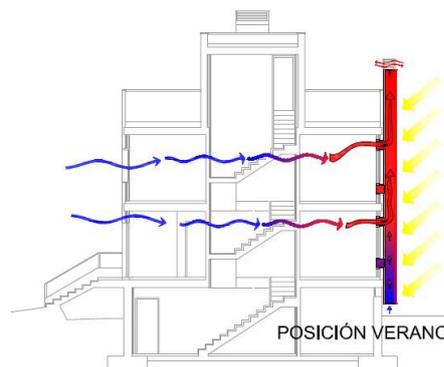
El trabajo de investigación se centra en el estudio y análisis del sistema de chimeneas solares.

## 1.2. Chimenea solar como Tecnología Alternativa para el Acondicionamiento Pasivo

La chimenea solar es un sistema pasivo generador de movimiento de aire, siendo su motor principal LA RADIACION SOLAR; fundamentalmente es una torre vertical hueca con una columna de aire fluyendo hacia el exterior por su extremo superior.

En su forma más simple, una chimenea solar consiste en una chimenea pintada de negro. Durante el día la energía solar calienta la chimenea y el aire dentro de ella, creando una corriente de aire ascendente en la chimenea.

**Ilustración 6: Chimenea Solar.**

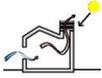


Fuente: <http://www.intromac.com/mittic/soluciones.html>

Al utilizar esta tecnología alternativa podemos resaltar primeramente que ayuda a reducir el consumo de energía, las emisiones de CO<sub>2</sub> y la contaminación en general.

Los beneficios potenciales con respecto a la ventilación natural y el uso de chimeneas solares son:

- Reducción de la dependencia en la energía eólica y el viento de ventilación impulsado.
- Mejor control del flujo de aire a través de un edificio.
- Gran elección de la toma de aire (lado de sotavento, es decir, de la construcción)

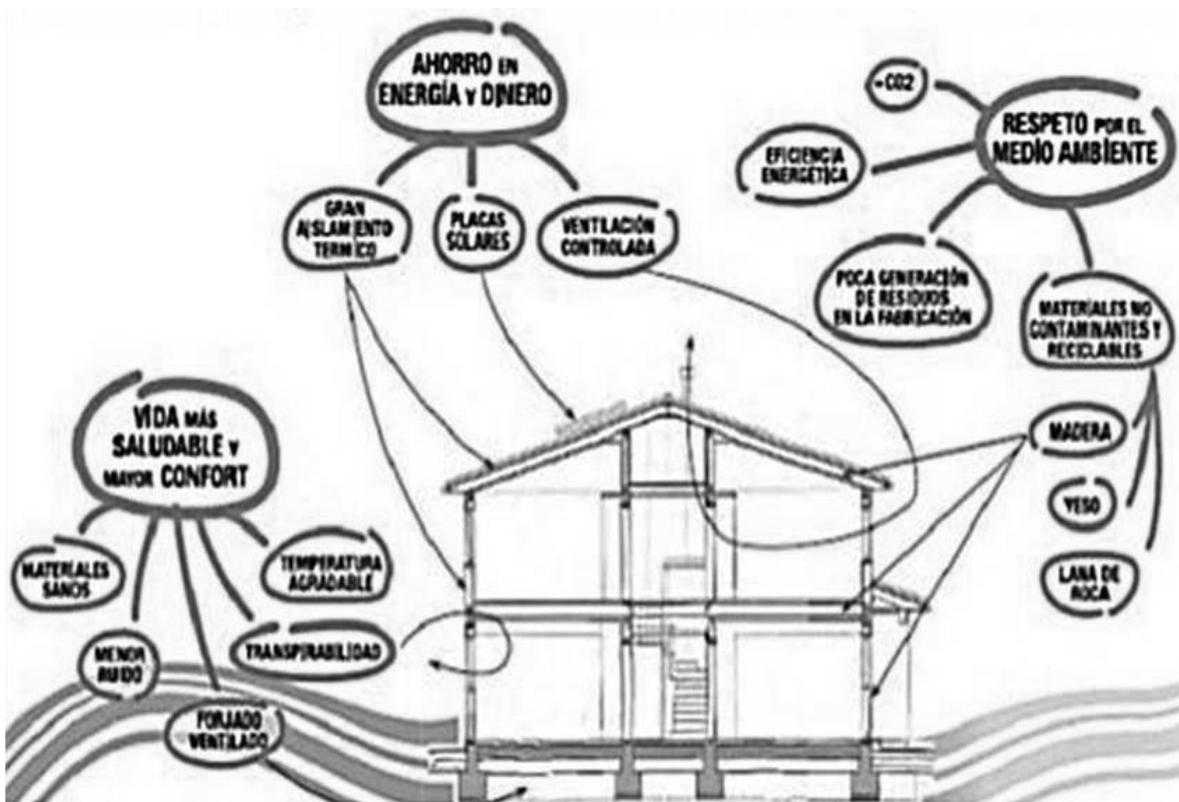


- Mejora de la calidad del aire y reducción de los niveles de ruido en las zonas urbanas.
- El aumento de las tasas de enfriamiento en la noche del tiempo de ventilación.
- Permite la ventilación de los espacios estrechos y pequeños con una exposición mínima a los elementos externos.

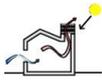
Los beneficios potenciales en cuanto a refrigeración pasiva pueden incluir:

- Mejora de refrigeración pasiva durante la temporada cálida (sobre todo en los días de calor).
- Mejora en la noche la tasa de enfriamiento.
- Mejora del rendimiento de la masa térmica (frío, almacenaje en frío)
- Mejora el confort térmico (un mejor control del flujo de aire y corrientes de aire reducido).

#### Ilustración 7: Beneficios del uso de chimeneas solares.



Fuente: <http://www.sostenibilidadyarquitectura.com>



### 1.2.1. Chimeneas solares como estrategias de confort

La chimenea solar puede incrementar la ventilación durante los meses de verano bajo condiciones de calor extremo y como soporte de otros sistemas pasivos como la ventilación cruzada (Santamouris M., 2007). La velocidad del flujo del aire interior es la que ampliaría la zona de confort o la tolerabilidad a temperaturas elevadas, por consiguiente el objetivo de la chimenea no es sólo suministrar aire fresco sino incrementar la velocidad del flujo de aire interior utilizando la radiación.

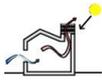
El objetivo principal es, generar movimiento de aire y de esta manera ampliar los índices de la zona de confort en climas con temperaturas y humedad relativas elevadas. Presenta características que hacen viable su implantación: helio motricidad, operación autónoma, operación de soporte.

**Cuadro 9: Características de las chimeneas solares.**

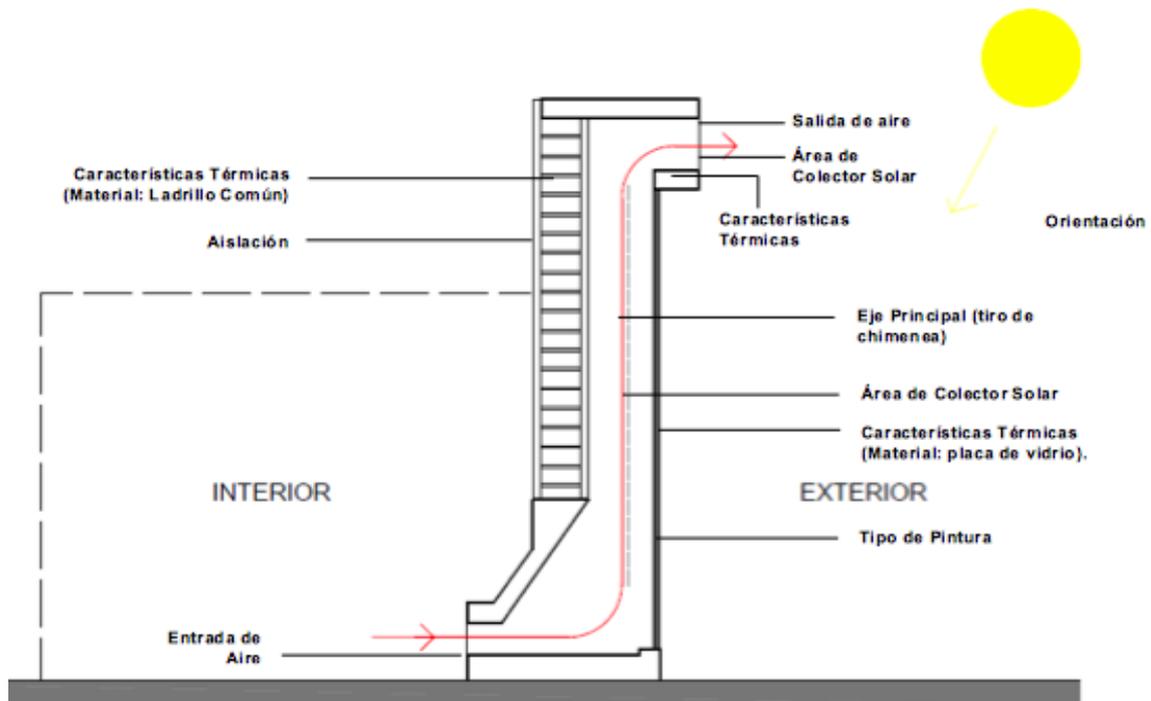
Características	Descripción
Helio motricidad	Por sus características de funcionamiento la chimenea solar incrementa su rendimiento aumentando la velocidad de aire interior a medida que se intensifica la radiación solar exterior; de tal manera que aportará mayores flujos de aire en situaciones de altas temperaturas exteriores donde las condiciones higrotérmicas se alejan de la zona de confort.
Operación autónoma	Es un elemento autónomo, no dependiendo de otros factores más que los básicos para su propia operación, puede adaptarse a habitaciones que no tengan la posibilidad de integrar un sistema de ventilación cruzada por condiciones especiales de espacio o proyecto.
Operación de soporte	Presenta la capacidad de integrarse como sistema alterno o de soporte a gestores principales como la ventilación cruzada; en climas cálidos húmedos la frecuencia de vientos en calma puede rebasar el 35%, por lo que desciende la eficiencia de la ventilación cruzada y la chimenea solar puede solventar esas deficiencias al no depender de la frecuencia del viento.

Fuente: Elaboración propia en base a Investigación Parámetros de diseño para una Chimenea Solar, Juan Carlos León, 2013.

En la ilustración 8 se identifican los elementos de la chimenea solar, siendo estos: la entrada y salida de aire, el eje principal (tiro de chimenea), la orientación, el tipo de pintura, el aislamiento, las características térmicas de materiales, elementos importantes para captar, conservar y utilizar la energía solar.



**Ilustración 8: Esquema Chimenea Solar.**

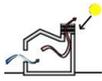


Fuente: Elaboración Propia.

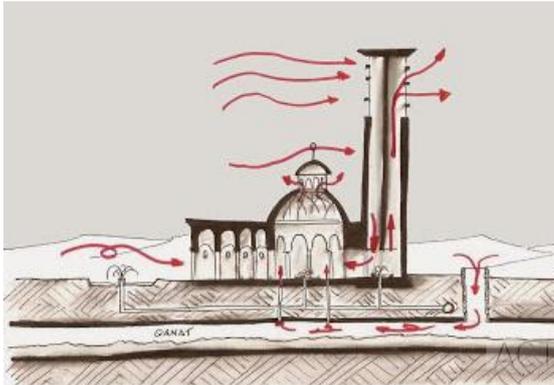
### 1.2.2. Antecedentes de investigación sobre la construcción de chimeneas solares

Al realizar la investigación de funcionamiento del sistema de chimeneas solares, se encuentra que la arquitectura islámica tradicional en Irán, Iraq, los Emiratos Árabes Unidos, Bahrén y Egipto era basada y construida de acuerdo a las condiciones climáticas del lugar, utilizando elementos arquitectónicos y estrategias de acondicionamiento con la finalidad de controlar eficazmente la temperatura en el interior de las construcciones. El elemento característico más utilizado son las torres o captadores de viento, dicho elemento se utilizó en esta región desde el año 3000 a.d.c., dispositivos arquitectónicos tradicionales persas realizados para crear ventilación natural en los edificios.

El principio de funcionamiento de las torres de viento se basa en el cambio de temperatura del aire y la diferencia de peso (densidad) dentro y fuera de ésta, que impulsando a modo de succión, hace que el aire fluya en el fondo o en la parte superior. La circulación del aire en varios puntos del edificio se ajusta al abrir o cerrar las trampillas.



### Ilustración 9: Torres de Viento.

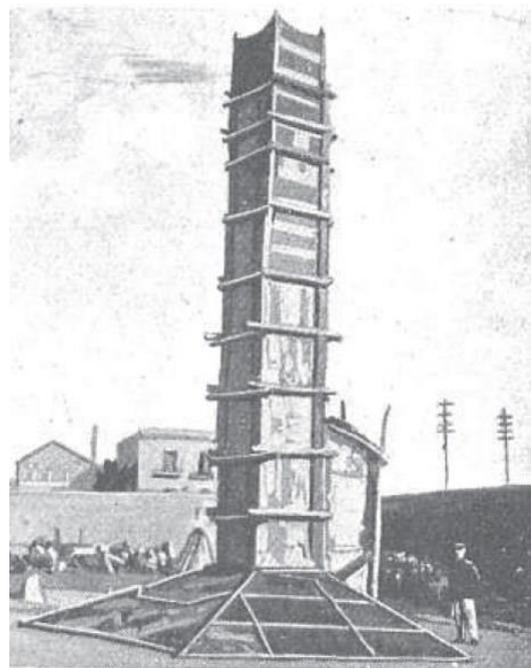


Fuente: Arquitectura y Diseño Ecológico. <http://activarquitectos.blogspot.com>

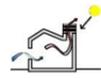
En el año 1903 se propone la chimenea solar, como proyecto de motor solar, la cual contaba con dos peculiaridades en su base: la primera un colector solar destinado a calentar el aire y provocar una corriente ascensional por la chimenea y la segunda, un generador eólico destinado a producir trabajo mecánico a impulso de esa corriente ascensional. (Lorenzo E., 2002)

De este modo, al concluir la revisión de antecedentes, en el cuadro que sigue se describe algunos casos de estudio, investigación y uso del sistema de chimeneas solares en la actualidad, citando la ubicación, las características del clima del sitio, las características del diseño y funcionamiento (Cuadro 10).

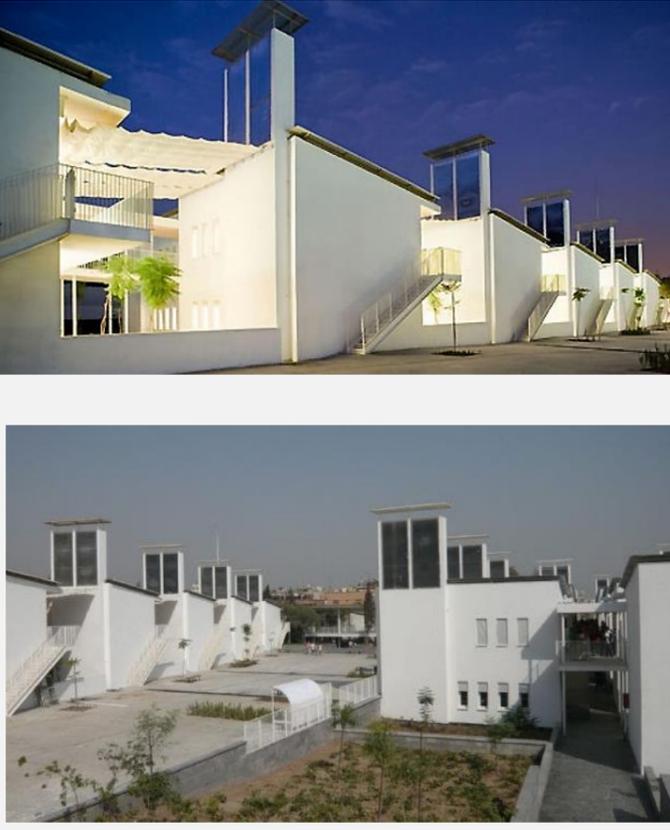
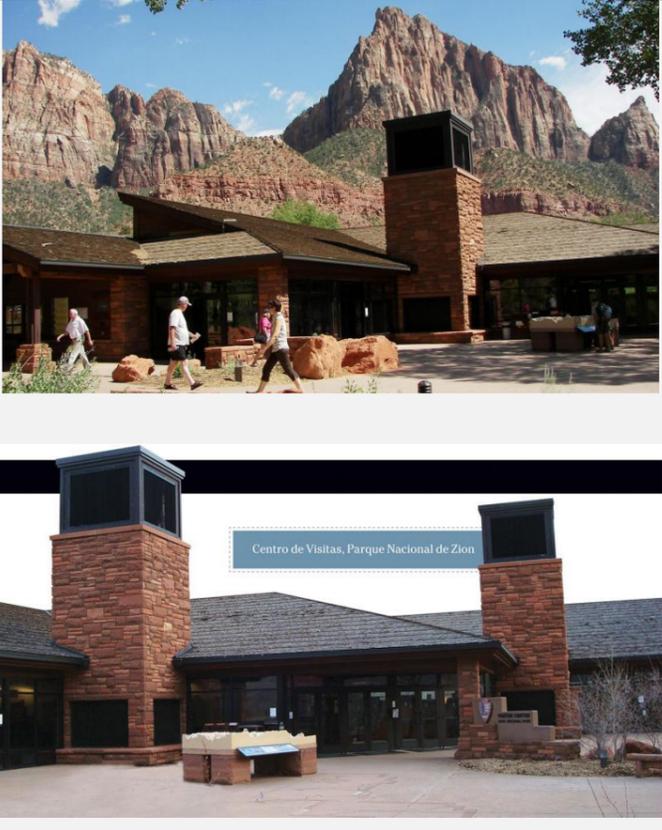
### Ilustración 10: Chimenea Solar Manzanares.



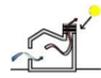
Fuente: <http://casasalameda.com/chimenea-solar/>



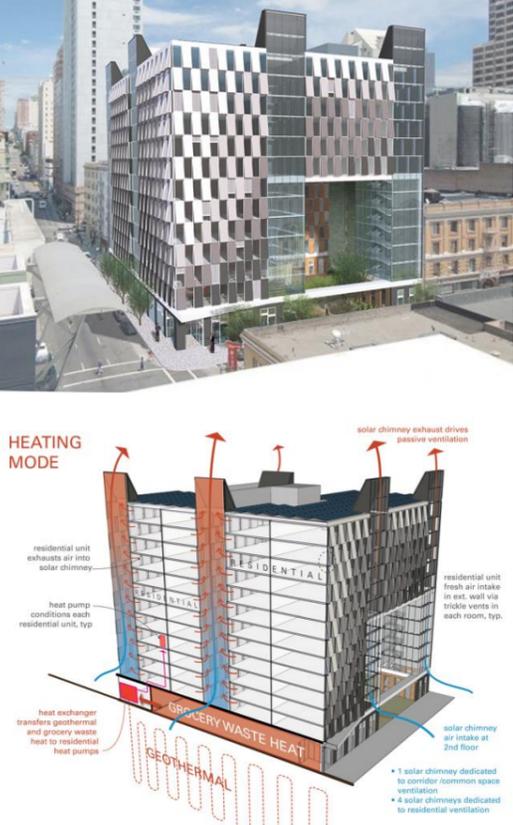
**Cuadro 10: Casos de estudio, investigación y aplicación del sistema: Chimeneas Solares.**

Obra - Proyecto	Hemiciclo Solar en Móstoles, Ruíz-Larrea (2009).	Escuela Francesa Lycée Charles de Gaulle. (2008).	Centro de Visitas del Parque Nacional de Zion.
<b>Ilustración</b>			
<b>Autores</b>	Estudio de Arquitectura Ruíz-Larrea y Asociados.	Arquitectos franceses Ateliers León en conjunto con la empresa Transsolar (Ingeniería ambiental).	Arq. Gilbert Stanley Underwood.
<b>Ubicación</b>	Móstoles (Comunidad de Madrid), España. (Hemisferio Norte)	Damasco, Siria (Hemisferio Norte)	Estado de Utah, Estados Unidos. (Hemisferio Norte)
<b>Características climáticas del sitio</b>	Cálido Húmedo.	Clima seco característico del desierto (días cálidos y noches frías).	Clima desértico o semiárido.
<b>Localización dentro del proyecto</b>	Orientadas al sur.	Orientadas hacia el sur.	Orientadas hacia el sur.
<b>Características de diseño</b>	El edificio de 6 pisos, cuenta con 92 viviendas, se utiliza la combinación de técnicas de acondicionamiento, estos son, el pozo canadiense, con las chimeneas solares y las galerías solares.	Cuanto a materiales utilizados se refiere, la parte superior de la chimenea es cubierta con láminas de policarbonato pintado de negro.	Su diseño fue provisto de varios sistemas sustentables para un ahorro considerable en el consumo energético, como ser, la integración de ventanas tipo triforio, paneles fotovoltaicos orientados al sur y también un sistema de automatización que recolecta información climática.
<b>Funcionamiento</b>	Cada vivienda tiene salida a una chimenea solar, junto al techo hay rejillas de aspiración que derivan el aire caliente y viciado del interior a las chimeneas solares, ventilando y refrescando en verano aún más las viviendas, por la corriente de convección natural que se forma (que se complementa además por la ventilación cruzada norte/sur al abrir las ventanas de noche). En invierno sin embargo las chimeneas solares se cierran, y el aire que aspiran las rejillas de las viviendas retorna, donde se recupera parte del calor y se aprovecha para calentar el nuevo aire que se impulsará dentro de las viviendas.	Las chimeneas solares reciben asistencia del viento como torres eólicas, que permite la salida del aire caliente de las aulas apiladas, el aire fresco entrante a las aulas se da a través de sus ventanas, trayendo el aire desde el microclima de los patios internos, cuya temperatura es moderada por el sombreado y la vegetación. El aire fresco también se introduce desde el patio a las clases inferiores mediante los conductos de tierra incorporados en la losa de planta baja. La función de los conductos de tierra es pre-enfriar la temperatura del aire más a fondo antes de que entre al aula, mediante su contacto con la tierra, la cual presenta una temperatura constante durante casi todo el año.	El principio consiste en permitir que el agua se evapore en la parte superior de una torre, la cual enfría el aire entrante, causando una corriente descendente de aire frío, el flujo de aire aumenta con el uso de la chimenea solar que ayuda en la ventilación de aire caliente hacia el exterior.

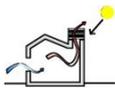
Fuente: Elaboración Propia en base a Investigación Análisis térmico experimental adosada a una habitación – Hugo Báez, Manuel Gordon. [http://www.solaripedia.com/13/139/1263/monash\\_science\\_centre\\_wall.html](http://www.solaripedia.com/13/139/1263/monash_science_centre_wall.html). [https://issuu.com/dosmasunoarquitectos/docs/arquitectos\\_189/5](https://issuu.com/dosmasunoarquitectos/docs/arquitectos_189/5). <https://chraq.wordpress.com/2015/11/12/chimenea-solar/>.



**Cuadro 11: Casos de estudio, investigación y aplicación del sistema: Chimeneas Solares.**

Obra - Proyecto.	Monash Centro de Ciencias (2002).	Sidwell Friends Escuela Secundaria Wetland Machine	Tetrís Block (2013).
<b>Ilustración</b>			
<b>Autores</b>	Arq. Williams Boag.	Arq. Kieran Timberlike	Arq. Duane B. Carter. Arq. Mike Stopka. Arq. Simon Mance. Arq. Scott Farbman. Arq. Courtney Brower
<b>Ubicación</b>	Clayton, Victoria – Australia. (Hemisferio Sur)	Washington, DC (Hemisferio Norte)	San Francisco, Estados Unidos. (Hemisferio Norte).
<b>Características climáticas del sitio</b>	Región Cálida - Seca.	Clima templado, verano cálido y húmedo, invierno frío y presenta nevadas.	Tipo mediterráneo, las temperaturas a lo largo del año no suelen presentar variaciones extremas.
<b>Localización dentro del proyecto</b>	Orientadas al norte.	Orientadas hacia el sur.	El área colectada orientadas al sur.
<b>Características de diseño</b>	Las chimeneas cuentan con un sistema de ventiladores reversibles; el material utilizado es el metal con terminación de pintura oscura (color negro) y cuenta con rejillas como salida de aire.	Varios factores de diseño contribuyen a la economía energética del edificio, como su ubicación y orientación para optimizar el uso de la luz del día. Los materiales de construcción son reutilizados, reciclados, renovables rápidamente y / o adquiridos a nivel regional, incluyendo madera recuperada en el exterior.	El edificio cuenta con 150 unidades residenciales y locales comerciales en la planta baja. La implantación en forma de L ayudo a crear un patio residencial y la entrada de los locales comerciales fue sectorizada en la esquina
<b>Funcionamiento</b>	La columna metálica pintada de negro permite absorber mayor cantidad de energía solar, de esta forma se genera una corriente ascendente, que dirige el calor hacia la parte superior de la torre y empuja el aire frío hacia la zona baja de éste eje vertical. En la base de la chimenea es donde tiene el área de succión, la cual permite que el flujo de aire sea bueno.	La luz solar calienta el aire dentro de las tapas de la chimenea de vidrio, creando una corriente de convección que atrae aire más frío hacia el edificio a través de ventanas abiertas hacia el norte. Los portales en las vías del eje permiten a los estudiantes presenciar el funcionamiento del sistema de ventilación.	Cinco torres solares impulsan la estrategia de ventilación pasiva del edificio, creando un efecto de pila que beneficia a las unidades residenciales y áreas comunes. También actúan como los pozos de la luz que traen la luz profundamente en el plan de piso.

Fuente: Elaboración Propia en base a Investigación Análisis térmico experimental adosada a una habitación – Hugo Báez, Manuel Gordon. [http://www.solaripedia.com/13/139/1263/monash\\_science\\_centre\\_wall.html](http://www.solaripedia.com/13/139/1263/monash_science_centre_wall.html). [https://issuu.com/dosmasunoarquitectos/docs/arquitectos\\_189/5](https://issuu.com/dosmasunoarquitectos/docs/arquitectos_189/5). <https://chrrarq.wordpress.com/2015/11/12/chimenea-solar/>.

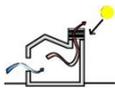


En el cuadro 12 se puede observar 12 casos que fueron analizados, donde se resalta el uso del sistema de chimeneas solares, teniendo en cuenta el país, el año, las características del clima, la ubicación de la chimenea solar en el edificio, la configuración de los elementos de diseño, el desempeño del sistema y el método de aplicación que fue hecho.

**Cuadro 12: Antecedentes de casos de estudio y uso de chimeneas solares.**

CIUDAD PAIS	AÑO	CLIMA DEL SITIO DE ESTUDIO			ELEMENTO DONDE FUE APLICADO		CONFIGURACION				FUNCIONAMIENTO DESEMPEÑO				HERRAMIENTA INSTRUMENTO					
		CALIDO HUMEDO	CALIDO SECO	TEMPLADO	MURO	TECHO	ALTO	ANCHO	LARGO	MATERIAL	VANO DE ENTRADA Y SALIDA	VELOCIDAD DEL AIRE	FLUJO DE MASA DE AIRE - CAUDAL DE AIRE	ACH	TEMPERATURA	DIFERENCIA DE TEMPERATURA	ESCALA REAL	MODELO A ESCALA	METODO MATEMATICO	SIMULACION SOFTWARE
Singapur	2013	•			•		•	•	•	•	•			•						•
Malasia	2012	•			•			•		•				•				•	•	
Adrar, Algeria	2011	•				•					•	•	•					•		•
Hong Kong	2009	•			•		•	•			•	•	•	•						•
Tailandia	2006	•			•						•	•			•		•		•	
India	2005	•			•		•	•			•	•		•				•	•	
Malasia	2003	•			•		•	•						•				•	•	
Tailandia	2003	•			•						•			•	•	•	•			
Bangkok, Tailandia	2000	•				•					•			•		•	•			
Bangkok, Tailandia	2000	•			•						•			•	•			•	•	
Bangkok, Tailandia	1999	•				•								•		•	•			
Nigeria	1992	•				•	•				•			•	•			•		

Fuente: Elaboración Propia en base a Investigación modelo de ventilación inducida para la vivienda en clima cálido húmedo: sistema chimenea solar, 2013.

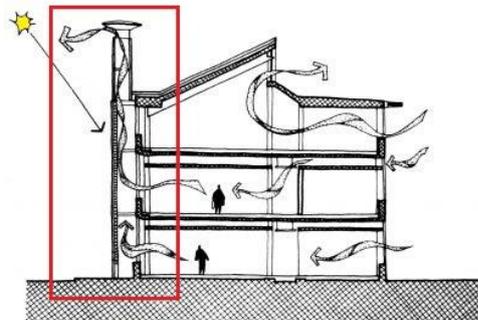


### 1.2.3. Funcionamiento de las Chimeneas Solares

El funcionamiento de una chimenea solar consiste en crear corrientes de aire por las diferentes densidades del aire según su temperatura. Éstas son las que crean la ventilación natural ya que renuevan el aire del interior y lo refresca. Durante las horas de luz, la energía solar calienta la chimenea y provoca que las masas de aire caliente se desplacen hacia arriba. Este proceso se produce porque el aire caliente es menos denso que el frío, por lo que tiende a ascender.

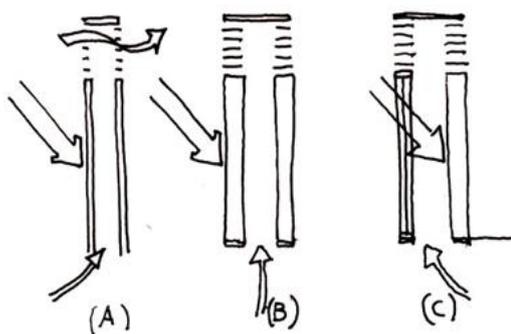
Cuando este aire sale hacia el exterior, su espacio lo ocupa el aire de más abajo, que comenzará a calentarse. Así mismo, existe una serie de rendijas de renovación por las que entrará aire del exterior.

**Ilustración 11: Funcionamiento Chimenea Solar.**



Fuente: <https://twenergy.com/a/chimenea-solar-un-sistema-de-ventilacion-natural-2318>

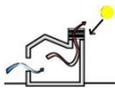
### 1.2.4. Tipos de Chimeneas Solares



- (A) Chimenea metálica de efecto instantáneo.
- (B) Chimenea de obra con efecto acumulador retardado.
- (C) Chimenea de obra con efecto invernadero acumulador.

### 1.2.5. Los elementos de diseño de Chimeneas Solares

La chimenea solar cuenta con elementos de diseño, como ser: el área del colector solar, orientación, tipo de pintura, aislamiento, características térmicas, eje principal de ventilación, entrada y salida de aire los cuales son descriptos en el siguiente cuadro.



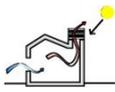
**Cuadro 13: Elementos de Chimeneas Solares.**

Descripción	
A- Área del colector solar	Su función es la de absorber la mayor cantidad de radiación solar y la transformarla en calor. Este cerramiento se convierte en un acumulador de energía térmica.
B- Orientación	El lugar donde debe ubicarse la chimenea solar con relación a los cuatro puntos cardinales.
C- Tipo de pintura	Refiere al color y la calidad de la pintura para que la chimenea solar cumpla efectivamente con su propósito.
D- Aislamiento	Cumple con dos funciones importantes: por una parte es una barrera ofreciendo mayor resistencia al flujo de calor hacia el exterior y de esta forma conservar la mayor cantidad de la energía en el interior de la chimenea; y por otra parte la misma resistencia evita el flujo de calor se transmita hacia la construcción adyacente.
E- Características térmicas	La temperatura es un factor externo de enorme importancia, ya que afecta a prácticamente todas las características de los materiales. Cuando un sólido recibe energía en forma de calor, el material absorbe calor, lo transmite y se expande. Estos tres fenómenos dependen respectivamente de tres propiedades características del material: la capacidad calorífica o su equivalente calor específico, de su conductividad térmica y de su coeficiente de dilatación.
F- Eje principal de la ventilación (Tiro de chimenea)	Sus características principales son: esbeltez (altura), geometría (sección), estanqueidad, localización, características térmicas de la estructura. <ul style="list-style-type: none"> <li>- La esbeltez es la relación entre la altura total y el ratio de la superficie equivalente de su planta. Es decir, a mayor esbeltez mayor será la diferencia de altura entre sus aberturas y más alta la diferencia de presiones.</li> <li>- La geometría, forma recomendable para lograr el movimiento del aire dentro del ducto.</li> <li>- La máxima estanqueidad de la chimenea es necesaria para evitar infiltraciones y exfiltraciones que afecten su rendimiento de movimiento de aire.</li> </ul>
G- Salida de aire	Para permitir la salida de aire del interior de la chimenea deberá existir una salida de aire superior por donde exhalará el aire precalentado en el cuerpo de la misma.
H- Entrada de aire	Cumple con la función de reemplazar el aire que expulsará la chimenea por su abertura superior, tomando en cuenta que el objetivo de este dispositivo es generar el movimiento de aire, esta abertura de entrada estará conectada directamente al espacio que se propone ventilar, y este espacio intermedio se alimentará de aire exterior por una siguiente abertura.

Fuente: Elaboración Propia en base a Investigación Parámetros de diseño de la Chimenea Solar, Juan Carlos León, 2013; Chimeneas Solares: cómo aprovechar el calor para ventilar viviendas, Paula Iglesias, 2014.

“Las innovaciones obtenidas a partir de tecnologías alternativas surgen como respuesta a una búsqueda de mejorar aquellas que son tradicionales y optimizar sus usos.”

Mediante el análisis demostrado en el cuadro 12, se puede inferir que la construcción de las chimeneas solares es factible en clima cálido húmedo,

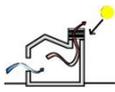


teniendo en cuenta para su configuración el tipo de material, las dimensiones, ubicación de aberturas (entrada y salida).

Así mismo, con el estudio de las tecnologías alternativas, y sus diferentes aplicaciones como estrategia de acondicionamiento, se obtienen las herramientas necesarias para identificar las condiciones y requerimientos para la utilización de chimeneas solares a nivel nacional.

En este sentido, se ha demostrado que en países con clima cálido, húmedo puede ser aplicado el sistema de chimeneas solares logrando el confort térmico, como objetivo principal, en el interior de las viviendas. También se puede resaltar que son varios los aspectos a tener en cuenta para la configuración y el uso de dicho sistema en el Paraguay, ya que el clima de nuestro país presenta características muy peculiares a lo largo del año.

Por todo ello en los capítulos siguientes se profundizará el abordaje de los mismos con vistas a la optimización de su aplicación como acondicionamiento pasivo para viviendas.



## CAPÍTULO II. CONDICIONES Y REQUERIMIENTOS PARA LA UTILIZACIÓN DE CHIMENEAS SOLARES EN PARAGUAY

Luego del estudio del sistema, el funcionamiento y los elementos de las chimeneas solares como tecnología alternativa para mejorar el confort térmico de espacios interiores, se profundiza en los componentes principales que definen su comportamiento. Los mismos son analizados para comprender los requerimientos y condiciones necesarias para la aplicación de la chimenea solar en el Paraguay, a partir de la revisión bibliográfica del uso y el análisis del sistema; como así también en el espacio a ser ventilado, para determinar parámetros básicos de diseño.

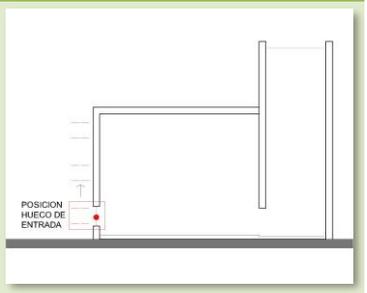
### 2.1. Requerimientos para la utilización de chimeneas solares en viviendas

Los requerimientos a considerar para la utilización de chimeneas solares se clasifican en: Funcionales; Espaciales, Constructivos y de Mantenimiento. Para efectos de esta investigación se profundizará en cada uno de los requerimientos citados anteriormente.

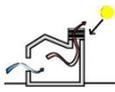
#### 2.1.1. Requerimientos Funcionales

Identificar la función de sus componentes y la relación existente entre los mismos posibilita entender el sistema de la chimenea y su desempeño. La chimenea solar cuenta con dos puntos principales: el punto de suministro (parte inferior), por donde se introduce el aire exterior y el punto de extracción (parte superior), salida del aire caliente.

**Cuadro 14: Requerimientos Funcionales.**

	Descripción	Esquema
<b>Posición de las aberturas</b>	<p>Desplazamiento vertical del hueco de entrada de aire: Al ubicar el hueco de entrada de aire en un nivel menor a 1 metro, el flujo de aire presenta un perfil ascendente y una mejor distribución en el interior. Cuando se reduce la distancia del hueco de entrada y salida, la velocidad del aire desciende, lo cual es producido por la pérdida de diferencias de presión, es decir, cuanto más alto el hueco de entrada de aire menos diferencia de presión en el aire.</p>	

Fuente: Elaboración Propia en base a Investigación Parámetros de Diseño para una Chimenea Solar, Juan Carlos León, 2013.

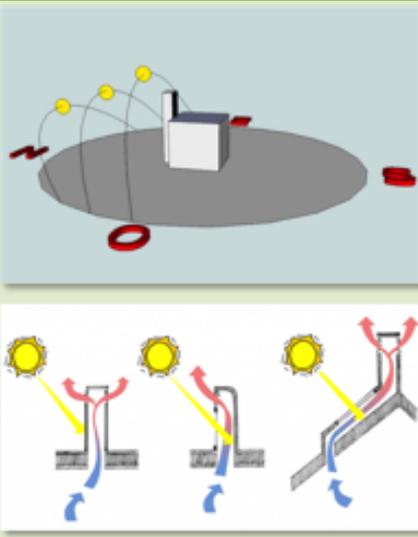
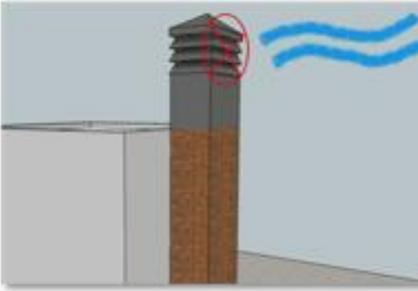
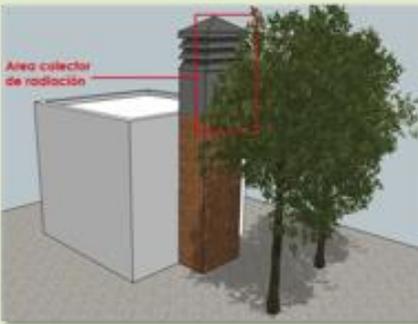


### 2.1.2. Requerimientos Espaciales

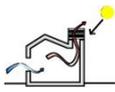
Analizar la situación o el emplazamiento final en el que se dispone la chimenea solar es fundamental para certificar una buena corriente de aire fresco en el espacio interior de la edificación.

La orientación y localización son los ejes principales para lograr una buena ventilación, sin obviar los elementos naturales que intervienen de manera directa: radiación, energía, temperatura, tal como se puede apreciar en los cuadros siguientes.

**Cuadro 15: Requerimientos Espaciales.**

Descripción	Esquema
<p><b>Orientación (radiación)</b></p> <p>La chimenea solar debe estar instalada y construida en la fachada que reciba una radiación solar más alta, preferentemente a menos de 30° del varadero norte – Hemisferio Sur – para permitir la optimización de la función de la acumulación del calor de los rayos del sol.</p> <p>La radiación solar debe ser directa al área colectora.</p>	
<p><b>Orientación (ventilación)</b></p> <p>Tener en cuenta que las aberturas de las rejillas de salida de aire queden orientadas de lado opuesto a la dirección del viento predominante en días de lluvia, con la finalidad de impedir el acceso de agua al ducto.</p>	
<p><b>Localización</b></p> <p>Es importante respetar los elementos del entorno. Se recomienda que el área colectora no sea obstaculizada por árboles y/u otras construcciones entre las 9:00 a 15:00 horas, durante la estación cálida (periodo de incidencia de los rayos solares).</p>	

Fuente: Elaboración Propia en base a web: arqhys.com Construcción Chimenea Solar. Viviendas con energía Solar Pasiva, Martín McPhillips.



### 2.1.3. Requerimientos Constructivos

Determinan y definen la calidad final del sistema, así mismo, resuelven posibles dudas técnicas que pueden ser presentadas.

La configuración constructiva de la chimenea solar se resuelve en:

- Las dimensiones de los componentes. Estas se relacionan directamente con la cantidad de aire que se calienta, como también con el volumen de aire que se renueva, valores significativos en el rendimiento de la chimenea solar. Se analiza la geometría del ducto, altura de la torre y superficie de aberturas (entrada y salida de aire).
- El tipo, color y características térmicas del material a utilizar, datos importantes para captar, conservar y utilizar la energía solar.

#### 2.1.3.1. Características térmicas de los materiales

Permite identificar que materiales aportan más beneficios y pueden absorber mayor cantidad de calor, por ende, aumentar la temperatura en el interior de la chimenea de manera más rápida y efectiva.

La densidad o masa volumétrica de un material, define el coeficiente entre la cantidad de masa (Kg) que caracteriza el material y el volumen unitario ( $m^3$ ). Su valor se mide en  $Kg/m^3$ . El calor específico volumétrico, determina la capacidad de almacenamiento de calor de un determinado material o su capacidad volumétrica. La conductividad térmica expresa la capacidad de conducción de calor que tiene el material.

**Cuadro 16: Características térmicas de los materiales.**

Material	Densidad( $kg/m^3$ )	Calor específico( $J/(kg\cdot K)$ )	Conductividad térmica( $W/(m\cdot K)$ )
Ladrillo	1700	837	0,658
Acero	7850	460	47-58
Aluminio	2700	909	209-232
Bronce	8000	360	116-186
Cinc	7140	389	106-140
Estaño	7400	251	64
Placas de Vidrio	2700	833	0,81

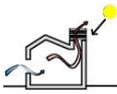
Fuente: Elaboración Propia en base a portal Milenarium – Ingeniería Civil y Medio Ambiente.



**Cuadro 17: Requerimientos Constructivos.**

	<b>Geometría del ducto</b>	<b>Altura de la Torre</b>	<b>Superficies de abertura</b>	<b>Tipo de Materiales</b>	<b>Color de Materiales</b>	<b>Aislaciones del ducto</b>
<b>Descripción</b>	En los casos encontrados y analizados, usualmente cuenta con un formato rectangular o cuadrangular, la cual permite el aumento de la superficie de transmisión y captación de la radiación, orientando la cara más larga en dirección de los rayos solares.	Tomando como base el plano de cerramiento horizontal, la altura de la torre se considera óptima cuando ésta sobrepasa entre 1.00 a 1.50 metros, lo cual según lo estudiado produce un incremento gradual en la velocidad del aire a lo largo del recorrido.	La relación de medidas de entrada de hueco de aire (HE) y el hueco de salida de aire, se sugiere que se ajuste a 1:3, siendo 1 el hueco de entrada de aire. (León, Juan Carlos – 2013). Este parámetro de dimensionamiento es recomendable, porque cuánto más vertical sea la proporción del hueco de entrada, más aumentara su función como hueco de entrada y salida de aire. (Corriente contraria a la dirección de la chimenea solar).	Es necesario elegir materiales de construcción que optimicen la concentración de calor y la luz. <b>DUCTO:</b> Ladrillo común (ayuda a acumular calor y permite que el proceso perdure aun cuando el sol ya no calienta). <b>CORONAMIENTO:</b> Metal. Paredes de cristal (tienen el mayor potencial en la luz de filtro).	Colores oscuros, siendo óptima la pintura negra, ya que promueve y mejora la absorción de luz solar, retiene la luz en mayor cantidad que los otros colores.	En cuanto a estrategias de aislación acústica se encuentran materiales que pueden ser utilizados para disminuir y aislar sonido del exterior, como ser: Recubrimiento de lana de vidrio, membrana de polietileno espumado, placas de poliuretano (es importante tener en cuenta la densidad de la misma). Si la opción es ahorrar se puede utilizar como material reciclado las cajas de huevo, como también los cartones tetrapark.
<b>Esquema</b>						

Fuente: Elaboración Propia en base Investigación Parámetros de Diseño para una Chimenea Solar, Juan Carlos León, 2013. Investigaciones experimentales sobre chimenea solar para ventilación de ambientes, J. Mathur, M Jain – 2006, Web: arqhys.com Construcción Chimenea Solar

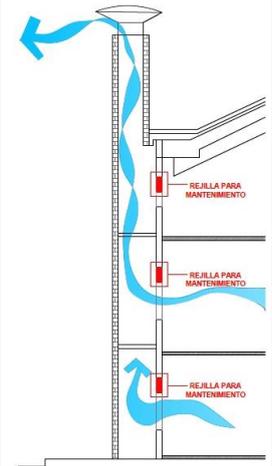
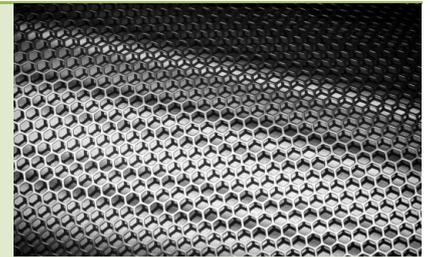


### 2.1.4. Requerimientos de Mantenimiento

Una vez que la chimenea solar comience a funcionar como método de acondicionamiento en la vivienda, es importante no olvidar todo lo referido a mantenimiento del elemento en sí, para que él mismo a la larga no presente efectos secundarios y pueda siempre cumplir con la función de generar movimiento de aire en el interior.

**Cuadro 18: Requerimientos de Mantenimiento.**

Descripción	
<b>Impedir acceso de insectos y/o alimañas, hojas.</b>	Las aberturas de las rejillas de salida de aire pueden ser protegidas con materiales como: malla metálica.
<b>Método de limpieza</b>	Usualmente se opta por pequeñas aberturas destinada a limpieza, ubicadas cada cierta distancia a lo largo del recorrido, la cual puede ser cubierta con rejillas metálicas.

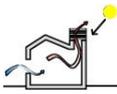


Fuente: Elaboración Propia.

Al identificar los requerimientos necesarios a tener en cuenta al utilizar la chimenea solar se prestan ciertas restricciones básicas en función de evitar incidencias negativas en el funcionamiento de las mismas, los cuales dependerán de los límites espaciales en cada caso.

### 2.2. Combinación con otros sistemas de acondicionamiento pasivo

Las chimeneas solares pueden ser aplicadas conjuntamente con otras técnicas de acondicionamiento, siendo estas activas o pasivas, teniendo como finalidad mejorar la ventilación.



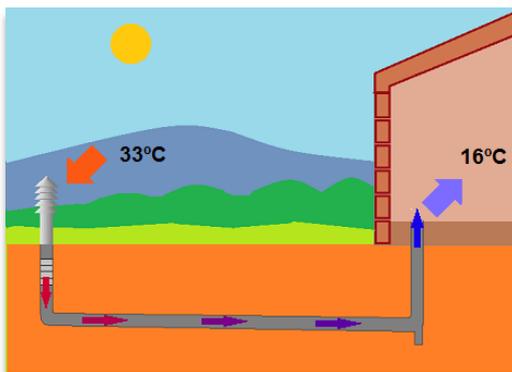
### 2.2.1. Chimenea Solar y Conductos Subterráneos

A fin de maximizar el efecto de refrigeración producida por las chimeneas solares, el aire entrante puede ser dirigido a través de conductos subterráneos, lo cual permitirá el aprovechamiento de la inercia térmica del terreno para suministrar aire frío, es decir, el aire exterior pasa a ser enfriado por el sistema antes de introducirse a la vivienda.

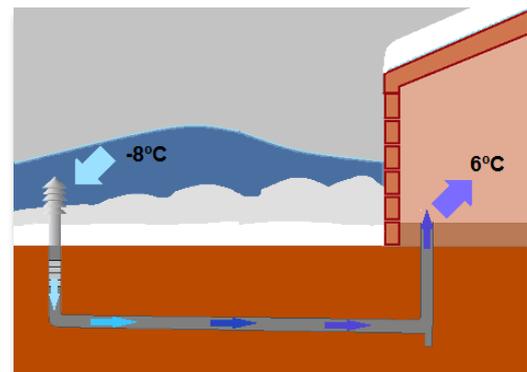
Los conductos subterráneos conocidos como pozo canadiense es un sistema que aprovecha la temperatura del subsuelo generando un “intercambiador de calor” (sistema de tubos enterrados) que reduce la temperatura del aire exterior en verano y la aumenta durante el invierno para que luego ingrese al interior de la vivienda.

#### Ilustración 12: Funcionamiento Pozo Canadiense

Funcionamiento del pozo canadiense en verano

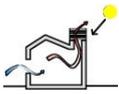


Funcionamiento del pozo canadiense en invierno

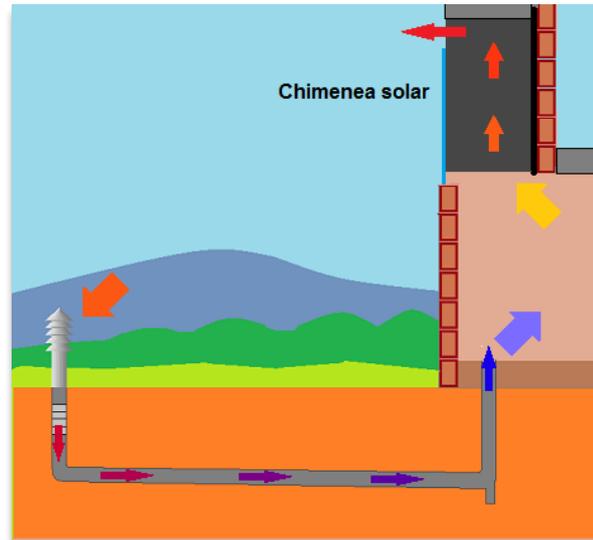


Fuente: <http://www.sitiosolar.com>

La combinación de ambos sistemas permite que la chimenea solar actúe como elemento de circulación de aire, el cual lo impulse y lo haga circular por las tuberías enterradas. Mecanismo en donde el sol calienta la chimenea y el aire que contiene, lo que provoca que este se haga más ligero, ascienda y salga al exterior por la apertura superior. Esto crea una depresión en la base de la chimenea solar, es decir una “falta de aire” que provoca una corriente hacia la chimenea. La ubicación adecuada de la chimenea, permitirá que el efecto de succión provoque la circulación del aire en las tuberías enterradas del pozo canadiense.



### Ilustración 13: Esquema conceptual de un pozo canadiense funcionando con chimeneas solares



Fuente: <http://www.sitiosolar.com>

Este sistema puede ser eficaz para los meses de calor en los que el pozo provenzal se usa para refrigerar. Sin embargo, su uso no será conveniente en invierno bajo este esquema.

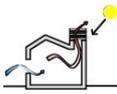
#### 2.2.2. Chimenea Solar con incorporación de colectores solares (Placa Solar)

Existe la posibilidad de incorporar placas solares a la chimenea, este elemento ayuda a aumentar la temperatura en la parte más alta de la chimenea y por lo tanto a que la renovación de aire sea más fácil.

#### Ilustración 14: Placas solares



Fuente: <http://www.arqhys.com>



### **2.2.3. Chimenea Solar con variación: Ático Solar**

El espacio del ático, en un clima caluroso y soleado, es a menudo increíblemente caliente en el verano. En una edificación convencional, esto presenta un problema, ya que conduce al aumento de la necesidad de aire acondicionado (sistema activo).

Integrar el espacio del ático con una chimenea solar, hace que el aire caliente del ático trabaje y pueda así ayudar a la convección en la chimenea y mejorar la ventilación.

En síntesis al estudiar con mayor profundidad los diferentes aspectos (constructivos, espaciales, funcionales) a tener en cuenta para el funcionamiento de las chimeneas solares, no solo nos permite identificar el papel que cumple cada componente dentro del sistema, si no también nos determinan los criterios básicos del mismo y a la vez nos permitirá reconocer los puntos determinados a mejorar.

Así mismo, se resalta la combinación de sistemas de acondicionamientos como estrategia de optimización.



---

## CAPITULO III. ASPECTOS REQUERIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE CONDICIONES INTERNAS DE CONFORT

---

Seguidamente se realiza el análisis de un caso concreto del uso de chimenea solar como tecnología alternativa de acondicionamiento en una vivienda, con la finalidad de identificar, enumerar y exponer los aspectos característicos que presenta el sistema, conforme a los requerimientos específicos desarrollados en el capítulo anterior, siendo estos los requerimientos funcionales, espaciales, constructivos y de mantenimiento.

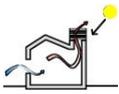
Dicho caso de estudio se utiliza como base para la optimización del sistema de chimenea solar, para lo cual se establece las características físicas del sitio donde está instalada la casa en estudio y los factores climáticos que inciden en la tecnología alternativa (vientos predominantes, radiación), para luego realizar el análisis correspondiente en los diferentes aspectos.

### **3.1. Características físicas del sitio**

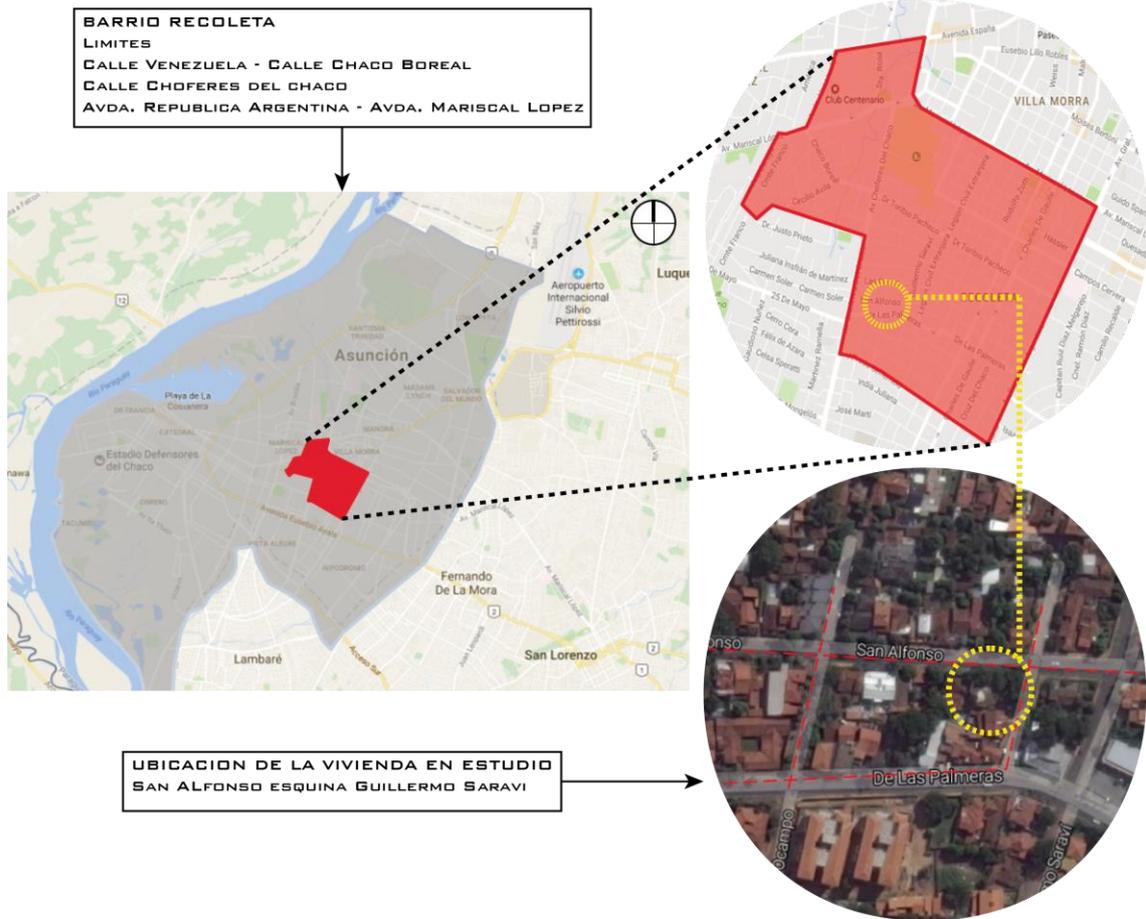
La vivienda está ubicada en el barrio Recoleta de la ciudad de Asunción, ciudad localizada en el centro oeste de la región oriental del país, limita al noroeste con el río Paraguay.

El clima de Asunción es semitropical, una variante del clima subtropical que se caracteriza por contar con temperaturas altas aún en invierno.

Es considerada la capital iberoamericana más calurosa en términos absolutos, debido a su posición geográfica y la gran cantidad de construcciones, registrando temperaturas altas casi todo el año y puede superar los 40 °C en los meses de verano. (Dirección de Meteorología e Hidrología, 2016).



**Ilustración 15: Ubicación del sitio de estudio**

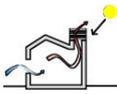


Fuente: Elaboración Propia.

**Cuadro 19: Vientos Predominantes.**

	<b>Descripción</b>
	<p><b>Dirección de Vientos Predominantes en Verano</b></p> <p>Durante el verano es dominante viento siroco que sopla desde el noreste, es de tipo cálido y húmedo.</p>
	<p><b>Dirección de Vientos Predominantes en Invierno</b></p> <p>En invierno el viento dominante es más fresco, ya que proviene del sur.</p>

Fuente: Elaboración Propia.



En el cuadro 20 se demuestra la incidencia solar en el sitio en las estaciones de verano e invierno, siendo este factor climático el más importante para el buen funcionamiento de la tecnología alternativa.

**Cuadro 20: Incidencia Solar.**

		<b>Descripción</b>
	<b>Recorrido del sol en Verano</b>	El sol alcanza su mayor altitud, la incidencia de los rayos solares es más intensa.
	<b>Recorrido del sol en Invierno</b>	El sol alcanza menor altura en su recorrido, la incidencia de los rayos solares no se da de manera muy directa como en el verano.

Fuente: Elaboración Propia.

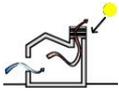
A continuación se presenta el análisis de la chimenea solar en sus diferentes aspectos, siendo estos: espacial, funcional, constructivo y de radiación.

### 3.2. Aspectos Espaciales

Al realizar el análisis desde el punto de vista espacial, son tres aspectos los que se tendrá en cuenta, estos son, la localización dentro de la vivienda, la orientación de la radiación y de la ventilación.

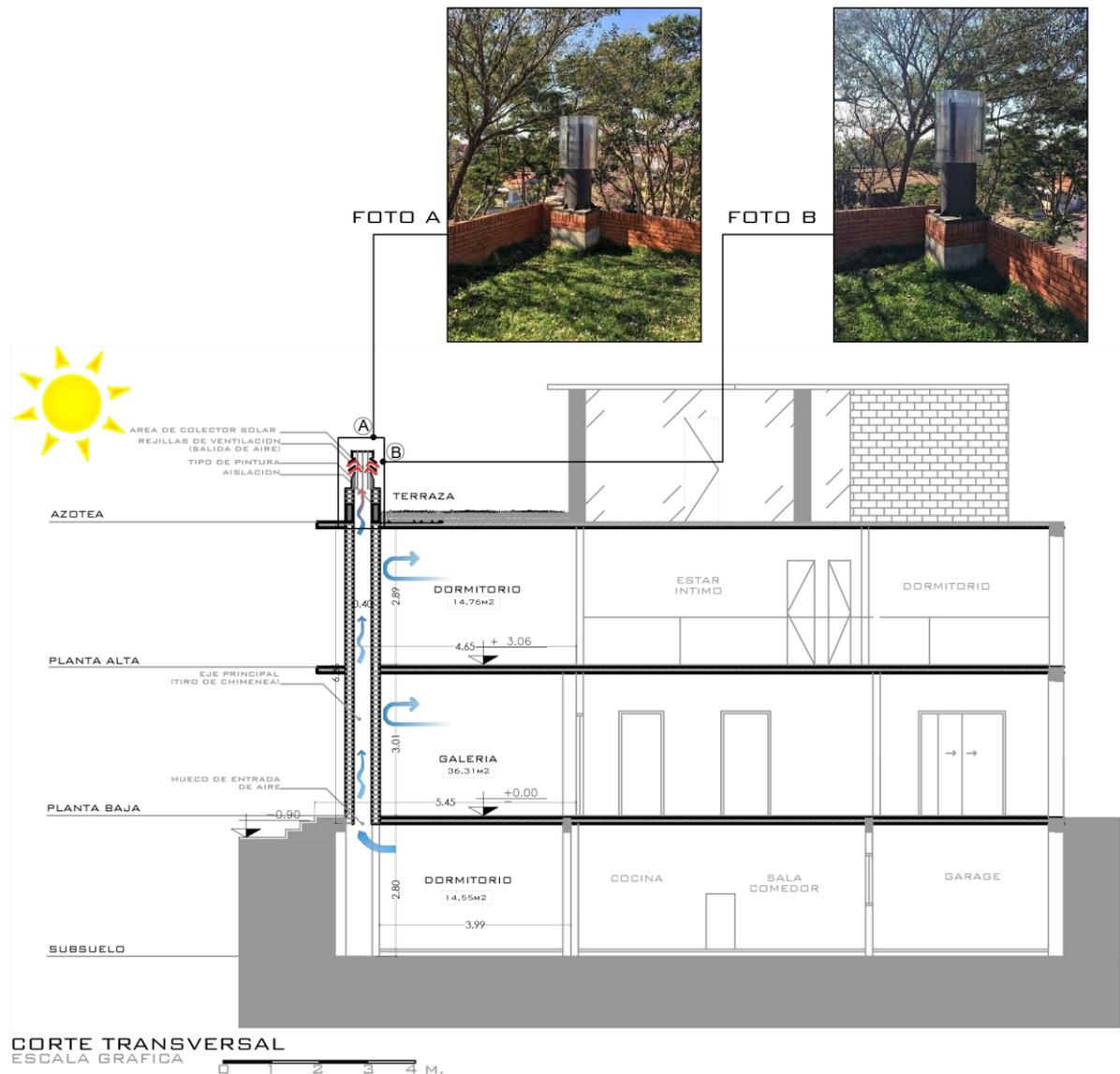
La chimenea solar está localizada en la fachada Noreste de la vivienda, el recorrido del ducto se da desde el subsuelo hasta la azotea.

El área colectora ubicada en la azotea, es de sección circular, lo cual permite que todas las caras del componente reciban las radiaciones solares, posibilitando la acumulación de calor en su interior. Así también, no se observa ningún tipo de elemento del entorno que obstaculice e impida la incidencia de rayos solares (Foto A).



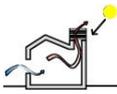
Las rejillas de ventilación ubicadas en la parte superior del coronamiento permiten la salida de aire de la chimenea, al ser de sección circular posibilita la salida de aire en todas las orientaciones, pero presenta desventaja como la entrada de agua en los días de intensa lluvias provenientes del Sur. (Foto B).

**Ilustración 16: Corte Transversal.**



Fuente: Elaboración Propia.

A causa del ingreso de agua en el ducto de la chimenea, provenientes de las intensas lluvias, el coronamiento fue intervenido por segunda vez, se recurrió a una protección de sección circular de poligal, que se encuentra sujeto mediante una estructura metálica al área colectora.



Identificar las características espaciales permite identificar desventajas como ser:

- Ingreso de agua de lluvias a causa de la geometría circular de las rejillas de salida de aire, localizadas en el coronamiento metálico de la chimenea, lo cual a la larga puede ser la causa principal de presencia de humedad en el ducto.

### 3.3. Aspectos Funcionales

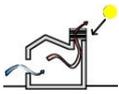
La toma de aire de la chimenea se da en el subsuelo, lugar donde está posicionada la abertura de entrada de aire, siguiendo el recorrido por el ducto que va desde la planta baja hasta la azotea, lugar donde se encuentra el área colectora, la cual cuenta con las rejillas de salida de aire. De este modo se reconoce que la toma de aire se da en condiciones favorables, ya que el espacio es un lugar más fresco por estar en contacto directo con la tierra, dado que el suelo siempre está más frío que el aire.

El área colectora está ubicada en la culminación del ducto a 1.90 del nivel del piso terminado de azotea; puesto que se encuentra sobre una base de mampostería de 0,40 mts de altura. El área colectora es la responsable por la acumulación de calor generada por los rayos solares.

Al hablar de las rejillas de ventilación interior, encargadas de la renovación del aire, se percibe que el caso, no cuenta con las mismas, la toma y renovación del aire se da únicamente desde el subsuelo.

Por otra parte, la chimenea y el ducto deben contar con un sistema de mantenimiento, para que el funcionamiento sea óptimo y el flujo de aire sea continuo. Actualmente si fuere necesario realizar una limpieza del ducto no es posible puesto que no posee un mecanismo de limpieza manual o automático.

Otro punto resaltante es que no cuenta con un sistema de protección en las aberturas de salida de aire, que pueda impedir el ingreso de insectos y/o residuos provenientes del exterior, por tanto es uno de los problemas constante que se les presenta.



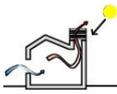
### Ilustración 17: Corte de la Vivienda.



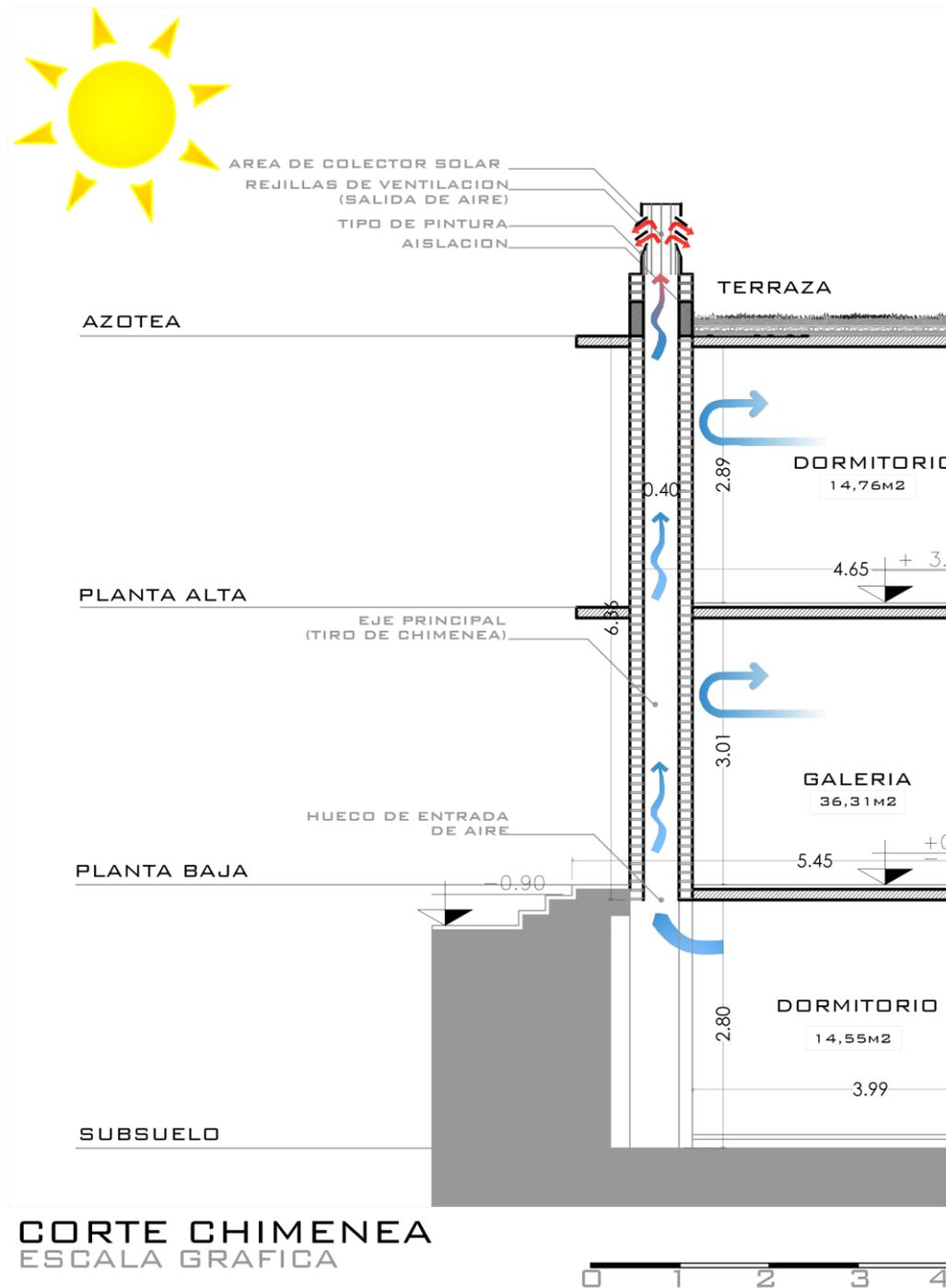
Fuente: Elaboración Propia.

Durante el día la energía solar calienta la chimenea y a la vez el aire que se encuentra en su interior. De esta forma, se genera una corriente ascendente que dirige el calor hacia la parte superior del ducto y empuja al aire frío hacia la zona baja de este eje vertical. En la base de la chimenea es donde tiene lugar la succión, que consigue refrescar y dar ventilación a la vivienda extrayendo el aire caliente del interior hacia el exterior.

En la ilustración 18 se demuestra el corte de la sección de la chimenea desde el subsuelo y el recorrido hasta la culminación.



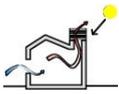
**Ilustración 18: Corte Sector Chimenea.**



Fuente: Elaboración Propia.

Así pues, los puntos críticos identificados en los aspectos funcional son:

- La falta de rejillas de ventilación intermedias, encargadas de lograr la renovación del aire y que el flujo del mismo sea constante.
- Se registra el acceso de insectos al ducto, a través de las rejillas de salida de aire, por carencia de protección en los huecos de salida de aire.



### 3.4. Aspectos Constructivos

En cuanto al análisis constructivo de la chimenea solar en estudio, se realiza un relevamiento desde el subsuelo hasta la azotea.

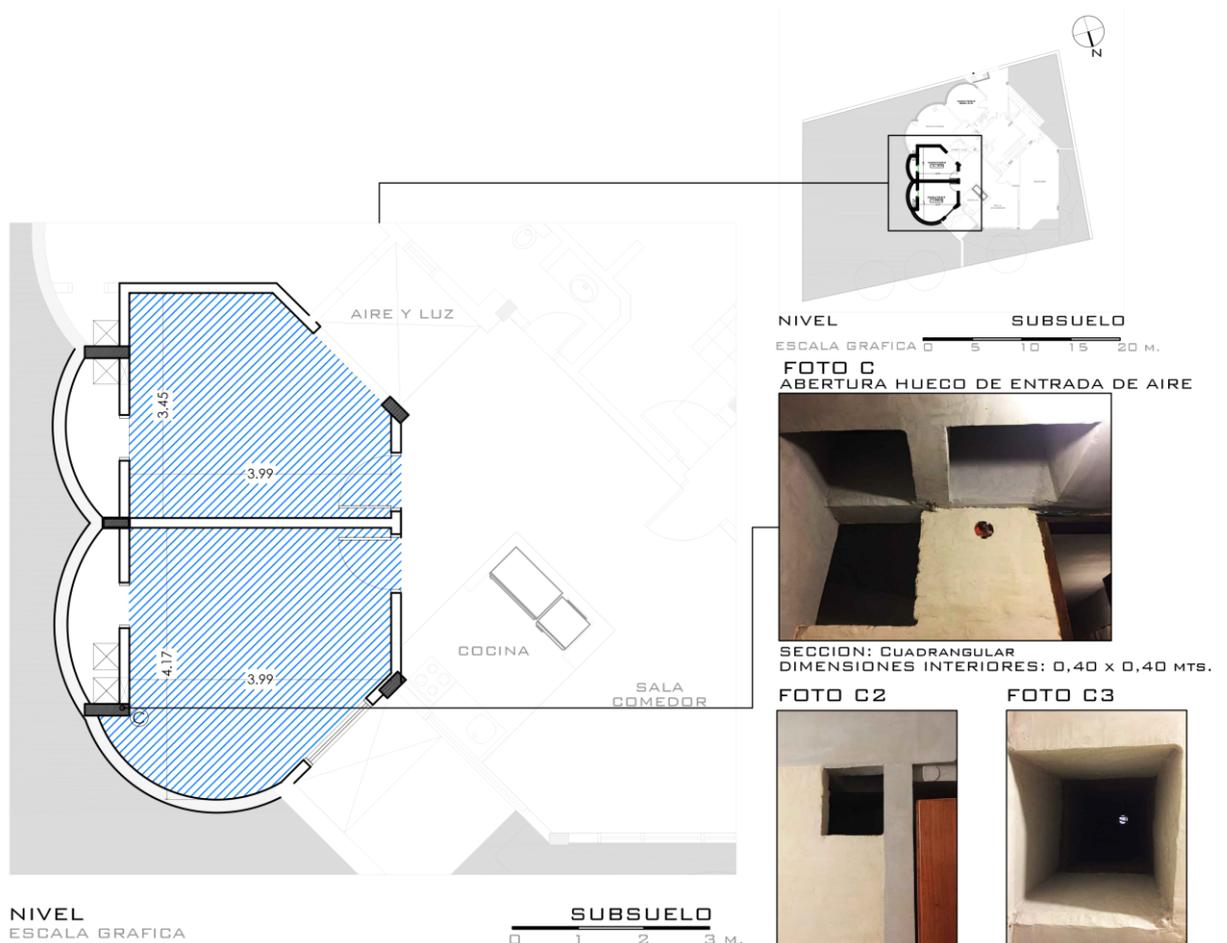
Por esta razón se identifica en 4 planos el sistema de la chimenea solar dentro de la vivienda.

En el siguiente plano se señala la ubicación, sección y dimensiones de la abertura de entrada de aire, como también las dimensiones del espacio ventilado directamente.

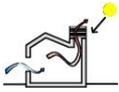
El inicio del ducto de la chimenea solar se encuentra ubicado en un nivel enterrado a -2.60 metros, la toma de aire se da mediante el hueco de entrada posicionado en el techo del subsuelo (Foto C), adosado al dormitorio 1 con 14,55 m<sup>2</sup> de superficie.

El hueco de entrada de aire es de sección cuadrangular, con dimensiones de 0,40 mts de ancho y 0.40 mts de largo (Ver detalle).

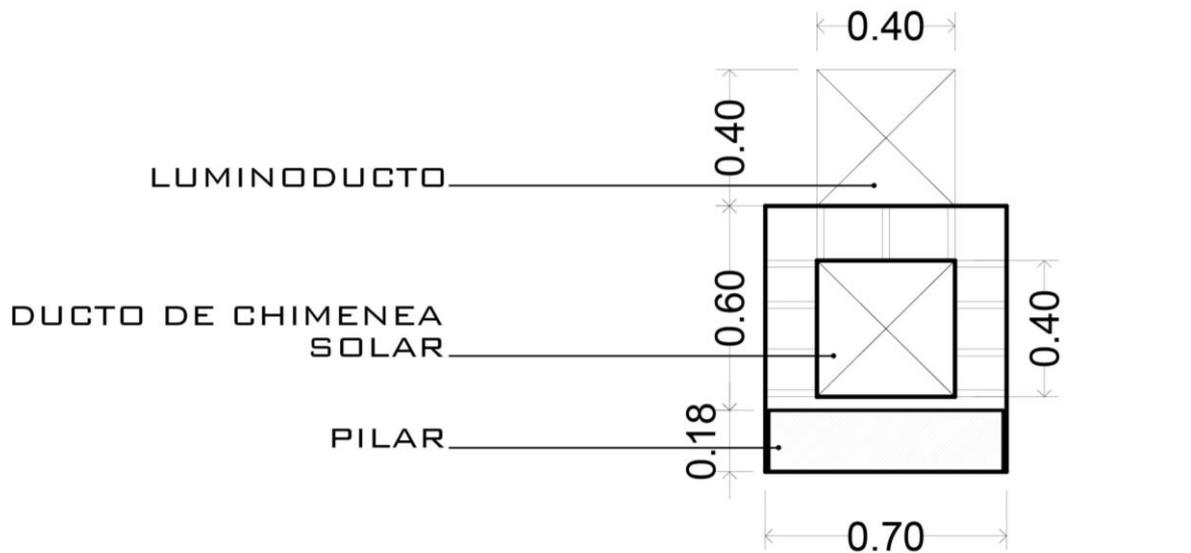
**Ilustración 19: Planta Subsuelo.**



Fuente: Elaboración Propia.



## Ilustración 20: Detalle Constructivo de Huevo de Entrada de Aire.



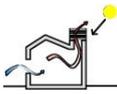
### DETALLE 1 ESCALA GRAFICA



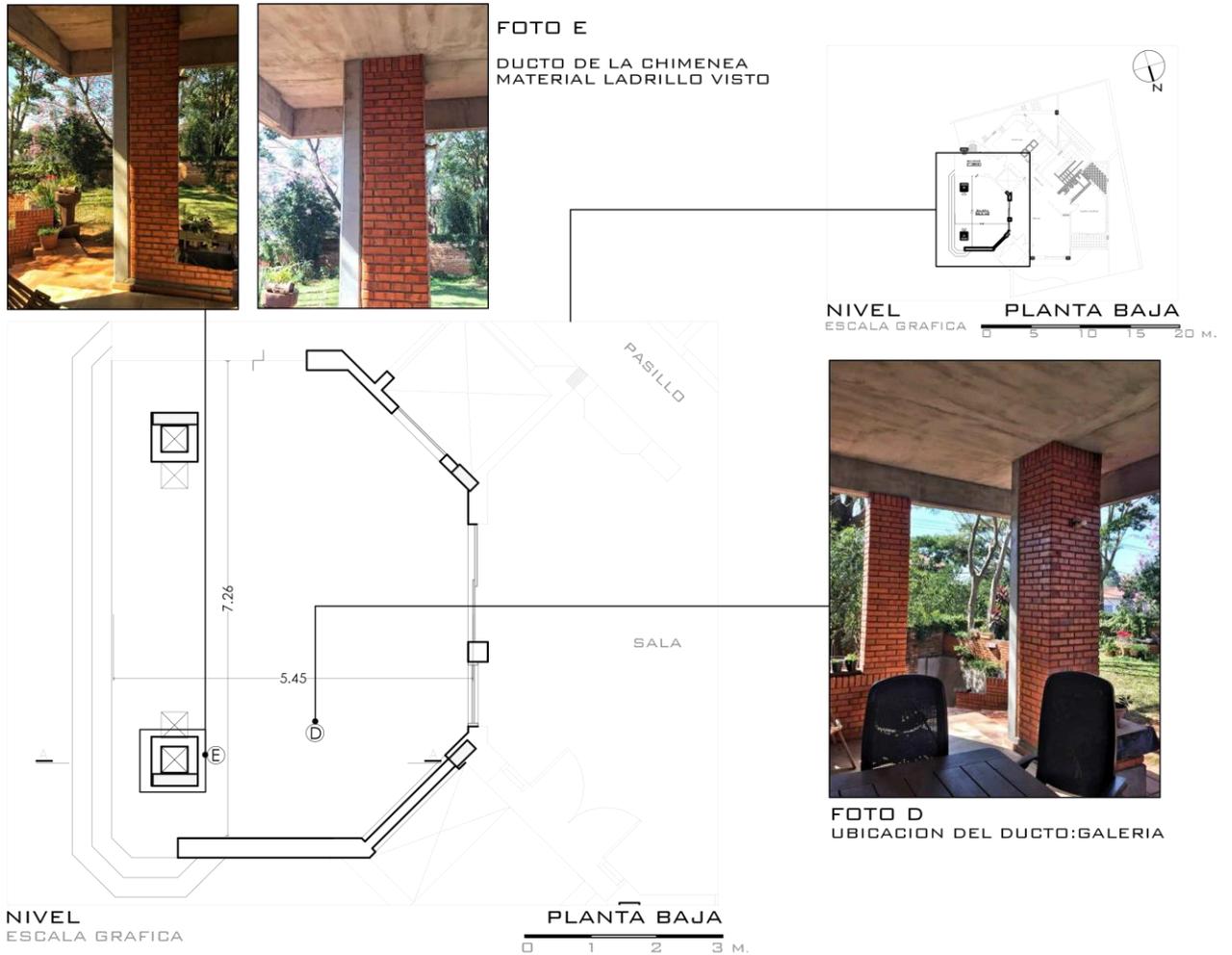
Fuente: Elaboración Propia.

En el plano que sigue se muestra el lugar que ocupa el ducto en la planta baja, los materiales utilizados y la altura del ducto.

La ubicación del ducto en la planta baja es en el área de la galería (Foto D), el material utilizado fue el ladrillo visto (Foto E), material que cuenta con características térmicas favorables, como se pudo ver en el capítulo anterior (Cuadro 16) presenta conductividad térmica considerable, lo cual posibilita la absorción de energía solar; el tratamiento realizado al volumen fue de una terminación de silicona, ya que el mismo se encuentra en el área externa de la vivienda.

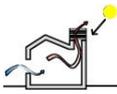


### Ilustración 21: Planta Baja.

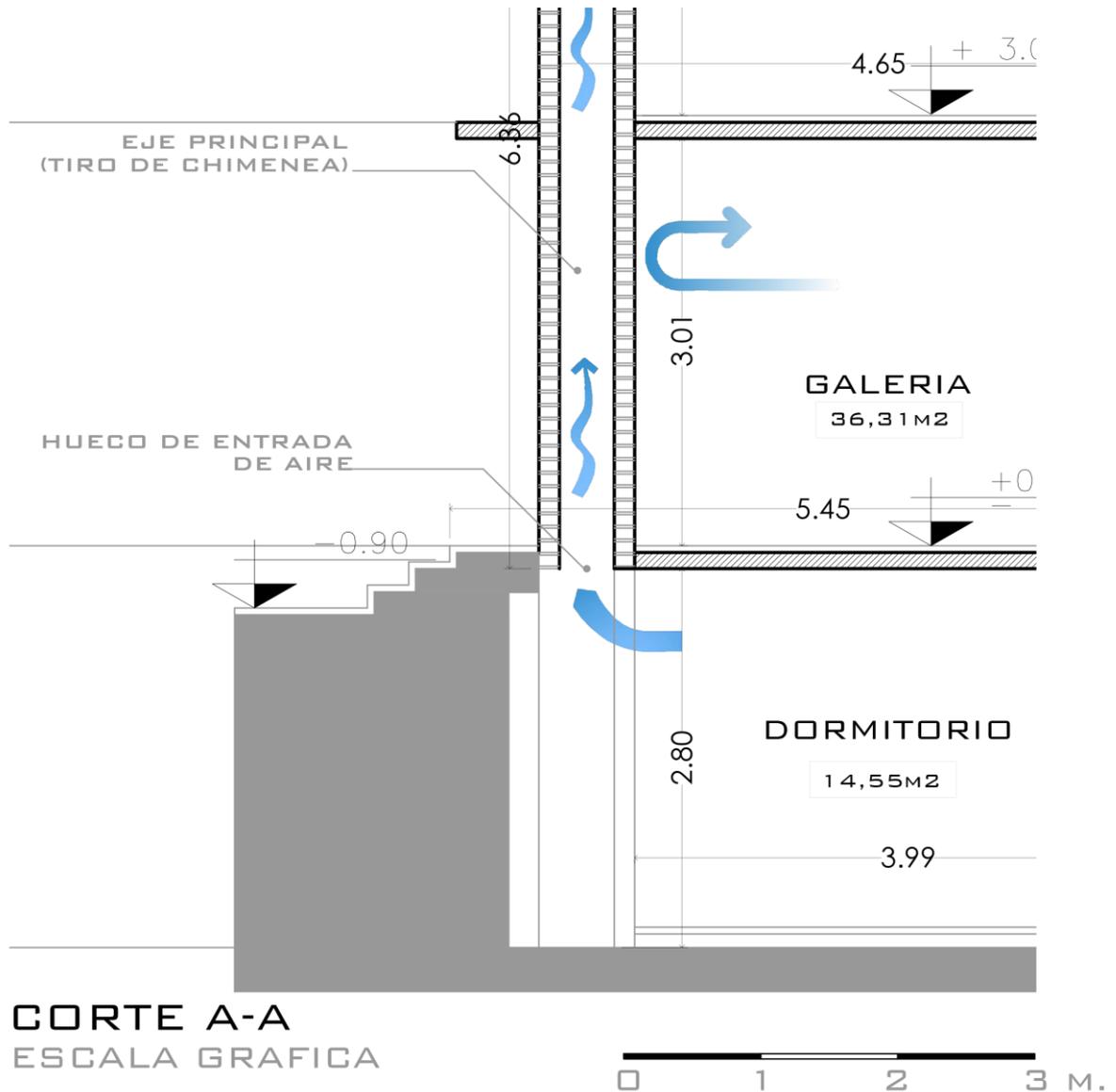


Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 22 se observa el corte A – A, la altura del ducto específicamente en planta baja es de 3.01 mts. Actualmente en dicho nivel, la galería no cuenta con cerramientos verticales (mampostería o vidrios), por tal motivo no fue necesaria las rejillas intermedias, encargadas de la renovación del aire del sistema. En caso de una modificación del espacio el sistema se encuentra preparado para ventilar los espacios de dicho nivel.



**Ilustración 22: Corte A – A.**

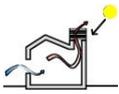


Fuente: Elaboración Propia.

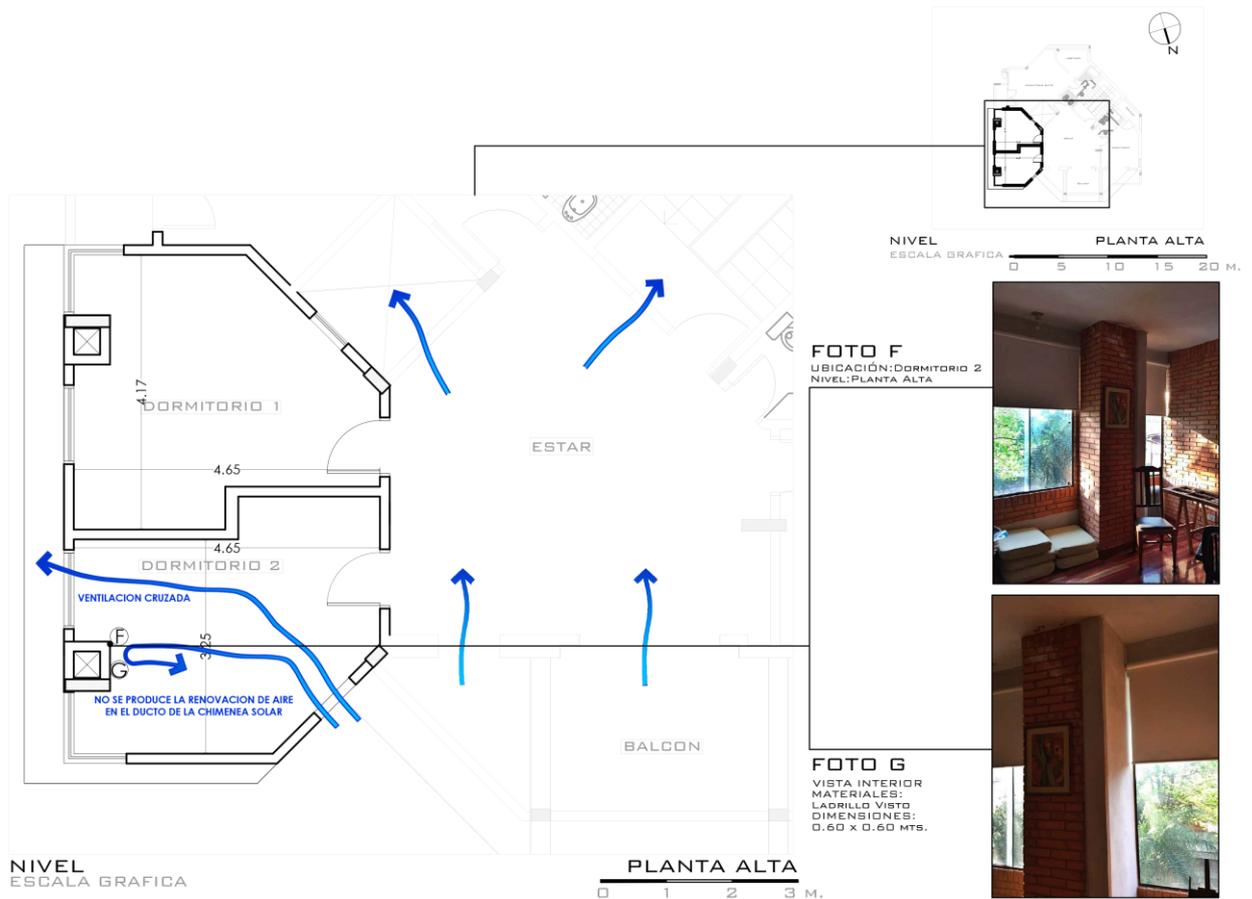
Al continuar el análisis, en la planta alta se reconoce los espacios a ser ventilados directamente e indirectamente, siendo estos el dormitorio 2 (Foto F) con una superficie de 14,76 m<sup>2</sup> y el estar privado con una superficie de 27,80 m<sup>2</sup>.

El ducto en la cara exterior presenta las mismas características que la planta baja, y en la cara interior se muestra los materiales utilizados. (Foto G).

La altura del tramo del ducto en la planta alta es de 3.01 mts.



### Ilustración 23: Planta Alta.



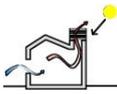
Fuente: Elaboración Propia.

En el último nivel, son varios los puntos a detallar, es donde culmina la chimenea y se encuentra el área de colector solar y el hueco de la salida de aire, se identifica la ubicación, la sección, el material, la altura y el tipo de aislación realizada.

La abertura de hueco de salida de aire se da mediante rejillas ubicadas en la parte superior del coronamiento (Foto H), cuya sección es circular, con 0.45 mts. de diámetro y 0.80 mts de altura.

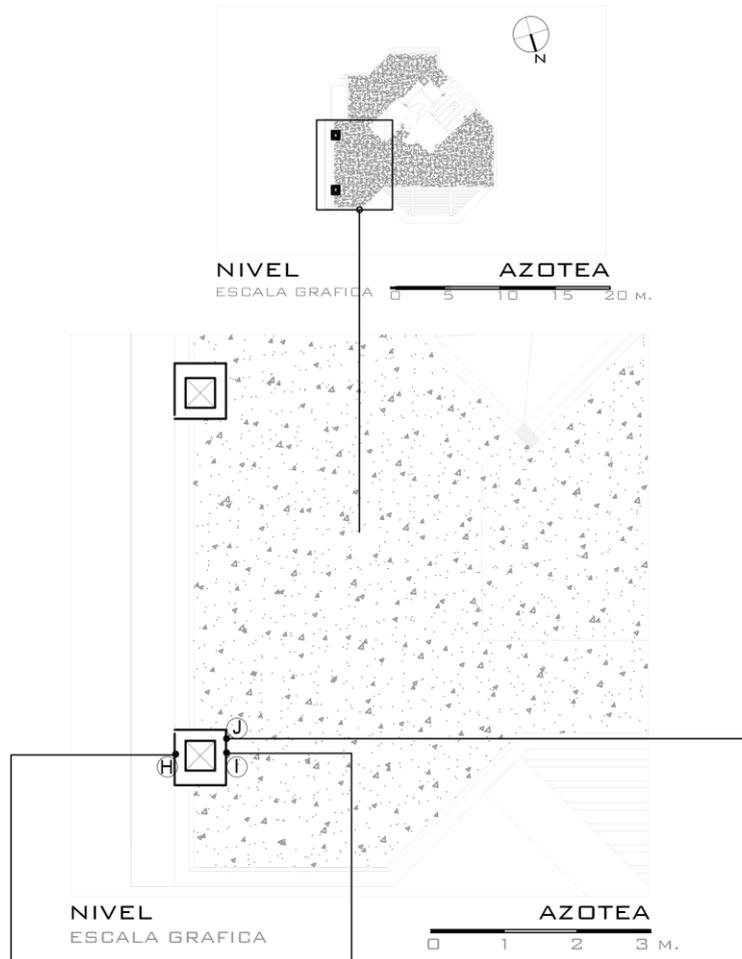
El material utilizado para el coronamiento (área colectora) es el metal, por presentar mayor absorción de calor, cuenta con una terminación de pintura antioxia color negro, que posibilita la retención y acumulación de calor necesaria (Detalle - Vistas).

El coronamiento se encuentra elevado 0.60 mts. del nivel de piso terminado (Foto I), en cuanto a la aislación ejecutada, primeramente se identifica el tratamiento realizado en la unión del ducto con el coronamiento (área colectora) consiste en la colocación de un sellador Mastic de poliuretano, el cual presenta mayor grado de resistencia UV y mayor elongación, siendo estas



condiciones necesarias, ya que se encuentra a la intemperie. La junta de los materiales (ladrillo – metal) requiere la aislación correspondiente, siendo que cada material cuenta con características diferentes y pueden contraerse y/o dilatarse. También se realizó la aislación en la unión de la base de mampostería y la terraza jardín, para prevenir la entrada de agua y presencia de humedad en los niveles inferiores. (Foto J)

### Ilustración 24: Azotea



**FOTO H**  
AREA DE COLECTOR SOLAR  
ABERTURA HUECO DE SALIDA DE  
AIRE: SECCION CIRCULAR  
DIMENSIONES: ALTURA: 1,50 MTS.

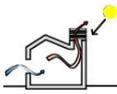


**FOTO I**  
TIPO DE MATERIAL: METAL  
COLOR DE MATERIAL: NEGRO

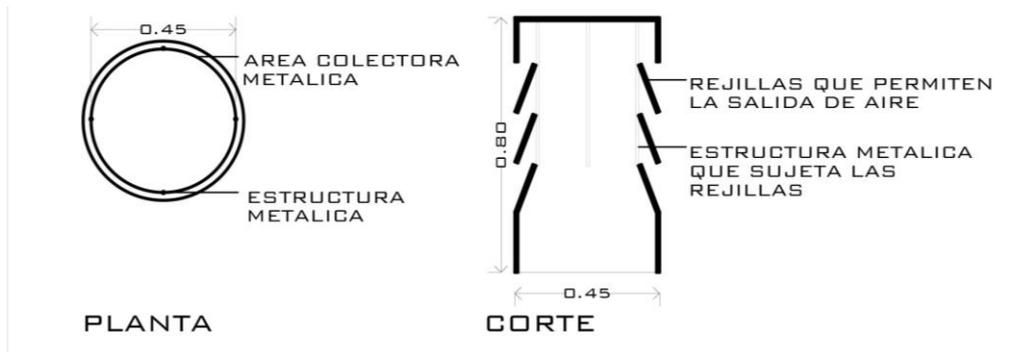


**FOTO J**  
AISLACION EN LA BASE DEL  
CORONAMIENTO

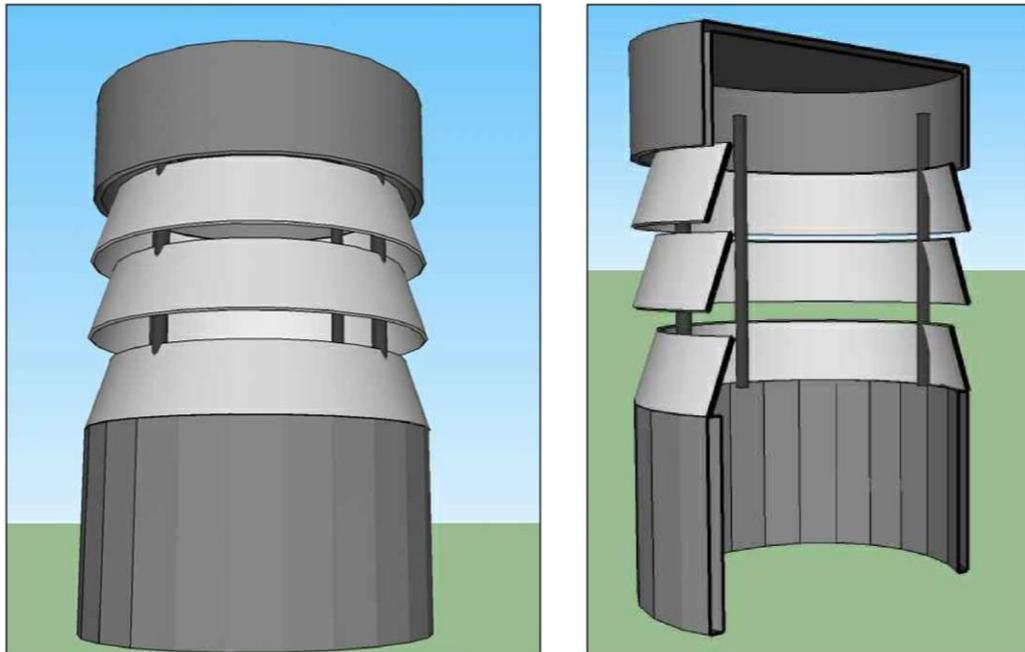
Fuente: Elaboración Propia.



### Ilustración 25: Detalles y Vistas del Área Colectora.



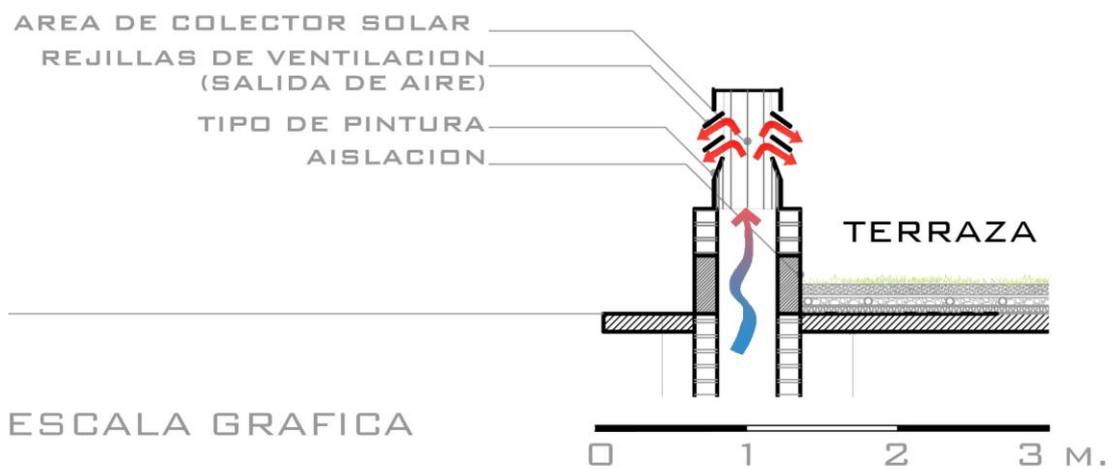
DETALLE CONSTRUCTIVO CORONAMIENTO METALICO



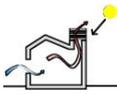
VISTAS

Fuente: Elaboración Propia.

### Ilustración 26: Corte Nivel Azotea



Fuente: Elaboración Propia.



De este modo, al realizar el análisis de los aspectos constructivos en el caso de estudio, se muestran las tecnologías constructivas utilizadas y conforme a lo desarrollado en el capítulo anterior se identifica que:

- El ducto de la chimenea no cuenta con un sistema de aislación termo-acústica.

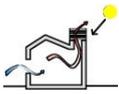
### **3.5. Aspectos de Radiación**

En cuanto a los aspectos de radiación analizados en la casa en estudio se utiliza el programa de simulación Shadow Analysis para medir el nivel de incidencia de luz solar en invierno y verano.

Lo importante del análisis de radiación es calcular el tiempo de exposición directa al sol, la escala de colores permite distinguir el grado de incidencia solar en la vivienda, la franja de amarillo a fucsia identifica las áreas expuestas directamente, caso contrario a la franja de color celeste a azul, que serían las áreas con más sombras.

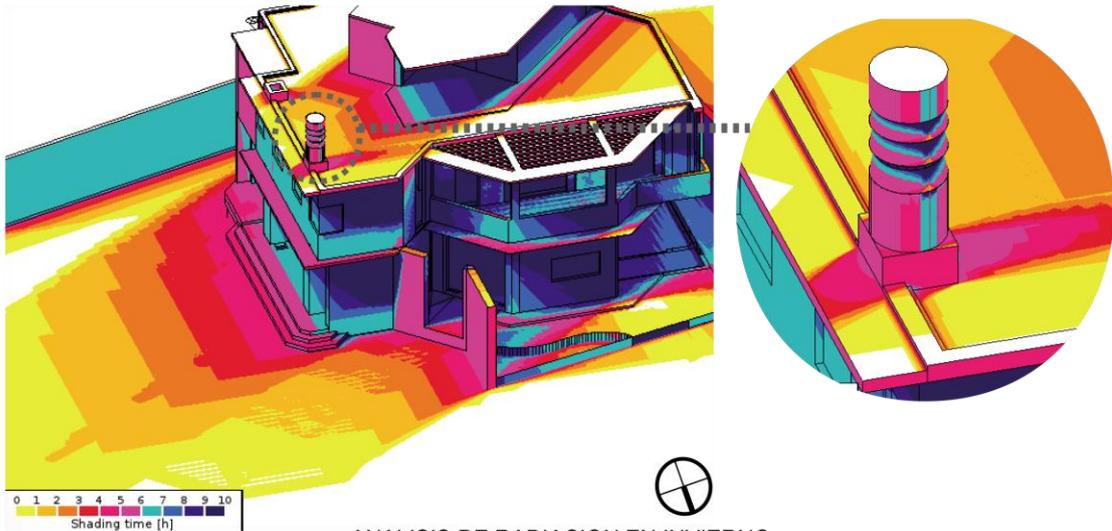
Según se observa en la ilustración 30, la casa está construida con una orientación adecuada en cuanto a la ubicación de la chimenea solar puesto que tanto en invierno como en verano captura los rayos del sol en forma directa, marcados en color amarillo demostrando la intensidad máxima posible.

A fin de observar con mayores detalles la radiación posible en los momentos externos a los cuales está expuesta la casa, se realiza una aproximación en detalle del estudio de la chimenea solar. Donde se observa que el área de colector solar de la chimenea está marcada con amarillo y fucsia intenso indicando la mayor retención de sol. Elemento indispensable para que la tecnología alternativa en estudio tenga el mayor rendimiento.



### Ilustración 27: Análisis de Radiación de la Casa de Estudio.

ANALISIS DE RADIACION EN VERANO



ANALISIS DE RADIACION EN INVIERNO



**REFERENCIAS**

	Área de radiación		Área de radiación
	Área de radiación		Area de sombra de 6 a 7 horas, entre las 7am a las 5pm
	Área de radiación		Area de sombra de 7 a 8 horas, entre las 7am a las 5pm
	Area de radiación		Área de sombra de 8 a 9 horas, entre las 7am a las 5pm
	Área de radiación		Area de sombra de 9 a 10 horas, entre las 7am a las 5pm

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.6. Diagnóstico del caso de estudio

Al concluir el análisis del caso concreto en los aspectos constructivos, espaciales y funcionales, es posible exponer un listado de puntos favorables y desfavorables, que presenta la aplicación de la chimenea solar como tecnología alternativa para el acondicionamiento de la vivienda y a partir del reconocimiento de las desventajas existentes, plantear y determinar pautas apropiadas para la



optimización del mismo, con el objetivo de la obtención de condiciones internas de confort en la vivienda.

A continuación se citan las ventajas y desventajas encontradas en el caso de estudio:

**Cuadro 21: Fortalezas y debilidades del caso de estudio relevado.**

	<b>FORTALEZAS</b>	<b>DEBILIDADES</b>
<b>1</b>	La ventilación natural que aporta la chimenea solar, favorece las condiciones para que se produzcan corrientes de aire, de manera que el aire interior sea renovado por el exterior (más frío, oxigenado y descontaminado) frente a la ventilación forzada (aquella que recurre a ventiladores para conseguir la renovación del aire). La ventilación natural no precisa de un aporte de energía artificial para conseguir la renovación del aire.	El sonido viaja en ondas mecánicas, es decir una perturbación o una onda que se mueve a lo largo del ducto. El sistema analizado en la vivienda no posee acondicionamiento acústico, por lo tanto, se da la propagación del sonido exterior desde la culminación de la chimenea (área colectora metálica), donde se encuentran las rejillas de salida de aire, hasta el subsuelo, generando cierto grado de molestias, que afecta a los residentes, principalmente en el área de los dormitorios.
<b>2</b>	La toma de aire se realiza en el subsuelo, método que ayuda a la reducción de la humedad que pueda existir en ese nivel, por estar en contacto directo con la tierra y a la vez a la eliminación del gas radón.	El ducto no cuenta con un sistema de limpieza manual o mecánico al alcance de los usuarios, para poder realizar limpieza y reparaciones en caso de que sean necesarios.
<b>3</b>	Utilizar el metal como material en el área colectora, genera mayor acumulación de calor, necesaria para obtener la diferencia de densidad y presión de aire necesaria para que se produzca la renovación del mismo.	No cuenta con la protección al ingreso de insectos y/o alimañas, hojas y otros residuos que pueden ser transportados por el viento, que pueden ir acumulándose en el ducto con el paso del tiempo, obstruyendo al flujo de aire.
<b>4</b>	La ubicación del elemento dentro de la vivienda se considera buena, la misma pasa por la galería, actualmente un lugar al exterior, dejando abierta la posibilidad de cerrar el espacio y que la ventilación de igual manera sea posible. Luego continúa el recorrido por los dormitorios, culminando en la azotea.	Debido a la geometría circular de las rejillas de salida de aire, se da la filtración de agua, en días de intensas lluvias y vientos fuertes.
<b>5</b>	La ventaja de este sistema también se puede presentar a largo plazo con la disminución de costos y la reducción de impactos ambientales.	La renovación de aire, no se da en todos los niveles de la vivienda. La toma de aire frío se da solamente desde el subsuelo, quedando la galería y los dormitorios (planta alta) sin la posibilidad del acondicionamiento ideal.

Fuente: Elaboración Propia.

Todo cuanto se ha desarrollado previamente permite avanzar al siguiente capítulo para trabajar en las pautas de optimización del diseño y construcción de chimeneas solares.



---

## CAPÍTULO IV: PAUTAS DE OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CHIMENEAS SOLARES

---

A continuación se presenta la identificación de las fortalezas y debilidades del caso concreto del uso de la chimenea solar como tecnología alternativa para el acondicionamiento de una vivienda ubicada en la ciudad de Asunción, lo que permite identificar los puntos críticos y establecer ciertas pautas en el diseño y construcción, que permitirán la optimización del desempeño de la misma y brindar confort en el interior de la vivienda.

Primeramente se presentan las pautas de optimización en el diseño de las chimeneas solares para posteriormente presentar las debilidades y adecuaciones referentes al caso de estudio.

### **4.1. Pautas de optimización**

Tienen en cuenta el relevamiento del caso de estudio y comparándolo con el análisis realizado en el marco teórico y con los casos de referencia se determinan aspectos a tener en cuenta la utilización de chimeneas solares como tecnología alternativa.

De esta forma se establecen las siguientes pautas de optimización para el diseño y construcción de chimeneas solares.

Los indicadores utilizados para definir las pautas de optimización son la orientación, la localización, la posición de aberturas, la geometría, la altura, el tipo de materiales, el color de materiales, las aislaciones, la limpieza mantenimiento y la protección.

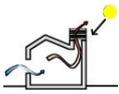


**Cuadro 22: Pautas de diseño y construcción de la chimenea solar.**

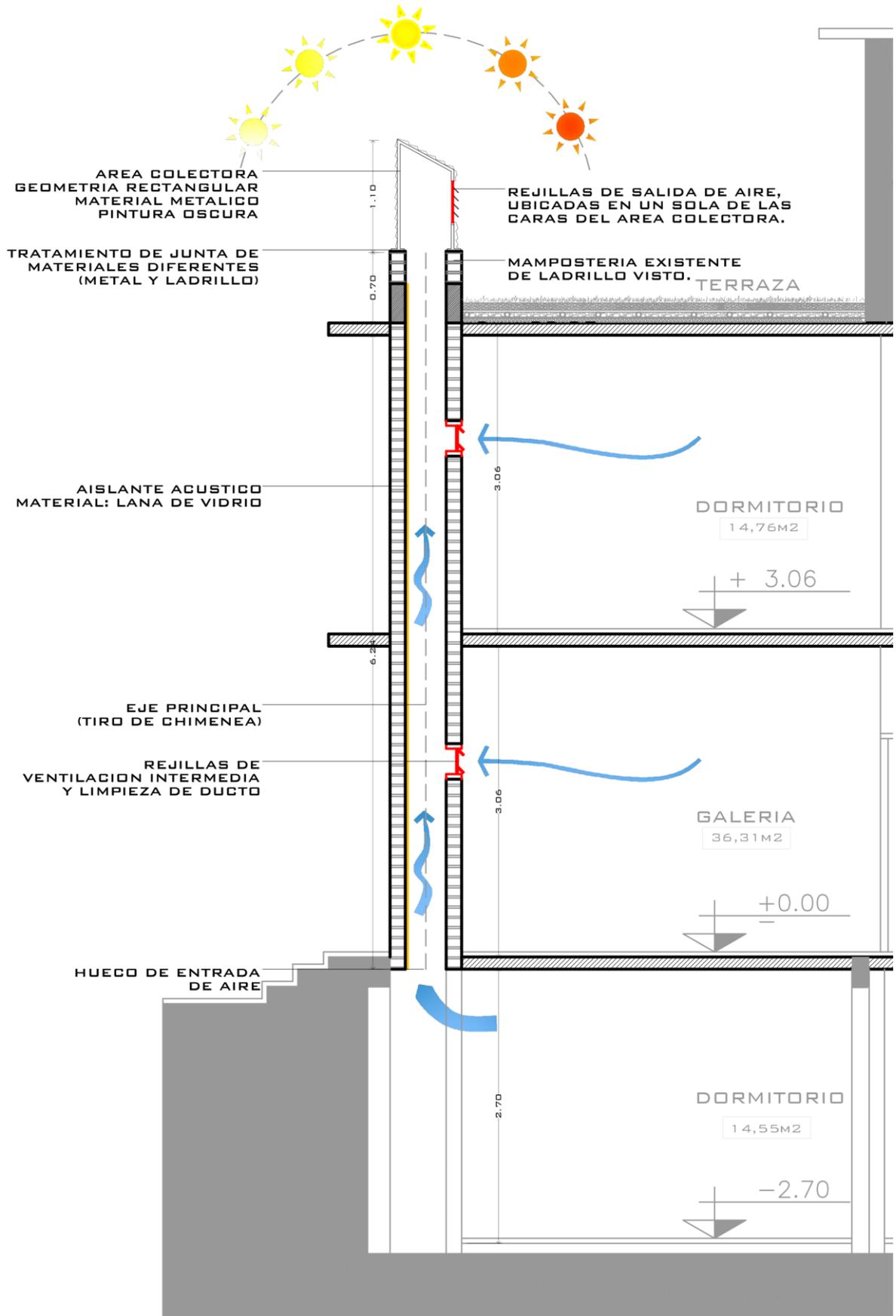
INDICADORES		PAUTAS
1.	Orientación	El área colectora debe estar expuesta en la fachada que reciba una radiación solar más alta.
2.	Localización	El área colectora no debe ser obstaculizada por árboles y/o construcciones en el período de incidencia solar.
3.	Posición de aberturas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El hueco de entrada de aire, donde se da la toma del mismo, se da en mejores condiciones cuando se encuentra ubicado a nivel de subsuelo, presenta mejor características térmicas por estar en contacto con la tierra.</li> <li>- Las rejillas de salida de aire orientadas al lado opuesto a los vientos y lluvias predominantes, siendo por generalidad provenientes del sur.</li> <li>- Debe contar con los huecos intermedios, los encargados de que se pueda dar la renovación del aire exterior con el interior.</li> </ul>
4.	Geometría	Se recomienda que la sección del coronamiento sea cuadrangular o rectangular, las cuales permiten que las rejillas de salida de aire sean orientadas en los lados favorables, para impedir el acceso de agua de lluvias.
5.	Altura	La altura considerable del coronamiento por encima del nivel del techo es de 1,00 a 1,50 metros.
6.	Tipo de Materiales	Los materiales a ser utilizados deben contar con buena conductividad térmica, para posibilitar la mayor cantidad de acumulación de calor (metal, láminas de vidrio).
7.	Color de Materiales	Colores oscuros, siendo óptimo el color negro, mejora la absorción y la acumulación de calor, en mayor cantidad que otros colores.
8.	Aislaciones	Debe ser propuesto algún sistema de aislación acústica, con fin de minimizar los sonidos provenientes del exterior e impedir molestias en el interior de la vivienda.
9.	Limpieza Mantenimiento	Sistema de pequeñas aberturas a una cierta distancia que permitan la limpieza del ducto, pueden ser cubiertas con rejillas metálicas.
10.	Protección	Debe contar con un tipo de protección para impedir el acceso de insectos/alimañas y/o residuos del exterior.

Fuente: Elaboración Propia.

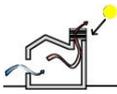
Teniendo en cuenta el análisis del caso de estudio realizado, seguidamente se presenta la propuesta de optimización de la chimenea solar, teniendo en cuenta los aspectos espaciales, funcionales, constructivos y de mantenimiento.



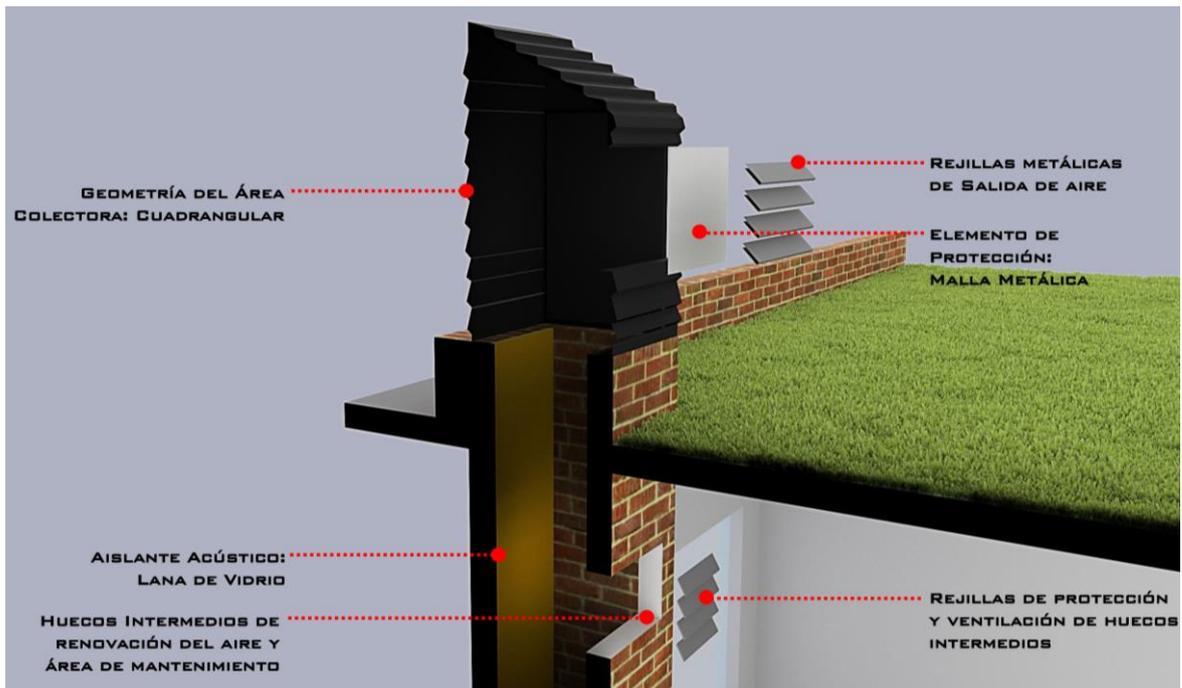
**Ilustración 28: Corte Chimenea Optimizada.**



Fuente: Elaboración Propia.



### Ilustración 29: Vista Chimenea Optimizada.



Fuente: Elaboración Propia.

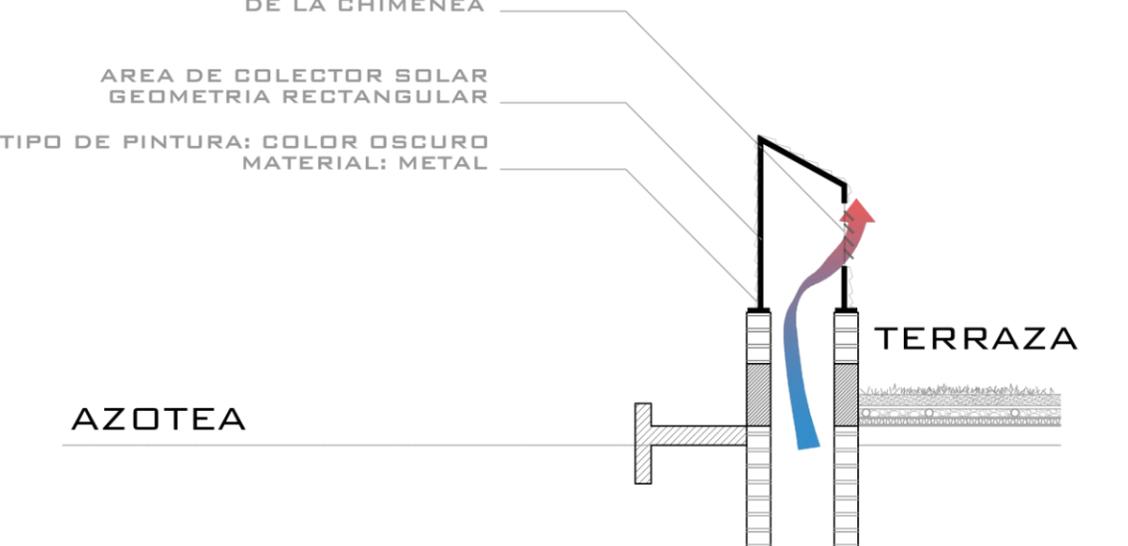
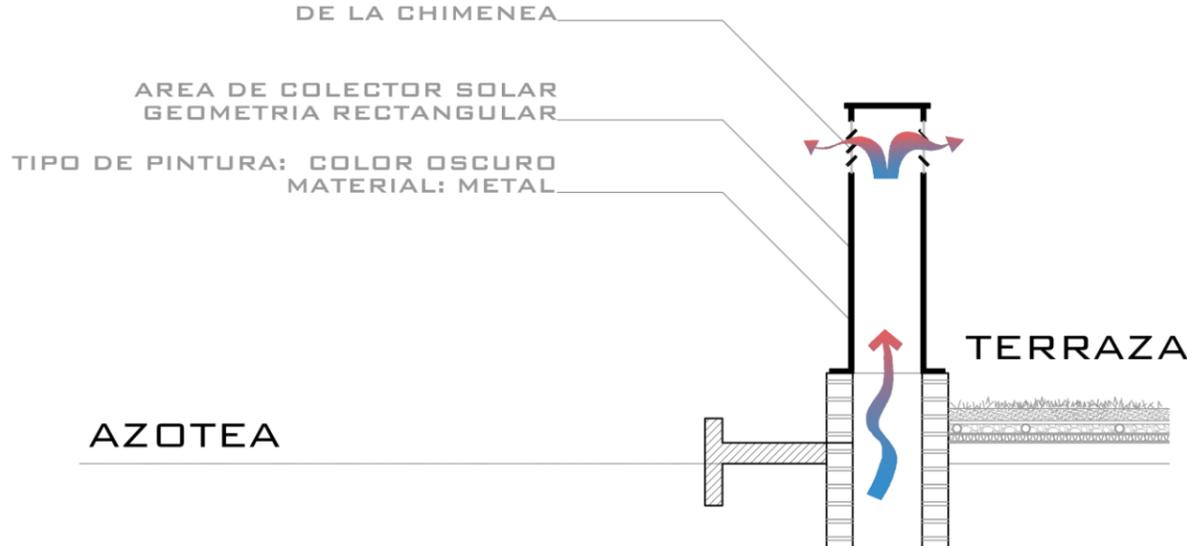
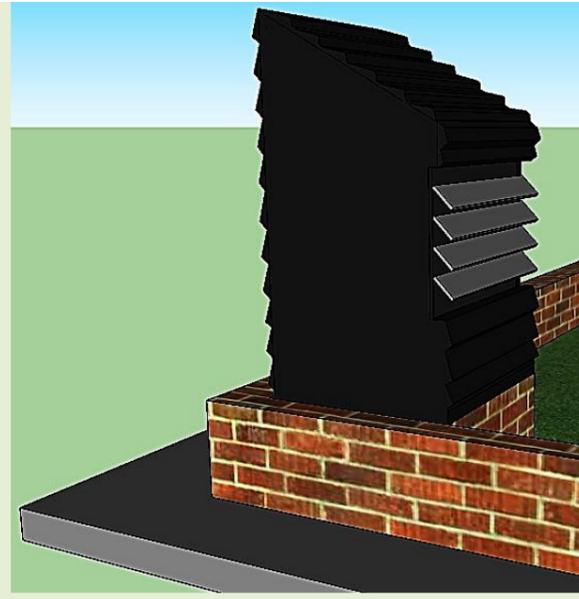
#### 4.2. Debilidades y Adecuaciones referentes al caso de estudio

Luego de realizar el análisis del uso concreto de la chimenea solar, como tecnología alternativa para el acondicionamiento pasivo de una vivienda y determinar los aspectos necesarios, se enumeró una serie de puntos no favorables, los cuales interfieren con el buen desempeño para lograr las condiciones internas de confort, por tal motivo, se propone realizar correcciones y modificaciones con el objetivo de optimizar el sistema específicamente en Asunción.

En los siguientes cuadros (N° 21 – 22 – 23) se demuestran las optimizaciones posibles en los puntos críticos encontrados en el caso de estudio analizado.



**Cuadro 23: Optimización Espacial.**

SINTESIS	PROPUESTA
Ingreso de aguas de lluvia, debido a la geometría circular de las rejillas de salida de aire.	Se opta por la geometría de sección cuadrangular o rectangular.
Opción 1	Opción 2
Recurrir a la geometría cuadrangular o rectangular del coronamiento, donde las rejillas de salida de aire se sitúan en una sola cara de la chimenea, siendo ésta la que no está expuesta a las inclemencias climáticas.	Se propone instalar las rejillas de salida de aire en dos caras del coronamiento, teniendo en cuenta las lluvias y vientos predominantes.
<p>REJILLAS DE SALIDA DE AIRE UBICADAS EN UNA DE LAS CARAS DE LA CHIMENEA</p> <p>AREA DE COLECTOR SOLAR GEOMETRIA RECTANGULAR</p> <p>TIPO DE PINTURA: COLOR OSCURO MATERIAL: METAL</p> 	<p>REJILLAS DE SALIDA DE AIRE UBICADAS EN LAS CARAS LATERALES DE LA CHIMENEA</p> <p>AREA DE COLECTOR SOLAR GEOMETRIA RECTANGULAR</p> <p>TIPO DE PINTURA: COLOR OSCURO MATERIAL: METAL</p> 
	

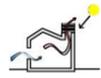
Fuente: Elaboración Propia.



**Cuadro 24: Optimización Funcional.**

	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3</b>
<b>PROBLEMA</b>	No cuenta con las rejillas intermedias necesarias para que en todos los niveles sea dado el intercambio y renovación de aire.	No cuenta con un sistema de limpieza.	Se registra el ingreso de insectos, alimañas, hojas y residuos del exterior.
<b>PROPUESTA</b>	Ubicar rejillas de ventilación intermedias en cada nivel, planta alta (área a ventilar: dormitorios, estar íntimo) y planta baja (en caso de que posteriormente se quiera hacer alguna modificación con cerramientos en el espacio de la galería), con la finalidad de que la renovación y el flujo de aire sea continuos y favorables en el interior de la vivienda.	Se plantea el uso de un sistema de rejillas a una cierta distancia, la necesaria para que la limpieza se pueda dar manualmente si así lo deseen, las rejillas estarán ubicadas una por nivel, es decir, una en planta baja y una en planta alta (ducto).	Utilizar una protección que permita el paso de aire y a la vez cumpla la función de evitar el paso de insectos, alimañas y/o residuos que puedan ingresar por fuertes vientos, se opta por el uso malla metálica en las rejillas de salida de aire.
<b>ESQUEMA</b>			

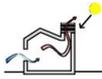
Fuente: Elaboración Propia.



Cuadro 25: Optimización Constructiva.

SINTESIS		PROPUESTA		
El sonido exterior ingresa al ducto de la chimenea y genera molestias en el interior de la vivienda.		Se propone posibles sistemas de aislación acústica, con el fin de atenuar los niveles de sonidos.		
	<b>Opción 1</b>	<b>Opción 2</b>	<b>Opción 3</b>	
<b>DESCRIPCION</b>	La utilización de la lana de vidrio de 50 mm de espesor como material aislante, colocada en unas de las caras interiores del recorrido del ducto, siendo esta la más afectada por sonidos exteriores.	Con el fin de reciclar y reutilizar materiales, se propone utilizar las cajas de huevo o tetrapark a lo largo de una cara interior del ducto.	El uso de geotextil en formas de tiras, colocadas en el interior del coronamiento que caen hasta el subsuelo, lo que permitirá que el sonido pierda energía y no llegue a ingresar a la vivienda.	
<b>ESQUEMA</b>				
<b>MATERIAL</b>				

Fuente: Elaboración Propia.



Luego del análisis de las ventajas y desventajas encontradas en la aplicación de la chimenea solar a la casa en estudio se definen las pautas constructivas en cuanto a la orientación, localización, posición de aberturas, geometría, altura del coronamiento, tipo y color de los materiales, así como la aislación.

Orientación: La chimenea solar debe estar instalada y construida en la fachada que reciba una radiación solar más alta. El área colectora debe estar expuesta directamente a los rayos solares (este – oeste). Las rejillas de salida de aire no deben quedar expuestas a los vientos y lluvia, generalmente provenientes del sur.

Localización: Es importante respetar los elementos del entorno. El área colectora no sea obstaculizada por árboles y/u otras construcciones durante el periodo de incidencia de rayos solares.

Posición de aberturas: Ubicar el hueco de entrada de aire a una altura no menor a los 1.00 metro del nivel de piso, de caso contrario cuanto más alto el hueco de entrada de aire menos diferencia de presión en el aire.

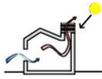
Geometría: Usualmente la geometría del ducto y el área colectora se recomienda que sean de sección cuadrangular o rectangular, orientando la cara más larga en dirección de los rayos solares.

Altura del coronamiento: La altura del área colectora de la chimenea se considera óptima cuando esta sobrepasa entre 1.00 a 1.50 metros del plano de cerramiento horizontal.

Tipo de materiales: Elegir materiales de construcción que optimicen la concentración de calor como ser: ladrillo común, metal y láminas de vidrio.

Color de materiales: Preferentemente colores oscuros, siendo óptima la pintura negra, mejora la absorción de la luz solar, retiene la luz en mayor cantidad que otros colores.

Aislaciones: Tendrá que contar con aislación acústica, con el fin de evitar que el sonido exterior cause molestias a los espacios interiores de la vivienda.



---

## CONCLUSIÓN

---

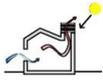
Al término de la investigación se logra realizar un diseño optimizado de chimeneas solares como tecnología alternativa para el acondicionamiento pasivo de viviendas incluyendo detalles constructivos, espaciales y funcionales alcanzando de esta forma los objetivos propuestos en esta investigación.

Al estudiar las tecnologías alternativas, el funcionamiento de las mismas y sus diferentes aplicaciones como estrategia de acondicionamiento, se han identificado las condiciones básicas y los elementos indispensables para la construcción del sistema de chimeneas solares. El análisis de las condiciones y requerimientos para la aplicación del sistema permitió reconocer que la construcción de las chimeneas solares es factible en climas de características cálido húmedo, en este sentido, recurrir a esta tecnología alternativa en el Paraguay como una solución a proporcionar el confort térmico en el interior de una vivienda es altamente viable; con lo cual se cumple con el primer objetivo específico.

Asimismo, identificar los aspectos necesarios constructiva, espacial, funcionalmente y de mantenimiento de la chimenea solar, permitió enumerar las pautas para el buen rendimiento del sistema como tecnología alternativa, las cuales fueron fundamentales a la hora de reconocer los puntos críticos que pueden ser presentados en el momento de su aplicación para lograr el confort en los espacios interiores de la vivienda; de esta forma se cumple con el segundo objetivo específico.

Del caso de estudio fue posible registrar las fortalezas y debilidades que presentaba la chimenea solar, que fueron esenciales para llegar a una propuesta de las pautas necesarias de diseño y construcción para lograr el rendimiento óptimo del sistema como tecnología alternativa; con lo cual se cumple también con el tercer objetivo específico.

Por tanto, es un aporte de este TFG, la optimización de un sistema de chimenea solar como tecnología alternativa, mediante propuestas tecnológicas, constructivas, funcionales y espaciales, así como también mediante la identificación de las herramientas necesarias para ratificar la importancia de la utilización de sistemas de acondicionamiento pasivo; puesto que ellos tienen la



capacidad de adaptarse a los cambios climáticos, minimizando el consumo energético, mejorando el control del flujo de aire a través de un edificio, minimizan el uso de sistemas convencionales y permitiendo el ahorro de energía que generan su uso.

Al concluir el trabajo, la autora espera haber interesado tanto a estudiantes como profesionales, a profundizar conocimientos y a la vez hacer uso de tecnologías alternativas en la arquitectura, teniendo en cuenta siempre los recursos naturales, con la finalidad de plantear soluciones apropiadas a las condiciones climáticas del país.

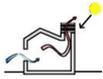


---

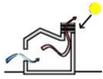
## BIBLIOGRAFÍA

---

- Aga Khan Award for Architecture. Project Dais Charles de Gaulle.
- Alamy. Solar Chimney.
- Arquitectos 189 (2011). Arquitectos Vías Respiratorias. España.
- Arquitectura Bioclimática – CHR ARQ. Chimenea Solar.
- Asociación de Sostenibilidad y Arquitectura (2016). Guía sobre la importancia de la relación del edificio con su espacio de proximidad y las estrategias pasivas para el ahorro y la eficiencia energética en la edificación.
- Bayardo Nelson, (1972). Las seis coordenadas de la Arquitectura.
- Dirección de Meteorología e Hidrología. DINAC. Asunción, Paraguay.
- Eco – Construcción. Arquitectura y Clima - Chimeneas Solares.
- Gonzalo, Guillermo Enrique, (1998). Manual de Arquitectura Bioclimática. Tucumán. Editorial Nobuko.
- Greek Architectis.net (2013). Renovación Energética de un edificio de Oficinas en el CERN.
- Guías de Sostenibilidad (2014). Guía de estrategia de Diseño Pasivo para la edificación.
- Integrated Design Consortium. Solar Chimney.
- Integrated Environmental Solutions (2013). Alternative Natural Ventilation Systems in IES,
- ITTIC – TICS para la eficiencia energética en edificios terciarios.
- Jean – Louis Izard. Alain Guyot. (1980). Arquitectura Bioclimática. Tecnología y Arquitectura. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona.
- Koenigsberger, Ingersoll; Mayhew, Szokolay, (1977). Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales. Traducido por Emilio Romero Ros Madrid, España
- León, Juan Carlos (2013). Parámetros de Diseño para una Chimenea Solar, Juan Carlos León.
- M. y H. Wachberger. Construir con el sol. Utilización de energía solar pasiva. Editorial Gustavo Gili S.A.



- Martin McPhillips. Viviendas con energía solar pasiva. Editorial Gustavo Gili S.A.
- Portillo, A., & Sirvent, G. (1987). Tecnologías alternativas para el desarrollo urbano. In Tecnologías alternativas para el desarrollo urbano. Centro de Ecodesarrollo.
- Rivero, Arq. Roberto. Arquitectura y Clima.
- Tjerk Reijenga. BEAR – ID Sustainable Urban Planners + Architects. Projects. Shanghai.
- Wrigth, David. Arquitectura Solar Natural. Tecnología y Arquitectura. Editorial Gustavo Gili S.A.
- Yarke, Eduardo. (2005). Ventilación Natural de Edificios. Buenos Aires, Argentina, Nobuko.
- Zanoni, Graciela. (2005). Sistemas pasivos de refrigeración aplicables a viviendas unifamiliares urbanas en climas subtropicales. Caso de estudio: Mariscal Estigarribia, Región Occidental del Paraguay. Trabajo Final de Grado.

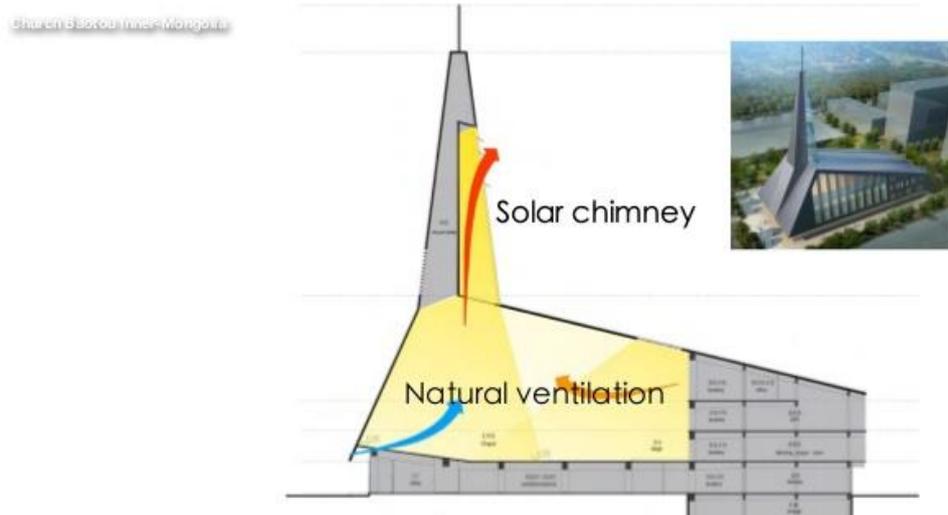


## ANEXOS

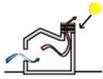
### ANEXO I – Casos de utilización de Chimeneas Solares

#### 1. *Diseño de la Iglesia Verde Baotou Mongolia.*

El proyecto se trata de una Iglesia solar pasiva para Baotou en Inner – Mongolia. Fue solicitado un diseño de iglesia sostenible con la intención de utilizar la menor cantidad de energía posible, también espacios destinados al uso de oficinas y salas de capacitación. En lugar de hacer dos edificio, se busco la integración de todos los programas en uno solo. Las principales características solares son la utilización de la energía solar pasiva, la energía solar térmica y una chimenea solar.



www.BEAR-ID.com



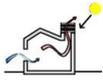
## 2. Edificio Ambiental del BRE

El edificio Ambiental del Establecimiento de Investigación BRE, es un buen ejemplo de varios enfoques para el diseño y construcción sostenible y la ventilación natural.

El edificio utiliza la ventilación de chimeneas solares en los espacios de oficinas para promover el flujo de aire. Cuando la ventilación es buena, el aire es capaz de fluir mediante las ventanas operables de las oficinas y producir la renovación del mismo, con intenciones de mejorar el confort térmico del interior del edificio.

Para aumentar la capacidad del edificio y la ventilación natural se utilizó un sistema de persianas externas y vidrio de colores gris-verde que ayudan a minimizar la carga de enfriamiento manteniendo el aumento de calor solar del espacio acondicionado. Además el edificio utiliza balcones sobre el espacio del atrio de la entrada para guardar las ganancias solares de la entrada. Las cargas de la oficina se minimizan, ya que la iluminación en el espacio de oficina es capaz de atenuar, al tiempo que mantiene 300-350 lux, para utilizar más luz natural y menos energía y ganancia de calor de la iluminación artificial.

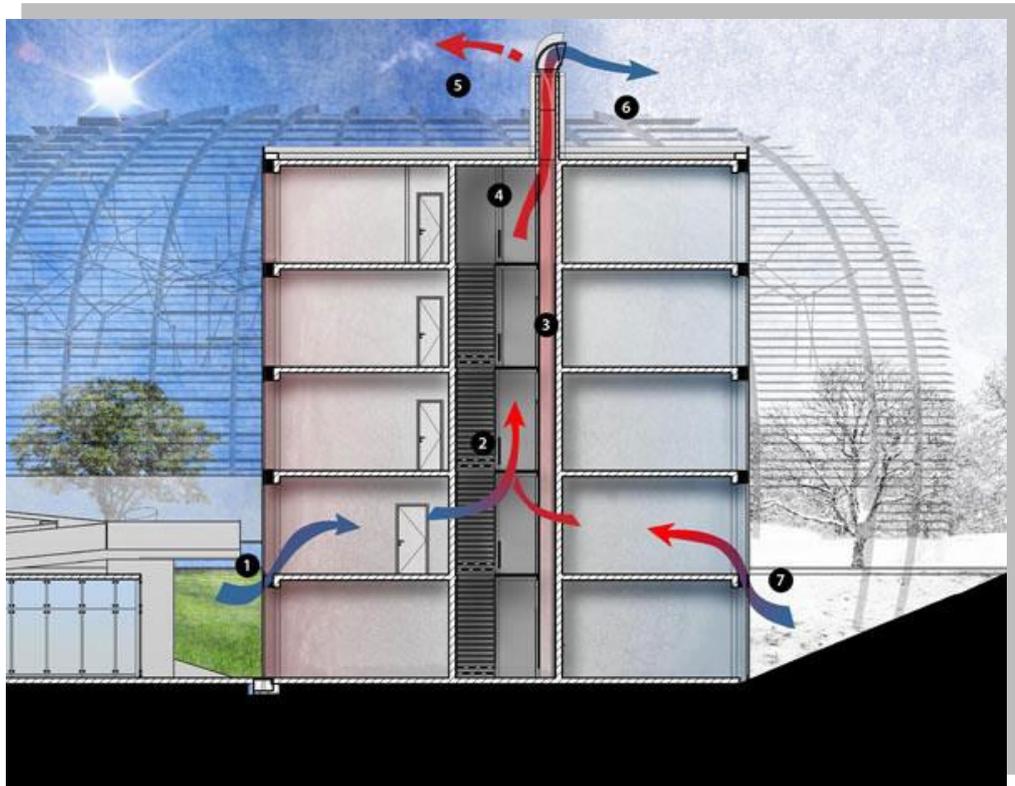


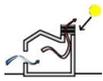


### 3. Renovación energética y arquitectónica de un edificio de oficinas en el CERN.

En la tesis titulada “Renovación energética y arquitectónica de un edificio de Oficinas en el CERN”, se estudio el edificio de oficinas de la Organización Europea para la Investigación Nuclear. Se identificaron varios problemas funcionales y relacionados con la energía y se propusieron soluciones que ayuden a solucionarlos, entre ellos el sistema de ventilación y enfriamiento mediante un muro de energía que tiene los mismos principios de la chimenea solar.

Se propuso colocar el muro de energía en la escalera central, donde se causará un flujo de aire vertical forzado, llevando consigo el aire caliente desde el núcleo del edificio. El funcionamiento del mismo, se basa en una pared contigua que se calienta constantemente, el aire interior es forzado a moverse hacia arriba y al sustituir el piso de la escalera por una malla metálica, se habilita el flujo de aire vertical libre. Por lo tanto, el aire caliente crea una fuerza de succión en el fondo de la escalera, forzando el aire fresco a entrar desde la fachada del edificio.



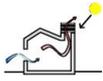


#### 4. Nueva sede de Empresa de Desarrollo Urbano de Medellín

Se ha diseñado un edificio con un experimento en cuanto a la ventilación, el uso de chimenea solar que conecta todas las plantas de oficinas. Calentado por los ocupantes y las computadoras, el aire interior se eleva de forma natural por la chimenea. A medida que se escapa en la parte superior, el aire fresco es aspirado desde las ventanas y hacia el interior del edificio.

Con la ventilación impulsada por el viento, el aire fresco es empujado al interior desde los lados. Pero con ventilación por flotabilidad, el aire fresco es aspirado desde los lados. Así que la acción es diferente. Y también es más fiable. En un día caluroso, cuando la ocupación en edificio es alta, puede que no haya suficiente viento para expulsar el aire interno. Sin embargo, la ventilación por flotabilidad es diferente: a medida que aumenta la ocupación, también lo hace la fuerza motriz. En otras palabras, la flotabilidad es una fuerza que se puede *diseñar*. Por su diseño, podemos mantener una "brisa" en ausencia de viento.





## ANEXO II – Programa de Análisis de Incidencia Solar



Shadow Analysis es una herramienta sencilla para analizar las condiciones de luz del día. El análisis se presenta en forma de imágenes coloridas - colores diferentes donote diferentes cantidades de exposición a la luz del sol.

Shadow Analysis fue creado para ayudar a los arquitectos a comprender las condiciones de luz del día en zonas urbanas densas y proporcionarles una herramienta para diseñar edificios mejores y más sostenibles y espacios urbanos.

