



**UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**TRABAJO DE PROYECTO TÉCNICO  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
INDUSTRIAL**

**TEMA:**

**DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DEL USO Y EMPLEO DE  
TÉCNICAS PASIVAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA REDUCIR  
EL CONSUMO ENERGÉTICO CRAI EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL  
DE MILAGRO**

**Autores:**

- BARBOZA OCAÑA MELANIA MICHELLE
- CRUZ ROBELO IVANNA RAQUEL

**Tutor:**

MUÑOZ SALCEDO JOSE MARTIN

**Milagro, 15 DE OCTUBRE DEL 2021**

**ECUADOR**

## DERECHOS DE AUTOR

Ingeniero.

Fabrizio Guevara Viejó, PhD.

**RECTOR**

**Universidad Estatal de Milagro**

Presente.

BARBOZA OCAÑA MELANIA MICHELLE, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de integración curricular, modalidad presencial, mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de Derecho del Autor, como requisito previo para la obtención de mi Título de Grado, como aporte a la Línea de Investigación ANÁLISIS Y SOLUCIÓN DE INGENIERÍA DE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO, de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de integración curricular en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 15 DE Octubre del 2021.

---

BARBOZA OCAÑA MELANIA MICHELLE

Autor 1

CI: 0942124363

## DERECHOS DE AUTOR

Ingeniero.

Fabrizio Guevara Viejó, PhD.

**RECTOR**

**Universidad Estatal de Milagro**

Presente.

CRUZ ROBELO IVANNA RAQUEL, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de integración curricular, modalidad presencial, mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de Derecho del Autor, como requisito previo para la obtención de mi Título de Grado, como aporte a la Línea de Investigación ANÁLISIS Y SOLUCIÓN DE INGENIERÍA DE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO, de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de integración curricular en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 15 de Octubre del 2021.

---

CRUZ ROBELO IVANNA RAQUEL

Autor 2

CI: 0944405174

## **APROBACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE Elija un elemento**

Yo, Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (Tutor). en mi calidad de tutor del trabajo de Elija un elemento., elaborado por Elija un elemento. Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (estudiante1). y Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (estudiante2)., cuyo título es Haga clic aquí para escribir el tema del Trabajo, que aporta a la Línea de Investigación Haga clic aquí para escribir el nombre de la Línea de Investigación previo a la obtención del Título de Grado Haga clic o pulse aquí para escribir Título de Grado.; considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios en el campo metodológico y epistemológico, para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo APRUEBO, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso previa culminación de Trabajo de Elija un elemento de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, Haga clic aquí para escribir una fecha.

~~Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (Tutor).~~

Tutor

C.I: Haga clic aquí para escribir cédula (Tutor).

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

El tribunal calificador constituido por:

Elija un elemento. Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (tutor).

Elija un elemento. Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (Secretario/a).

Elija un elemento. Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (integrante).

Luego de realizar la revisión del Trabajo de Elija un elemento, previo a la obtención del título (o grado académico) de Elija un elemento. presentado por Elija un elemento. Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (estudiante1).

Con el tema de trabajo de Elija un elemento: Haga clic aquí para escribir el tema del Trabajo.

Otorga al presente Trabajo de Elija un elemento, las siguientes calificaciones:

Trabajo de Integración Curricular	[	]
Defensa oral	[	]
<b>Total</b>	[	]

Emite el siguiente veredicto: (aprobado/reprobado) \_\_\_\_\_

Fecha: Haga clic aquí para escribir una fecha.

Para constancia de lo actuado firman:

	Nombres y Apellidos			Firma
Presidente	Apellidos y nombres de Presidente.			_____
Secretario /a	Apellidos y nombres de Secretario			_____
Integrante	Apellidos y nombres de Integrante.			_____

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

El tribunal calificador constituido por:

Elija un elemento. Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (tutor).

Elija un elemento. Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (Secretario/a).

Elija un elemento. Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (integrante).

Luego de realizar la revisión del Trabajo de Elija un elemento, previo a la obtención del título (o grado académico) de Elija un elemento. presentado por Elija un elemento. Haga clic aquí para escribir apellidos y nombres (estudiante2).

Con el tema de trabajo de Elija un elemento: Haga clic aquí para escribir el tema del Trabajo.

Otorga al presente Trabajo de Elija un elemento, las siguientes calificaciones:

Trabajo de Integración	[	]
Curricular		
Defensa oral	[	]
<b>Total</b>	[	]

Emite el siguiente veredicto: (aprobado/reprobado) \_\_\_\_\_

Fecha: Haga clic aquí para escribir una fecha.

Para constancia de lo actuado firman:

	Nombres y Apellidos				Firma
Presidente	Apellidos	y	nombres	de	_____
	Presidente.				
Secretario /a	Apellidos	y	nombres	de	_____
	Secretario				
Integrante	Apellidos	y	nombres	de	_____
	Integrante.				



## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a Dios por darme fortaleza, salud y perseverancia para poder culminar mis estudios universitarios, a mis padres, Manuel y Catalina, a mis hermanos, Jordan y Tayron, quienes durante mi carrera de Ingeniería Industrial me brindaron apoyo económico y moral, a mi pareja David Fernando por apoyarme incondicionalmente y creer en mi

**Melania Barboza Ocaña.**

Dedico este proyecto de culminación de carrera de manera muy especial a mi familia, a mis padres, a mi hermano y a mis abuelitos, pues ellos son los que día a día me alientan en cada etapa de mi vida, fomentándome siempre responsabilidad en todo lo que emprendo y apoyándome cada vez que se me presentan adversidades, los considero las bases de mi vida y por ende de mis pequeños y grandes éxitos.

También dedicó de todo corazón a Ricardo, mi pareja y aquella persona que celebraba conmigo cada pequeño triunfo, como la buena nota en un examen difícil, y de la misma forma me daba ánimos y me aseguraba que yo lograría todo lo que me proponga.

**Ivanna Cruz Robelo.**



## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento está dedicado a Dios, por haberme guiado en mi vida profesional como en mi día a día, a mi familia por todo su apoyo y amor, en especial a mis padres quienes me enseñaron que con dedicación se puede lograr todo, a mis abuelitos a quienes recuerdo y llevo en mi corazón, a mi pareja David Fernando por apoyarme en cada meta que me proponía, quien compartía conmigo cada alegría o tristeza, a mis compañeros de clases por los momentos compartidos, a mi compañera de proyecto Ivanna Cruz por convertirse en una verdadera amiga, a mi tutor de proyecto y docentes que impartieron su conocimiento en mí.

A todos ustedes, muchas gracias.

**Melania Barboza Ocaña.**

Agradezco a Dios por darme salud y permitirme culminar mi carrera de Ingeniería Industrial, a mi familia por brindarme su apoyo, de manera muy especial a mis padres, hermano y abuelitos por alentarme en cada paso que doy en mi día a día y en mi vida profesional, a Ricardo mi enamorado que fue quien siempre estuvo para mí en cada buena y mala decisión que tomaba, a mis maestros que me impartieron su saber, a mis compañeros de clase y amigos que hicieron disfrutar cada momento dentro del aula y fuera de ella, a mi compañera de tesis y gran amiga Melania Barboza que con bastante paciencia y carisma me ayudó a completar este proyecto.

A la Unemi, muchas gracias.

**Ivanna Cruz Robelo.**

## ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTOR	2
DERECHOS DE AUTOR	3
APROBACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE Elija un elemento	4
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR	5
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR	6
DEDICATORIA	8
AGRADECIMIENTO	9
ÍNDICE GENERAL	10
ÍNDICE DE FIGURAS	12
ÍNDICE DE TABLAS	13
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO 1	3
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Planteamiento del problema	4
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo General	4
1.2.2. Objetivos Específicos	4
1.3. Alcance	4
1.4. Estado del arte	4
1.5. Marco Teórico	8
1.5.1. TERRAZAS VERDES	10
1.5.2. CONFORT TERMICO	12
1.5.3. CHIMENEA SOLAR.	15
CAPÍTULO 2	21
2. METODOLOGÍA.	21
2.1. PRIMERA FASE: DISEÑO CON RELACIÓN A LA CANTIDAD DE KW.	22
SEGUNDA FASE: RECONOCIMIENTO DEL AREA A INTERVENIR.	23
TERCERA FASE: DISEÑO ARQUITECTONICO.	29
CUARTA FASE: LOGÍSTICA DE EQUIPOS	31
• Componentes Chimenea solar.	31
CAPÍTULO 3	36
3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN	36
CONCLUSIONES	45

RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
Bibliografía	48
ANEXOS	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Ilustración 1.</b> Temperatura radiante.....	13
<b>Ilustración 2.</b> Humedad relativa del aire .....	13
<b>Ilustración 3.</b> Velocidad del aire .....	14
<b>Ilustración 4.</b> Datos climatológicos de la estación de la UNEMI .....	28
<b>Ilustración 5.</b> ábaco psicométrico de Baruch Givoni de la ciudad de Milagro.....	29

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Directivas esenciales en la concepción de edificios de alta eficiencia o energía cero. ....	9
<b>Tabla 2.</b> Rango de Variables para Confort Térmico.....	14
<b>Tabla 3.</b> Cantidad de consumo energético en lámparas y focos del CRAI.....	22

## **RESUMEN**

Este estudio de caso tiene como finalidad el análisis de técnicas pasivas de eficiencia energética que inciden en el consumo de energía eléctrica, basado en la utilización de recursos renovables, el tema parte en la necesidad de contribuir a la reducción de costos generados por el consumo de energía eléctrica.

El calentamiento global cada día es más visible, debido, en gran parte, a la quema de combustibles fósiles ya que es el método más fácil para generar energía eléctrica, pero la más contaminante al mismo tiempo; es importante por eso buscar las formas en que se haga el menor daño y obtener los mejores resultados posibles. Como respuesta al cambio climático, algunos países empezaron a plantear la importancia de la economía verde, donde la eficiencia energética y el desarrollo sustentable juegan un papel relevante.

Por otra parte, la eficiencia energética es la disminución del consumo de energía sin alterar los servicios y sin disminuir el confort y la calidad de vida; y así proteger el medio ambiente; es un pilar del desarrollo sustentable. Con esto, el proyecto tuvo su origen en la preocupación por conocer el impacto de desempeño en materia de calidad ambiental y eficiencia energética en la Universidad Estatal de Milagro.

También se propone un modelo de gestión energética, obtenido tras haber realizado una revisión bibliográfica, adecuado al edificio del CRAI, para progresar en el reto de optimizar la administración de este, y hacer cada vez más eficiente el uso de la energía, integrando el concepto de mejora continua como hábito.

**PALABRAS CLAVE:** eficiencia energética, recursos renovables, calentamiento global

## **ABSTRACT**

The purpose of this case study is the analysis of passive energy efficiency techniques that affect the consumption of electricity, based on the use of renewable resources, the topic is based on the need to contribute to the reduction of costs generated by the consumption of electricity, among the possible alternatives of renewable resources we have.

Global warming is becoming more visible every day, due, in large part, to the burning of fossil fuels as it is the easiest method to generate electricity, but the most polluting at the same time; it is therefore important to find ways to do the least damage and get the best possible results. In response to climate change, some countries began to raise the importance of the green economy, where energy efficiency and sustainable development play a relevant role.

On the other hand, energy efficiency is the reduction of energy consumption without altering services and without reducing comfort and quality of life, thus protecting the environment; it is a pillar of sustainable development. With this, the project had its origin in the concern to know the impact of performance in terms of environmental quality and energy efficiency at the State University of Milagro.

It also proposes an energy management model, obtained after conducting a literature review, appropriate to the CRAI building, to progress in the challenge of optimizing the administration of this, and make increasingly efficient energy use, integrating the concept of continuous improvement as a habit.

**KEY WORDS:** energy efficiency, renewable resources, global warming.

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Una forma de contribuir a la reducción de costos generados por el consumo de energía eléctrica en la Universidad Estatal de Milagro, es implementar un recurso renovable con lo cual se podría aplicar como una alternativa idónea considerando el edificio del CRAI, como principal edificación para desarrollar el proyecto.

Ante el reto de disminuir el consumo de energía y las emisiones contaminantes, se han construido en varias regiones del mundo edificios verdes o de baja energía, que emplean nuevas tecnologías para disminuir dicho consumo. (Bravo, 2015). Una edificación desde el período de concepción hasta la utilización para la que fue concebido debe prever, desde un punto de vista energético y de confort térmico, los efectos climáticos sobre la evolución termodinámica del sistema.

Esto se debe a que los elementos pasivos son parte integrante de la construcción, cuando no la propia construcción, es necesario tener en cuenta los datos climatológicos al inicio del diseño y en todos y cada uno de las fases del proyecto. (Bravo, 2015). Un edificio representa un sistema termodinámico abierto, de paredes adiabáticas y en situación permanente de inestabilidad; su estado termodinámico en cada instante se define como la respuesta a las variaciones externas e internas de esta construcción.

Estas condiciones obligan a los ingenieros a conocer y prever en lo posible las fluctuaciones significativas del entorno para llegar a la comprensión, predicción y/o simulación del estado termodinámico del edificio. El diseño energéticamente eficiente y consciente pasa por el aprovechamiento de los recursos naturales del lugar donde se irgue la construcción. Para ello es preciso que existan las condiciones adecuadas para que estos recursos puedan ser empleados. (Greter, 2013).



## **1.1. Planteamiento del problema**

El tema de investigación parte en la necesidad de contribuir a la reducción de costos generados por el consumo de energía eléctrica en el CRAI en la Universidad Estatal de Milagro, para ello se implementará técnicas de energía pasiva, entre la principal opción tenemos, chimenea solar y terrazas verdes, con la cual se realizará el análisis respectivo se podrá decidir la alternativa idónea.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Determinar la factibilidad del uso y empleo de técnicas pasivas de eficiencia energética para reducir el consumo energético CRAI en la Universidad Estatal de Milagro.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Analizar el consumo energético del CRAI.
- Determinar factores que incidan en el consumo innecesario de energía eléctrica en el CRAI.
- Plantear soluciones viables en base al análisis termográfico.
- Establecer alternativas de técnicas de energía pasiva, para optimizar el consumo de energía eléctrica en el CRAI.

## **1.3. Alcance**

Aplicar un principio de técnicas pasivas, combinando el diseño bioclimático armonizado con el uso de ventilación natural, masas de inercia térmica, control de la infiltraciones, techos verdes, acumulación térmica y tecnologías de climatización.

## **1.4. Estado del arte**

Debido al impacto significativo que tendría en el consumo energético del hábitat del ser humano, diferentes autores han desarrollado investigaciones del tema de la chimenea solar, desde diferentes acercamientos:

- Cálculo físico matemático
- Modelos experimentales
- Modelado en programas informáticos

### **Cálculo físico matemático**

Existen diversos modelos matemáticos propuestos por Bansal et al. (Bansal, 1993), pionero de estos estudios, donde analiza el comportamiento del flujo de aire dentro del dispositivo, así como otras propuestas de cálculo de chimeneas solares de formato pequeño; por otra parte Harris-Helwig (Harris, 2007), realizan estudios basados en modelos matemáticos que se ingresan a un CFD para estudiar el índice más alto de flujo de aire de acuerdo a la inclinación del captador solar con respecto a la fricción provocada por esta desviación.

En estudios realizados por Shi-Chew (Chew, 2012), define la importancia del uso de aislamiento externo para acumular energía dentro del ducto de la chimenea y así prolongar su período de utilización documentando el decremento en la eficiencia del sistema cuando no cuenta con este factor.

Dentro de esta misma gama de modelos de cálculo matemáticos Mathur et al. (Mathur, 2006) establecen una relación directa del incremento del flujo de aire con el aporte de la radiación solar.

### **Modelos experimentales**

En el campo de los estudios experimentales encontramos una investigación realizada por Arce-Jiménez-Guzmán (Arce et al., 2009) dónde registran diferentes valores tales como temperatura interior exterior, humedad, velocidad de viento y coeficiente de salida, de un prototipo creado por ellos en formato aislado.

En esta misma línea encontramos los resultados proporcionados por Alfonso-Oliveira donde evalúan el comportamiento de una chimenea convencional respecto a una chimenea solar, es decir con captación de radiación solar, destacando el incremento

de flujo de aire en la chimenea solar, modelado en software y comprobado en prototipos construidos.

Otro campo de investigación ha sido el dimensionamiento del cuerpo principal de la chimenea, encontrando parámetros límite dentro del funcionamiento, como por ejemplo nos demuestra Ong-Chow, al documentar los valores óptimos del espesor de la chimenea, teniendo contraflujos cuando se rebasan ciertos límites.

Modelado en programas informáticos.

Dentro de las investigaciones de modelado por software tenemos varias líneas de investigación, las que son comprobatorias de los modelos matemáticos, como el análisis que presenta Saifi et. Donde generan un prototipo aislado de chimenea solar, documentando el comportamiento del flujo de aire analizado y comprobado desde las predicciones de software CFD respecto a las mediciones tomadas dentro del dispositivo, siguiendo esta misma línea de investigación otros autores han explorado el comportamiento del sistema insertado en un espacio habitable teórico, siendo el caso de Khedari-Boonsri-Hirunlabh modelando un espacio prototípico en software CFD aplicando el dispositivo de estudio, obteniendo resultados enfocados a temperatura, renovaciones de aire y confort térmico; en este proceso de análisis encontramos estudios que integran variables fuera de laboratorio, independientemente que continúan siendo modelados en entornos controlados, siendo el caso de la investigación realizada por Lee-Strand, donde desarrollan e implementan un módulo en el programa EnergyPlus para la simulación y determinación del impacto energético de las chimeneas solares, utilizando para esta modelización datos reales de sitios específicos y evaluando la aportación a la eficiencia energética entre ellos.

Existen otros estudios de análisis por medio de modelado en software del rendimiento de la chimenea solar con sistemas complementarios, como lo plantea Chungloo-Limmeechokchai comprobando el rendimiento de un sistema combinado de chimenea solar con una cubierta enfriada por agua por medio de un programa CFD, obteniendo valores de reducción de la temperatura interior.

Cronología de Estado del Arte					
Año	Autor	Sitio	Método	Área de Estudio	Conclusiones
1993	Bansal, Mathur, Bhandari	India	Num	Superficie del Colector Dimension de Aberturas	2.25 m2 de colector solar inducen 330 m3/hr con RS de 1000 W/m2
2000	Alfonso, Oliveira	Portugal	Exp	Comparativo entre chimenea convencional y chimenea solar	Asistencia solar incrementa de 10 a 22% el flujo de aire
2000	Khedari, Boonsri, Hirunlabh	Tailandia	Exp	Temperatura interior y renovaciones de aire	Colector solar de 9 m2 genera 15 RH y reduce 50% de calentamiento interior
2003	Dai, Sumathy, Wang, Li	China	Num	CHS inclinada + Cavidad de enfriamiento por absorción	2.5 m2 de colector solar puede generar 150 kg/hr de flujo de aire
2003	Khedari, Rachapradit, Hirunlabh	Tailandia	Exp	Colector solar + CHS vertical + aire acondicionado	CHS puede reducir 10 a 20% menos de consumo eléctrico de aire acondicionado
2003	Ong, Chow	Malasia	Num Exp	Sección cámara de aire + RS + superficie colector solar	Sección óptima: 0.30 m
2005	Heras, Jiménez, San Isidro, Zarzalejo, Pérez	España	Exp	CHS inclinada	Reducción en demanda de refrigeración para obtener confort térmico
2005	Bansal, Mathur, Mathur, Jain	India	Exp Num	Temp. de absorbente, canal de aire y acristalamiento	Superficie de 1 m2 generó velocidades hasta de 0.24 m/s
2005	Ding, Hasemi, Yamada	Japón	Exp Sim	Chimenea solar Fachada Ventilada	Diferencia de presión óptima 2 niveles de altura mínimo
2006	Mathur, Bansal, Mathur, Jain, Anupma	India	Exp	Altura del absorbente Sección cámara de aire	Relación óptima: 2.83 entre altura del absorbente y sección de cámara de aire
2006	Chantawong et al.	Tailandia	Exp Num	Ventana Tipo Chimenea Doble acristalamiento	Promedio de flujo de aire inducido de 0.13 a 0.28 m3/s
2006	Harris, Helwig	Reino Unido	Sim	Ángulo de inclinación Doble acristalamiento Superficie bajo emisiva	Inclinación óptima: 67.5° a Lat. 52° 10% más eficiencia usando superficie bajo emisiva
2006	Mathur, Mathur, Anupma	India	Num Exp	Ángulo de inclinación	Inclinación óptima: 40° a 60°
2006	Miyazaki, Akisawa, Kashiwagi	Japón	Sim Num	Efecto en la carga térmica de refrigeración y calefacción	Reducción en ventilación: 50% Reducción en Calefacción: 20%
2007	Chungloo, Limmeechokchai	Tailandia	Exp	Chimenea solar inclinada + Refrigeración por aspersión	Reducción de temperatura interior de 1.4 a 3.0° C
2007	Marti-Herrero, Heras-Celemin	España	Num	Ventilación nocturna Inercia térmica	Absorbente de concreto: temperatura máx. 2 horas de retraso por inercia térmica
2008	Bassiouny, Koura	Egipto	Sim Num	Abertura de entrada de aire Sección de la cámara de aire	Incremento de abertura: 11% más flujo Incremento de sección de cámara de aire: 25% más renovaciones de aire
2008	Sakonidou, Karapantsios, Balouktsis, Chassapls	Grecia	Exp Sim	Ángulo de inclinación Herramientas simulación CFD	CFD Fluent mantuvo alta concordancia con resultados numéricos y experimentales
2009	Ho Lee, Strand	E.U.	Sim Num	Altura de chimenea Absortancia solar Transmitancia solar Sección de cámara de aire	Parámetro más incidente: altura de la chimenea y el menos incidente: la sección de la cámara de aire
2009	Arce, Jiménez, Guzmán, Heras, Alvarez, Xamán	México	Exp Sim	Temperatura de aire CHS Flujo de aire	Incremento de 7°C al interior CHS; Flujo de aire promedio: 177 m3/hr con 604 W/m2 de RS.
2009	Chungloo, Limmeechokchai	Tailandia	Exp Sim	Inclinación CHS Cubierta metálica refrigerada	Reducción: 0.5 a 0.7°C de temperatura interior e incremento flujo de aire: 12%
2010	Yusoff, Salleh, Adam, Sapiain, Sulaiman	Malasia	Exp Num	Combinación de CHS de cubierta con CHS vertical	Diferencia de temperatura de 9.9°C, impacto del factor viento significativo
2010	Maerefat, Haghighi	Irán	Num Exp	CHS inclinada en combinación con Intercambiador de calor	Mayor altura de CHS incrementa eficiencia de Tubos de Enfriamiento
2011	Zhai, Song, Wang	China	EA	Sistemas solares activos y pasivos	Estado del Arte
2011	Khanal, Lei	Australia	EA	Geometría CHS Ángulo inclinación CHS	Proceso de transferencia de calor Mecánica de fluidos Condiciones térmicas habitación
2012	Saifi, Settou, Dokkar, Negrou, Chennouf	Algeria	Exp Sim	Ángulo inclinación CHS Sección de cámara de aire	Ángulo inclinación óptimo: 45° Cámara de aire óptima: 30 cms
2012	Tan, Wong	Singapur	Exp Sim	Velocidad de aire interior Posición de la CHS Temperatura interior	Velocidad máx: 0.49 m/s Enfriamiento interior 1 a 2 hrs más rápido
2013	DeBlois, Bilec, Schaefer	E.U.	Sim Num	CHS integrada a cubierta Paneles fotovoltaicos Ventilación nocturna	Validación CFD a cálculo numérico Ventilación nocturna producida por flotabilidad térmica
2013	DeBlois, Bilec, Schaefer	E.U.	Sim	CHS inclinada en cubierta Comparativo: ventilación cruzada y estándar	Reducción de hasta un 70% de demanda de refrigeración con sistema combinado
2013	Koronaki	Grecia	Sim	Ventilación nocturna Inercia térmica Configuración CHS	Máxima eficiencia: altura: 6 m, ancho: 3 m, cámara aire: 0.20 m, espesor hormigón: 0.10 m, orientación: oeste

**Ilustración 1.** Lista cronológica de artículos publicados que estudian la chimenea solar.  
Fuente: Science Direct (Elsevier)

En esta línea de sistemas combinados la investigación experimental de Ding-Hasemi-Yamada propone el estudio del sistema de chimenea solar y una fachada ventilada, analizando su comportamiento en un software CFD y un modelo a escala simulando un edificio habitacional de varios niveles, concluyendo en la variabilidad de eficiencia del sistema de acuerdo a la posición y altura de la entrada de aire.

Por último, se enuncian los experimentos y modelizaciones CFD del rendimiento de la chimenea solar como aportación complementaria a sistemas activos de acondicionamiento climático, siendo el caso del estudio realizado por Khedari-Rachapradit-Hirunlabh concluyendo el incremento en confort térmico y ahorro energético en un prototipo de habitación que opera con aire acondicionado y el rendimiento alcanzado con la aportación de disipación de calor de la chimenea solar.

## **1.5. Marco Teórico**

Cuando se diseña un edificio, uno de los aspectos primordiales es lograr integrar el bienestar térmico, la ventilación, la iluminación natural etc. Para ello es necesario conocer las variables bioclimáticas, con miras a un desarrollo sostenible. Se plantea contar con técnicas de acondicionamiento ambiental pasivo adaptadas al entorno, optimizando el aprovechamiento de los factores climáticos, como el sol, la temperatura, el viento y la radiación; cuando sean favorables y su modificación o protección cuando sean perjudiciales. Las técnicas pasivas en la climatización son aquellas que ayudan a disminuir las ganancias de calor en una edificación, sin necesidad de un consumo energético de sistemas convencionales de HVAC<sup>1</sup>.

Un edificio de consumo energético cero o casi cero es un edificio con un alto nivel de eficiencia energética, donde la ya reducida cantidad de energía requerida tendría que ser cubierta por energía procedente de fuentes renovables. El objetivo en este proyecto es aplicar en el CRAI, la minimización de la cantidad de energía eléctrica.

En este contexto los procesos de climatización tienen gran importancia pues en la

---

<sup>1</sup> sistemas de climatización, ventilación y aire acondicionado

región Costa, un edificio destina más del 60% de su demanda energética a satisfacer los requerimientos de climatización. Para obtener un edificio de consumo energético cero se propone suplir la demanda térmica mediante colectores térmicos solares en la cubierta y almacenamiento geotérmico en el subsuelo además de optimizar el cerramiento.

El propósito de concebir un edificio dentro de la universidad de consumo energético cero, el cual se plantea una serie de desafíos tecnológicos y de técnicas, que han de llegar hacer un reto y factor motivador para el sector de la educación. Para alcanzar los objetivos de energía cero debe cumplirse que:

- La demanda estándar de energía de la edificación se reduzca entre un 60% y 90%.
- La generación in situ de energía procedente de fuentes renovable.

La **Tabla 1** muestra las principales estrategias a seguir en la obtención de una edificación de alta eficiencia o de energía cero, no solo en la climatización, sino también en otras áreas de consumo energético de una edificación.

**Tabla 1.** *Directivas esenciales en la concepción de edificios de alta eficiencia o energía cero.*

<b>Abastecimiento de energía</b>		<b>Estrategias de eficiencia energética</b>		<b>Herramientas y monitorización</b>	
<b>Fuentes Renovables de energía</b>	<b>Integración en red</b>	<b>Medidas de eficiencia energética</b>	<b>Medidas de Diseño Pasivo</b>	<b>Herramientas computacionales</b>	<b>Monitorización</b>
Solar térmica	Gestión de frío y calor residual	Aislamiento térmico avanzado	Optimización del diseño arquitectónico	Herramientas de diseño integrado	Vigilancia del consumo y el confort

Solar fotovoltaica	Integración de la electricidad a la red	Sombreamiento inteligente	Optimización de la iluminación natural	Simulación y diseño energético	Sistemas de obtención de datos
Biomasa y/o biocombustibles	Redes inteligentes	Almacenamiento activo de energía térmica	Almacenamiento pasivo de energía térmica	Herramientas de gestión energética	Sistemas de gestión y control
Mini eólica	Almacenamiento de energía eléctrica	Sistemas de control avanzados	Estructuras termoactivas	Herramientas de gestión económica	Gestión de las cargas internas
Bomba de calor geotérmica		Equipos de elevación eficientes			Información sobre la ocupación
Refrigeración solar		Sistemas de iluminación eficientes			

### 1.5.1. TERRAZAS VERDES

La definición más simple de un techo verde es vegetación creciendo sobre la cubierta de un edificio (Coffman, 2017). No obstante, en los últimos años se menciona los techos verdes, —también conocidos como techos ecológicos, techos vegetados, techos ajardinados— como una tecnología naciente para mitigar el efecto de Isla de Calor Urbana, o como una tecnología para la construcción de cubiertas que incluye las plantas como un material importante (Getter, 2008).

En estos conceptos, no se incluye a las azoteas o terrazas que tienen plantas sembradas en maceta o en contenedores. Para ser considerados terrazas verdes deben ser implementados de acuerdo a la tecnología específica desarrollada para el cultivo de plantas sobre las cubiertas.

El montaje de una terraza verde representa un peso extra para la estructura del edificio, por lo que es importante, en primera instancia, verificar que la estructura del edificio tenga las condiciones necesarias para soportar dicho peso extra. Adicionalmente, el desarrollo de una capa vegetal sobre la cubierta, conlleva riesgos que pueden ser provocados por la humedad acumulada en capa vegetal y sustrato, así como posibles daños causados por las raíces de las plantas que están creciendo sobre la cubierta.

Para controlar y evitar los riesgos sobre la estructura de la edificación a causa de la presencia del techo verde, se ha desarrollado una tecnología consistente en una estructura multicapas que es tendida sobre la superficie de la cubierta, y sobre la cual se dispondrá el sustrato que soportará a la capa vegetal. Los componentes de esta estructura multicapas para la implementación del techo verde, pueden ser agrupados en 3 grupos, atendiendo a su función. (CHANG, 2018).

**Componentes Activos:** Que constituyen la parte viva de los techos verdes: la capa vegetal y el sustrato. Llamados activos porque van a presentar cambios constantes durante la vida útil del techo verde.

Capa vegetal. Compuesta por las plantas que deben ser cuidadosamente seleccionadas de acuerdo al clima, el diseño estructural, requerimiento y costos de implementación y mantenimiento. Considerando que los techos verdes tienen en general una capa delgada de sustrato, se debe seleccionar plantas cuyo sistema radicular no sea pivotante, sino que tenga un desarrollo horizontal y poco profundo; que sea tolerante a condiciones de sequía prolongadas.

Las especies más usadas en Norte América y Europa para la implementación de los techos verdes, pertenecen al género *Sedum* spp., especialmente para los techos extensivos. (ABAD, 2015).

**Sustrato o medio de cultivo.** Corresponde a la matriz sobre la que se desarrollará la capa vegetal. Además, juega un papel importante en la captación y almacenamiento



del agua de lluvia, que es uno de los beneficios de mayor expectativa de esta tecnología.

El sustrato puede variar en cuanto a la composición y estructura de materiales. Con el fin de lograr el menor peso y la máxima porosidad posible, se ha venido usando un material producido sintéticamente, que es la arcilla expandida, que es menos densa y más porosa y absorbente que los minerales naturales (WARK, 2017).

La arcilla expandida es también empleada en los cultivos hidropónicos. No obstante, también se usa suelo natural, especialmente para la implementación de los techos verdes intensivos cuyos servicios prioritariamente esperados son de tipo estético.

### **1.5.2. CONFORT TERMICO**

De acuerdo con Víctor Fuentes Freixanet, entendemos este término como un estado mental y físico en el cual un ser humano encuentra bienestar en el ambiente que lo rodea. El confort “se refiere a un estado de percepción ambiental momentáneo (casi instantáneo) que se encuentra determinado por factores externos e internos”. (TAVERA, 2019).

La primera variable que influye para considerar si un espacio se encuentra confortable es la temperatura de bulbo seco del aire entendida como el nivel térmico que alcanza un elemento, en este caso gaseoso. Este elemento se compone de moléculas que se mueven continuamente y poseen una energía que al sumarse es conocida como energía térmica, la temperatura es la medida de esa energía.

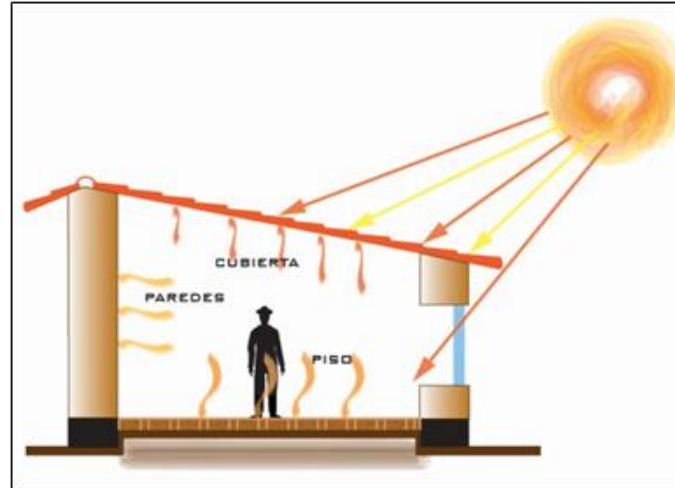
El INAMHI<sup>2</sup> en su anuario meteorológico la define como aquella temperatura que se mide en un termómetro expuesto al aire y protegido de la radiación solar directa. Para este estudio será registrada en grados centígrados (°C).

La siguiente variable por considerar es la temperatura radiante, se trata de aquella que

---

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

en la cual también influyen las temperaturas de las superficies de los cuerpos que se encuentran dentro del espacio estudiando y su pérdida de calor por radiación, debido a que influirán en la sensación térmica del usuario.



**Ilustración 2.** Temperatura radiante

**Fuente:** Elaboración propia

La humedad relativa del aire, según la Guía de Arquitectura Bioclimática del Instituto de Arquitectura Tropical, es una relación entre la cantidad de vapor de agua contenido a la temperatura ambiente y la máxima cantidad del mismo que puede contener el aire a la misma temperatura

Para el INAMHI, es una relación, que expresa en porcentaje, entre la fracción molar de vapor de agua en el aire y la fracción molar que le correspondería cuando el aire se hubiera saturado con respecto al agua, a una presión y temperatura dadas.



**Ilustración 3.** Humedad relativa del aire

**Fuente:** Elaboración propia

En nuestro caso será relación entre la cantidad de vapor de agua contenida en el interior del espacio estudiado, bajo las condiciones de temperatura del mismo, y la cantidad de vapor de agua.

La variable llamada velocidad del viento se refiere al movimiento del aire con respecto a la superficie (INAMHI), posee dirección y velocidad, se mide en metros por segundo y al interior de los espacios sigue las direcciones de las aperturas que permiten su ingreso.



**Ilustración 4.** Velocidad del aire

**Fuente:** Elaboración propia

Se entiende confort térmico como aquella sensación que produce satisfacción con el ambiente térmico del local que se habita, según la ISO 7730 “es una condición mental en la que se expresa satisfacción con el ambiente térmico”, depende de parámetros externos como la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del aire y de parámetros internos como cantidad de ropa, metabolismo y actividad física desarrollada.

La precepción de ese bienestar que es el confort térmico se alcanza entonces al lograr el equilibrio térmico entre el balance de pérdidas y ganancias de calor que nos permita conservar nuestra temperatura corporal normal a 37°C

**Tabla 2.** Rango de Variables para Confort Térmico

*Rango De Variables Para Confort Térmico*

NORMATIVA INTERNACIONAL	NORMATIVA ECUATORIANA	TEMPERATURA DEL AIRE	TEMPERATURA RADIANTE MEDIA	HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE	VELOCIDAD DEL AIRE
ISO 7730	NEC 11 CAPITULO 13	18°C	18°C	40%	0 m/s
		26°C	26°C	65%	2 m/s

**Fuente:** Elaboración propia, 2018

De acuerdo con la norma INEN-ISO 11079, confort térmico será el equilibrio térmico en un rango de temperatura en la cual se siente agradable habitar en determinados espacios. Se vuelve sustancial analizar las condiciones ambientales de estos espacios, tales como humedad, temperatura, velocidad del aire. Respecto a los usuarios de dichos espacios, su tipo de actividad y vestimenta para poder evaluar su comportamiento respecto a los parámetros térmicos.

El artículo titulado: El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados (GOMEZ, 2009), propone la existencia dos enfoques para su medición. El cualitativo que surge del modelo de adaptación y en él lo determinante es el comportamiento humano y el cuantitativo generado a partir de los modelos de predicción y se determina por parámetros objetivos: la temperatura del aire, la temperatura radiante, la humedad relativa y la velocidad del aire.

Ante la imposibilidad de realizar un análisis exhaustivo del comportamiento humano de los usuarios, que requeriría un acercamiento mayor generando un ambiente adecuado que permita la recolección fidedigna de datos respecto a las horas y frecuencia de uso de los espacios que se estudian, se opta por usar modelos de predicción y su análisis cuantitativo.

### **1.5.3. CHIMENEA SOLAR.**

#### **Definición**

La Chimenea Solar es un sistema pasivo generador de movimiento de aire, siendo su motor principal la radiación solar; al estar adosada a una habitación por medio de un hueco inferior el aire interior de la habitación reemplaza al de la chimenea generando

este movimiento de aire; y de manera sucesiva por medio de un hueco en el extremo opuesto de la habitación el aire exterior penetra dentro de la habitación, generando un flujo de aire a través de estos volúmenes. Este sistema de ventilación se origina en el esquema de ventilación cruzada. (Mayhew, 2012)

### **Principios Físicos Fuerza Termal**

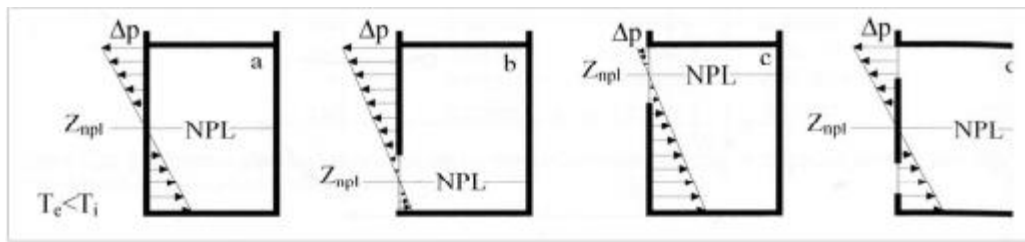
El flujo de aire a través de un edificio es inducido por los gradientes de presión a través del mismo. Estas diferencias de presión se producen mediante dos fuentes, la fuerza que ejerce el viento sobre el edificio conocida como fuerza de viento y los gradientes de temperatura entre el aire interior y el exterior, conocido como fuerza térmica.

En este caso de estudio analizaremos la fuerza térmica, que es el principio aplicable en la chimenea solar. Cuando la temperatura interior y exterior es distinta se presenta una diferencia entre sus densidades y los gradientes de presión vertical varían de acuerdo a su situación interior o exterior. (Santamouris, 2011)

En el caso de que en una habitación exista una sola abertura las presiones de aire se equilibran, por lo tanto, no existe un flujo de aire hacia el interior a pesar de la diferencia de temperaturas. La presión del aire por encima y debajo de una sola abertura varía con la altura y esta variación es proporcional a la densidad del aire, tanto en interior como exterior. Por lo que existirá una sobrepresión en la zona superior a la abertura y una depresión por debajo de ella, con un incremento directamente proporcional a la altura, de tal manera que esta ventana se convierte en el Nivel Neutral de Presión, y como el mayor diferencial de presiones se registran en los extremos de este vector vertical no es posible el flujo de aire hacia el exterior porque la zona de mayor sobrepresión no presenta ninguna posible salida. (Strand, 2019)

En el caso que existan dos aberturas, superior e inferior el Nivel Neutral de Presión se localizaría en el centro de la habitación en sentido vertical, por lo que los máximos diferenciales de presión se localizarían en los extremos, es decir, la sobrepresión superior provocaría la salida del aire caliente y la depresión inferior permitiría el acceso del aire más fresco gestionando de esta manera un flujo de aire vertical

ascendente. (Khedari, 2018)



**Ilustración 5.** Esquemas de ÍNDICE en diferentes configuraciones de aberturas en una habitación.

**Fuente:** Elaboración Propia.

### **Torres de Ventilación**

La principal función de las torres de ventilación es amplificar las fuerzas de impulsión naturales de viento y extender la profundidad del espacio donde operan los sistemas de ventilación cruzada. Los límites de la ventilación cruzada los define la geometría del propio espacio donde proveen el abastecimiento de aire, al implementar una torre multiplicamos la distancia de operación por medio de la columna de aire que nos permite la morfología del dispositivo. (Arce, 2017)

### **Efecto Chimenea**

El movimiento de aire producido por el efecto chimenea ocurre cuando las diferencias de temperatura causan diferencias de densidad en el aire y provocan diferencias de presión entre el interior y el exterior. Al modificar su densidad el aire más caliente tiende a elevarse y el más frío a reemplazar el vacío provocado por este desplazamiento. (Mathur, “Experimental investigations on solar chimney for room ventilation,”, 2019)

### **Estratificación Térmica**

La estratificación térmica parte del principio del cambio de densidad del aire, normalmente generada por dos causas principales: las diferencias de los gradientes de presión y temperatura en un espacio determinado, provocando el movimiento interno de las masas de aire, por lo que se origina un flujo en sentido vertical, el cual se verá incrementado si se suman los dos fenómenos. (Yarke, 2008)

Esta es la razón por la cual dentro de un espacio cerrado el aire caliente se posiciona en la parte superior al presentar una menor densidad y el aire más fresco se estaciona en las partes inferiores al presentar mayor densidad, resultado del fenómeno gravitacional.

### **Chimenea Termal**

Las chimeneas termales utilizan las fuerzas de flotabilidad térmica generadas por las diferencias de temperatura y densidad en un espacio en función de impulsar una circulación vertical de aire a través de su envolvente. Las diferencias de temperatura son causadas por las ganancias térmicas generadas por diversos factores: ocupación, radiación y conducción. (Hasemi, 2005)

El propósito de las chimeneas termales es remover el aire caliente viciado del interior de los edificios. En este caso la chimenea termal es un repositorio de aire caliente, que de forma natural se ubica en las zonas superiores de los edificios, permitiendo así la extracción de aire caliente por medio de sus aberturas, para completar el ciclo es necesario un ingreso de aire fresco por algunas aberturas inferiores.

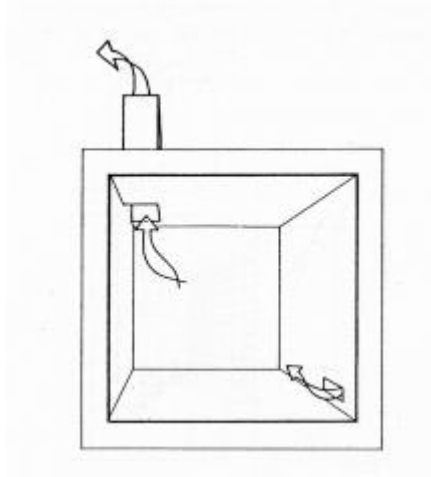
### **Chimenea Solar**

La chimenea solar amplifica los fenómenos diferenciales de temperatura, densidad y presión, permitiendo que el flujo y la velocidad de la columna de aire se incrementen proporcionalmente al diferencial de gradientes.

Para incrementar la temperatura del aire al interior de la chimenea se aplica el fenómeno del efecto invernadero, captar la máxima radiación solar posible a través de un acristalamiento en función de absorber esta energía en una superficie oscura y posteriormente transformarla en calor, este calor será transmitido al aire interior por efectos convectivos, al aumentar gradualmente su temperatura en el recorrido del tiro de la chimenea irá disminuyendo su densidad y progresivamente aumentando su desplazamiento a capas superiores. (Koenigsberger, 2009)

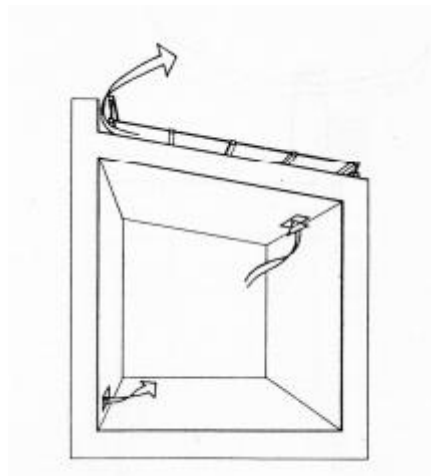
El siguiente factor que afecta el flujo de aire es la distancia entre la abertura de salida superior y la de entrada inferior, a mayor distancia de su Nivel Neutral de Presión los

gradientes de temperatura y presión serán mayores provocando caudales de salida y entrada más altos.



**Ilustración 6.** Efecto Chimenea.

**Fuente:** Clima, Lugar y Arquitectura. Serra, Rafael.



**Ilustración 7.** Efecto de cámara solar

**Fuente:** Clima, Lugar y Arquitectura. Serra, Rafael

### **La Chimenea Solar como estrategia 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.

La velocidad del flujo de aire interior es la que nos 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. (Givoni, 2017)

La chimenea solar es un dispositivo que su 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 relativa elevadas. Relación con la Ventilación Natural. La ventilación influye en el funcionamiento de la chimenea solar debido a que para el funcionamiento de la chimenea se emplean estrategias para sistemas de ventilación pasiva natural. (Mitjá, 2013)

## **CAPÍTULO 2**

### **2. METODOLOGÍA.**

Dentro de nuestro estudio, se tiene determinada la viabilidad de instalaciones de técnicas pasivas que permita reducir los costos generados por la prestación del servicio de energía, en el presente estudio analizaremos los pasos para el montaje de terrazas verdes y de una chimenea solar que beneficiará a la comunidad universitaria.

#### **ACTIVIDADES A REALIZAR**

Aprovechar los niveles de radiación solar para la chimenea solar, garantizando así la generación de energía aun en horarios nocturnos donde no se obtiene luz. Y terrazas verdes para reducir el calor dentro de las instalaciones.

De acuerdo a lo anterior el proyecto se dividirá en las siguientes fases:

- Auditoria energética del CRAI.
- Diagnóstico de las técnicas pasivas del CRAI.
- Estado psicométrico del CRAI.

#### **PRIMERA FASE: DISEÑO CON RELACIÓN A LA CANTIDAD DE kW.**

Se debe establecer la cantidad de equipos conectados (lámparas, focos, computadoras e impresora), horas de servicio, porcentaje de eficiencia energética, que cubren con la demanda de la comunidad universitaria.

#### **SEGUNDA FASE: RECONOCIMIENTO DEL AREA A INTERVENIR.**

Identificar la ubicación del sitio donde será instalado la chimenea solar y terrazas verdes, tomar los datos de radiación solar de la zona, revisar posicionamiento del sol de acuerdo a la salida ESTE- OESTE, para determinar la ubicación de la chimenea solar y la terraza verde.

Realizar la demarcación del área a intervenir, para determinar el ángulo de inclinación y determinar la altura propuesta para los posteriores mantenimientos.

#### **TERCERA FASE: DISEÑO ARQUITECTÓNICO.**

El desarrollo de plano arquitectónico propuesto para la ejecución de obra civil para el posterior anclaje de la estructura para las terrazas verdes. La estructura va soportada con zapatas y flejes para soportar el peso de las terrazas.

#### **CUARTA FASE: LOGÍSTICA DE EQUIPOS**

Se puede coordinar la compra de los materiales y puestos en sitio con el proveedor con su nacionalización, dentro del plazo establecido.

### **DESARROLLO DEL TEMA**

Para determinar la cantidad de equipos que necesitamos para implementar las técnicas de energía, desarrollamos los siguientes ítems empleando los datos presentados a continuación:

#### **2.1. PRIMERA FASE: DISEÑO CON RELACIÓN A LA CANTIDAD DE kW.**

**Tabla 3.** Cantidad de consumo energético en lámparas y focos del CRAI

<b>Artefactos CC</b>	<b>A1 Cantidad</b>	<b>A2 Potencia (W)</b>	<b>A3 Uso (h/día)</b>	<b>A4 Energía (Wh/día)</b>
Lámparas	347	60	10	208200
Focos	127	30	10	38000
<b>Total</b>	474	90	20	853200

**Carga total diaria CC: 853200 Wh/día.**

## DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS EN CORRIENTE ALTERNA

<b>Artefactos CA</b>	<b>A6 Cantidad</b>	<b>A7 Potencia (W)</b>	<b>A8 Uso (h/día)</b>	<b>A9 Energía (Wh/día)</b>	<b>A10 Carga Pico</b>
Computadora	117	450	6	315900	0
Impresora	43	150	2	12900	0
Aire acondicionado	64	2180	10	1395200	0
Bombas	2	2600	10	52000	0
Fotocopiadora	8	600	3	14400	0
<b>Total</b>	134	5980	31	1790400	0

**A11= Carga total diaria CA:** 1790400 Wh/día

**A12= Factor inversor (CC – CA):** 1,2

**A13= Carga diaria CC equivalente (A11 x A12):**

$$1790400 \times 1,2 = 2148480 \text{ Wh/día}$$

**A14= Carga máxima pico (A6 x A7):**

$$134 \times 5980 = 801320 \text{ W}$$

## SEGUNDA FASE: RECONOCIMIENTO DEL AREA A INTERVENIR.

La ciudad de Milagro está ubicada en la región del Guayas; para este estudio nos posicionaremos en el edificio del CRAI, ubicado en las instalaciones de la Universidad Estatal de Milagro, situada en 18° latitud norte y 92° longitud oeste, con una altitud de 9 msnm. Presenta un típico clima tropical húmedo.

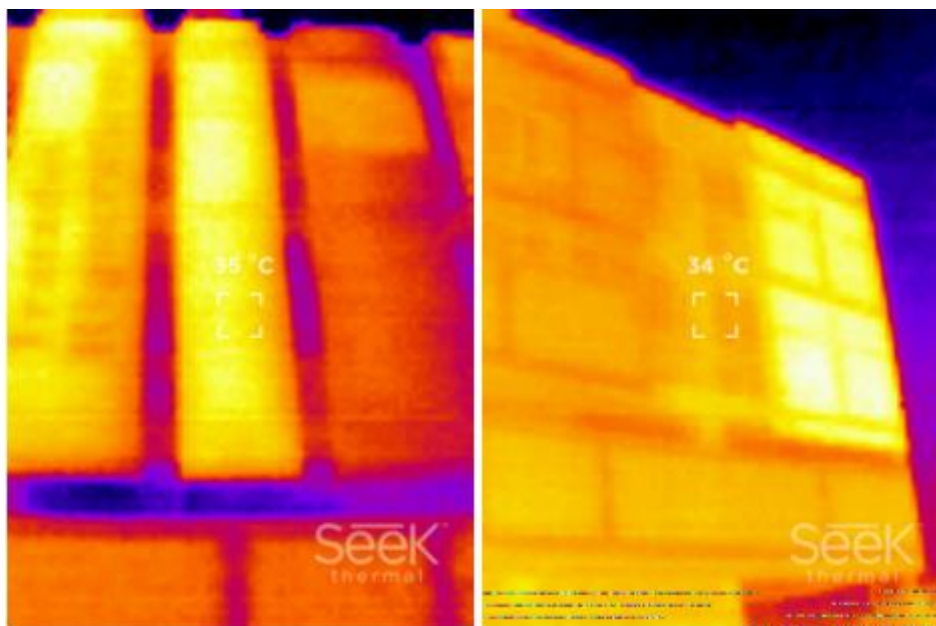
## **Temperatura**

La temperatura media anual es de 27°C, con una máxima media de 34°C y una mínima media de 25°C. Destacando que el mes con temperaturas máximas promedio más altas es mayo con 35°C, se midió la temperatura con una cámara termográfica, la cual registra la intensidad de la radiación en la zona infrarroja del espectro electromagnético y la convierte en una imagen visible

La cámara térmica es un instrumento radiométrico capaz de convertir radiación invisible en una imagen visible para el ojo humano. Por tanto, es importante destacar que la imagen térmica es una distribución de intensidades de radiación en el Edificio del CRAI.

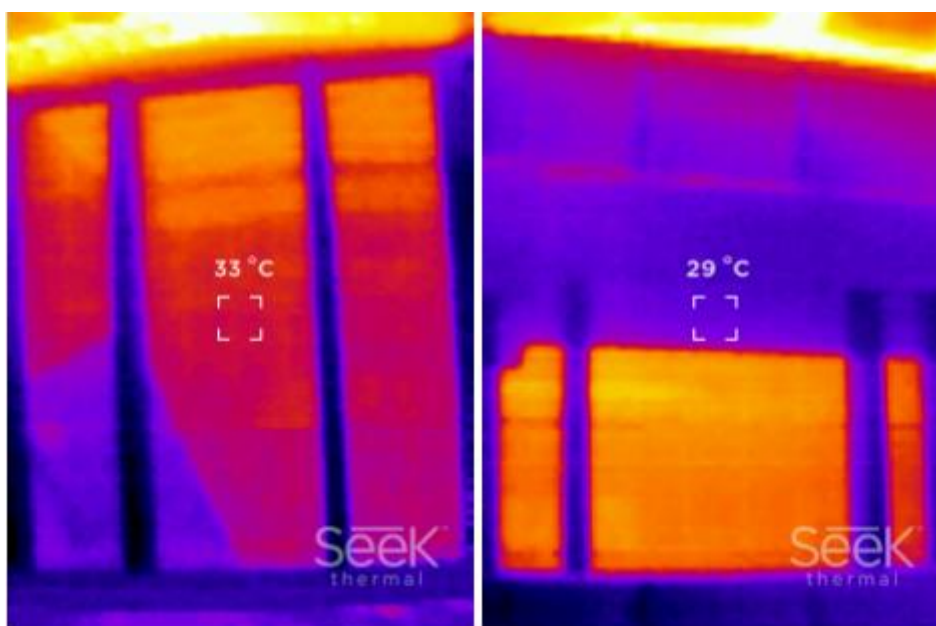
Para el análisis se siguieron los siguientes pasos:

- Inspección visual del edificio del CRAI
- Enumeración de los elementos a analizar
- Ubicación del elemento a analizar.
- Aplicación de la termografía pasiva ya que las diferencias de temperatura fueron suficientemente grandes, debido a que se evaluó los puntos de ingreso del aire exterior el cual tuvo una temperatura más baja que el interior de la edificación por lo que los ensayos se realizaron en horas de la tarde posterior al calentamiento generado por el sol durante el día.
- Procesado de imágenes
- Cuantificación y análisis termográfica.



**Ilustración 8.** Radiación Solar en el edificio del CRAI

**Fuente:** Elaboración Propia



**Ilustración 9.** Radiación Solar en el edificio del CRAI

**Fuente:** Elaboración Propia.

## Humedad

La humedad relativa promedio tiene muy poca variación a lo largo del año, presentándose un rango del 82% en abril y mayo hasta un 90% en los meses de diciembre y enero.

## Precipitación Pluvial

La media de precipitaciones anuales se sitúa sobre los 1900 mm. El período con mayores precipitaciones son septiembre y octubre registrándose valores superiores a los 300 mm mensuales y lo más bajos en marzo y abril con valores inferiores a los 50 mm mensuales. (Boonsri, 2010)

## Radiación Solar

La radiación solar media registra su cota más alta en el mes de abril con una media de 5,20 kW/hr/m<sup>2</sup>, y las condiciones más bajas de radiación se observan en diciembre con un valor medio de 2,66 kW/hr/m<sup>2</sup>. Estos valores son promedios diarios de potencia recibida en plano horizontal. (Limmeechokchai, 2014).

## Viento

Los vientos dominantes provienen del Noreste, con velocidades promedio de 5 a 8 km/hr, como se observa en la gráfica Wind Rose, tomada del edificio del CRAI.

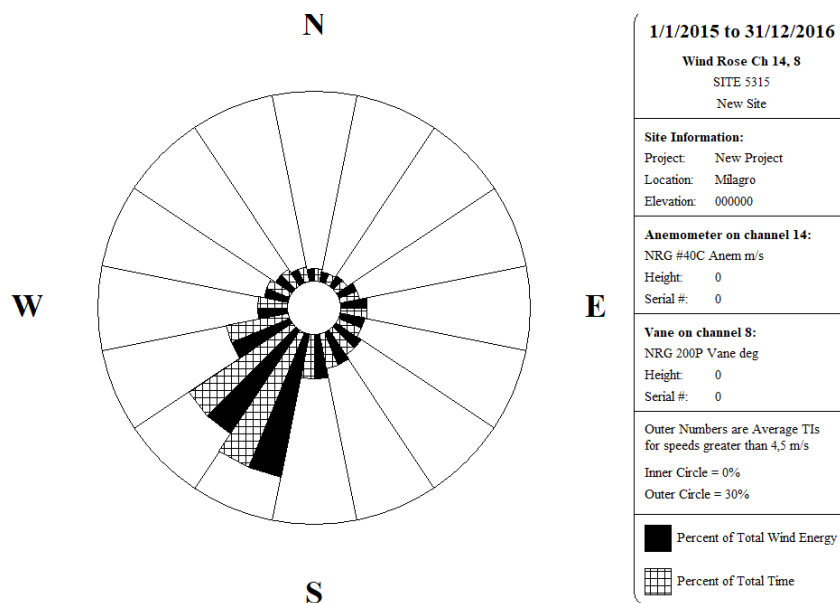
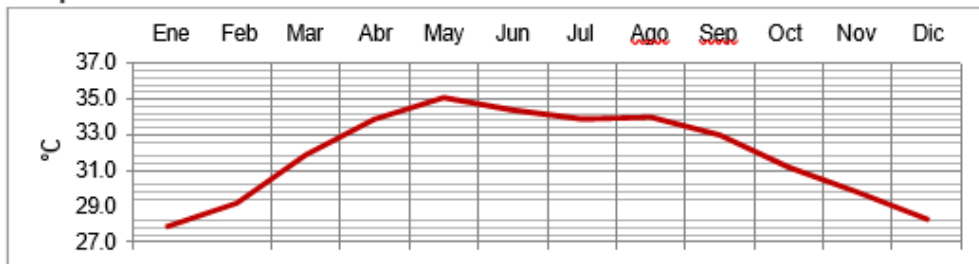


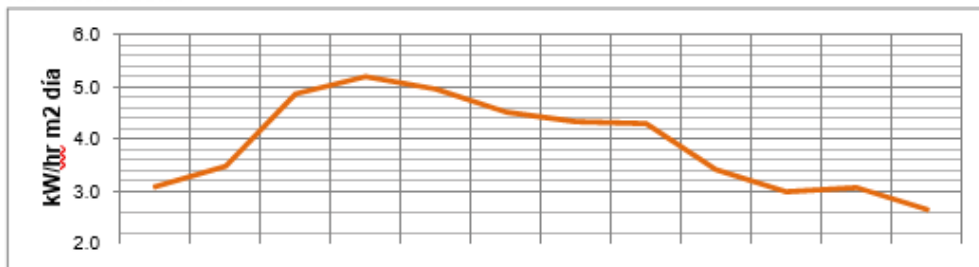
Ilustración 10. Grafica Wind Rose del edificio del CRAI

La mayor frecuencia de estos vientos dominantes se presenta en el mes de noviembre con un 42% y la menor frecuencia en el mes de febrero con un 17%; y con períodos de calma con una frecuencia del 30% en el período completo de un año. En las gráficas siguientes podemos observar el comportamiento anual promedio de la temperatura, radiación, humedad, precipitación y frecuencia de vientos.

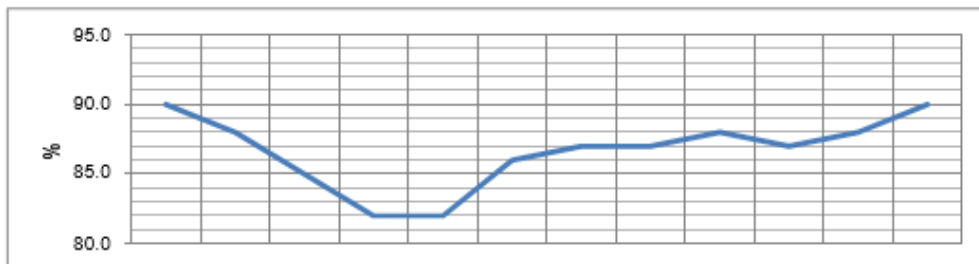
**Temperatura Media Máxima**



**Radiación Solar**

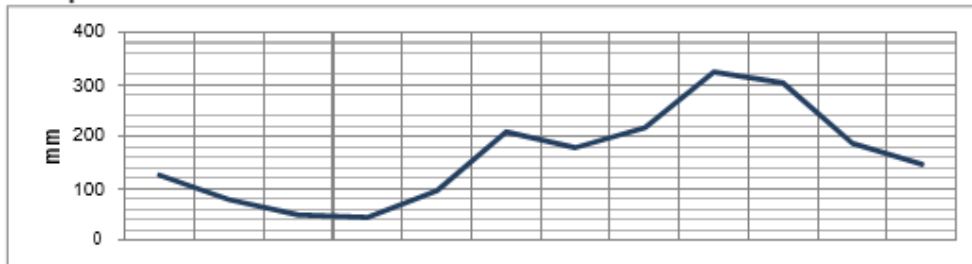


**Humedad Relativa**

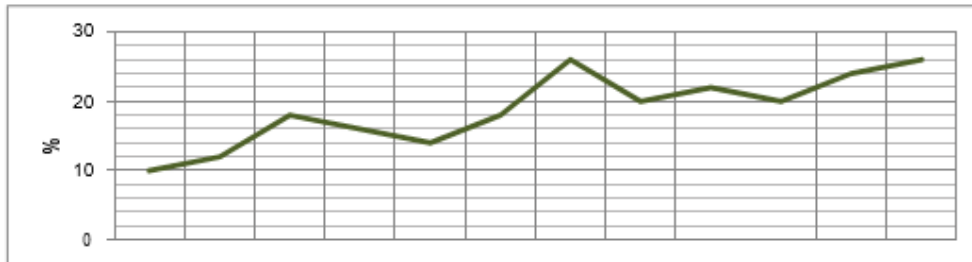




### Precipitación



### Frecuencia Vientos Predominantes



**Ilustración 11.** Datos climatológicos de la estación de la UNEMI

**Fuente:** Elaboración propia

El fenómeno climático está intrínsecamente relacionado, de tal manera que observamos los períodos de temperaturas más altas coincidiendo con los períodos de máxima radiación solar, así como se registran los valores más bajos de precipitación, humedad relativa y vientos predominantes.

En el siguiente gráfico implantamos los valores medios de temperatura y humedad relativa en el ábaco psicométrico de Baruch Givoni, para determinar las posibles estrategias de corrección en función de la zona de confort.

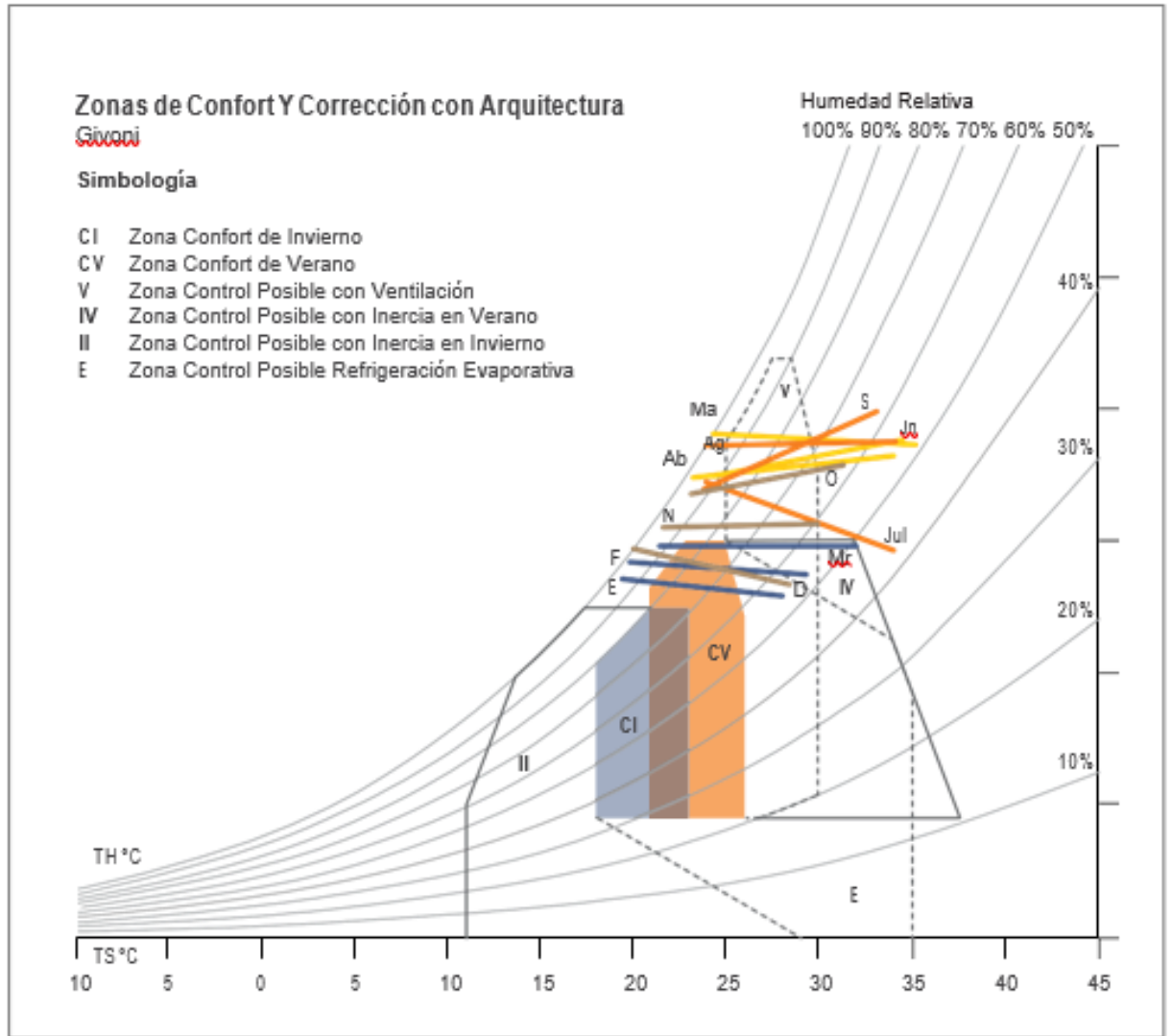


Ilustración 12. Ábaco psicrométrico de Baruch Givoni de la ciudad de Milagro

Fuente: Elaboración Propia

### TERCERA FASE: DISEÑO ARQUITECTÓNICO.

FICHA DE ANALISIS DE CASO		
Nombre:	<b>EDIFICIO CRAI</b>	
Año:	2021	
Area Total:	3660.0 m2	
Ubicación del Proyecto:	Milagro - Ecuador	
IDENTIFICACIÓN DEL ELEMENTO ARQUITECTÓNICO		
Función del edificio :		Biblioteca Universitaria
AUTOR DEL PROYECTO		
Nombre del Arquitecto:		Anónimo
DESCRPCIÓN DEL PROYECTO		

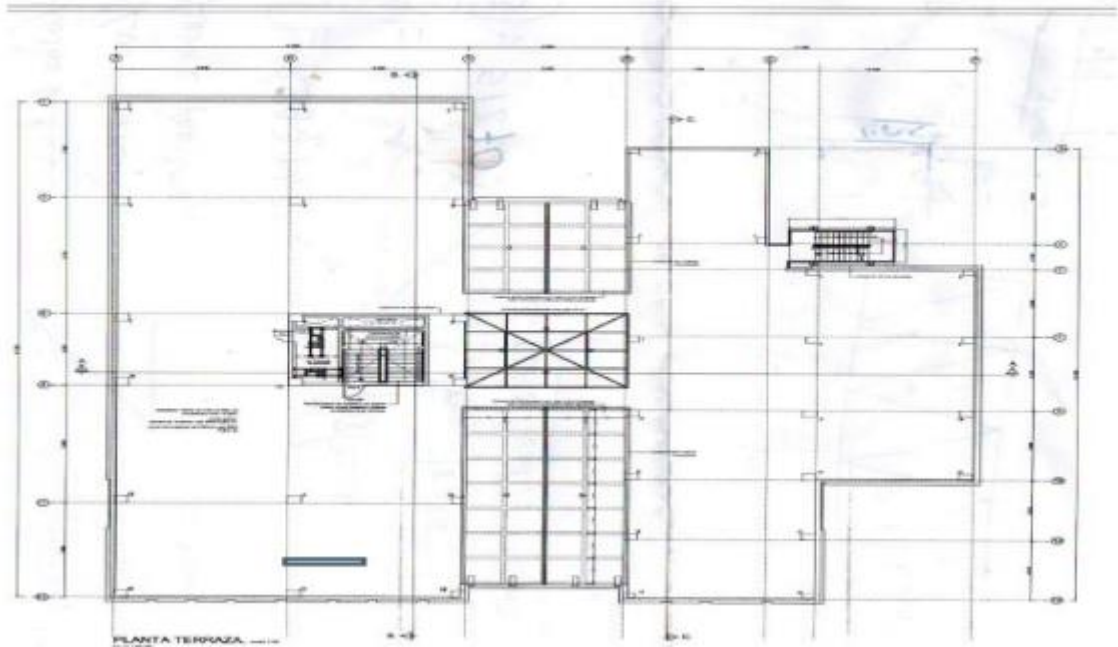
Contexto o descripción :		El nuevo edificio estará distribuido en 4 plantas, donde convergerán y se integrarán recursos documentales, infraestructuras tecnológicas, espacios y equipamientos diversos, recursos humanos, así como servicios (in situ o accesibles vía red) orientados al aprendizaje del alumno y a la investigación.	
Volumetría y tipología de planta :		Es un volumen ortogonal, su planta es rectangular.	
Zonificación / programa / organización :		El CRAI se proyecta con el objetivo de fomentar los estudios y la investigación en los estudiantes y docentes; tener espacios amplios de consulta, investigación, talleres, reuniones, trabajos grupales, mejorando el servicio al usuario.	
<b>RELACIÓN CON LAS VARIABLES DE INVESTIGACIÓN</b>			
<b>VARIABLE 1</b>		<b>VARIABLE 2</b>	
<b>ESTRATEGIAS PASIVAS DE VENTILACIÓN NATURAL</b>		<b>CHIMENEAS SOLARES</b>	
<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Indicador</b>	<b>Dimensión</b>
<b>Orientación</b>	Orientación de la composición volumétrica a favor del eje predominante de vientos.	Ubicación de vanos de entrada / salida en relación con los vientos dominantes.	<b>Captación de ventilación.</b>
<b>Captación</b>	Aplicación de estrategias volumétricas compositivas para reducir la falta de captación de viento en zonas con colindantes muy altos.	Uso de vanos basales para generar captación adecuada de aire.	
	Uso de una proporción y relación de llenos y vacíos adecuado a las condiciones climáticas.	Uso de estrategias de ventilación directa para el funcionamiento de la chimenea o torre de viento.	
<b>Desplazamiento</b>	Uso de vanos orientados al eje predominante del viento	Utilización de ventilación forzada para el buen funcionamiento de la chimenea solar.	
	Uso de estrategias para lograr una ventilación directa en espacios interiores.	Uso de la energía solar como recurso para mejorar la ventilación natural.	<b>Aspectos de diseño para el óptimo funcionamiento.</b>
	Uso de estrategias para lograr una ventilación cruzada en espacios interiores.	El uso de acristalamiento, como un receptor de la radiación solar, que se convertirá en un acumulador de energía	
Uso del Efecto chimenea para la adecuada renovación de aire.	Ubicación estratégica del eje principal/ torre ventilación para el correcto funcionamiento de la chimenea solar.		
<b>Elementos de distribución</b>	Uso del sistema torre viento para la adecuada renovación de aire.	Uso de una envolvente térmica como aislamiento en la torre, para incrementar su temperatura.	
	Uso de ventanas continuas para lograr un ingreso de adecuada ventilación directa	Uso de filtros en las entradas de aire para controlar el ingreso de micro partículas.	
<b>Protección</b>	Aplicación de tabiquería baja para lograr una correcta ventilación entre espacios contiguos.		
	Uso de filtros en vanos para controlar el ingreso de micropartículas al espacio interior.		

El proyecto cuenta con una gran chimenea solar donde el flujo de ventilación vertical a través del efecto chimenea se usa constantemente. El aire frío ejerce presión bajo el aire caliente forzándolo a subir, así como a la ventilación inducida. La piel exterior compuesta de elementos prefabricados de alta calidad permite conducir a una chimenea solar interna para refrescar el aire frío del exterior. (Coriolis, 2003)

Esto se hace con materiales simples que generan control de masa térmica y conceptos termodinámicos (fuerzas convexas y térmicas) que generan un cambio en la temperatura del aire fluido constante, del frío al cálido, creando corrientes de aire en los espacios de trabajo.

Se plantea que la edificación del CRAI debería tener un jardín en el último nivel para crear en él, un aislamiento térmico y además habilitar un espacio que no ha sido usado y ser un ámbito para el esparcimiento y finalmente poder recuperar el espacio verde

ocupado.



**Ilustración 13.** Plano de la Terraza del CRAI

**Autor:** Elaboración Propia

## **CUARTA FASE: LOGÍSTICA DE EQUIPOS**

- **Componentes Chimenea solar.**

El dispositivo chimenea solar geoméricamente es un cuerpo de sección rectangular con un coeficiente de esbeltez alto, este dispositivo está configurado por varios componentes que inciden en su desempeño, enunciándolos por sus características físicas se dividen en elementos de transmisión, captación, conducción y aislamiento más los controles de entrada y salida

### **Acristalamiento**

El primer componente es el acristalamiento, superficie de vidrio con un coeficiente de transmisión que permite el ingreso de la radiación solar al interior de la cámara de la chimenea.

### **Receptor**

Es la superficie interna de la chimenea, que funciona como un receptor de la radiación solar, su función es absorber la mayor cantidad de radiación por lo que su característica principal es el color oscuro negro mate, siendo este un cerramiento que se convertirá en un acumulador de energía térmica. La inercia de los cerramientos de la chimenea dependerá de las características de sus materiales y su composición.

### **Aislamiento**

La aplicación del aislamiento conforma una envolvente térmica, es decir, se utiliza en la parte externa de los cerramientos de la chimenea, cumpliendo dos funciones: por un lado es una barrera ofreciendo mayor resistencia al flujo de calor hacia el exterior, y de esta forma conservar la mayor cantidad de energía en el interior de la chimenea, incrementando de esta forma su temperatura; y por otra parte esta misma resistencia evita que el flujo de calor se transmita hacia el edificio adyacente.

### **Tiro de la Chimenea**

El cuerpo principal de la chimenea se conoce como tiro o fuste, que está compuesto de las superficies receptoras y una superficie transparente que permite la transmisión de radiación al interior, sus características principales son: esbeltez, estanqueidad y geometría rectangular.

### **Salida de Aire**

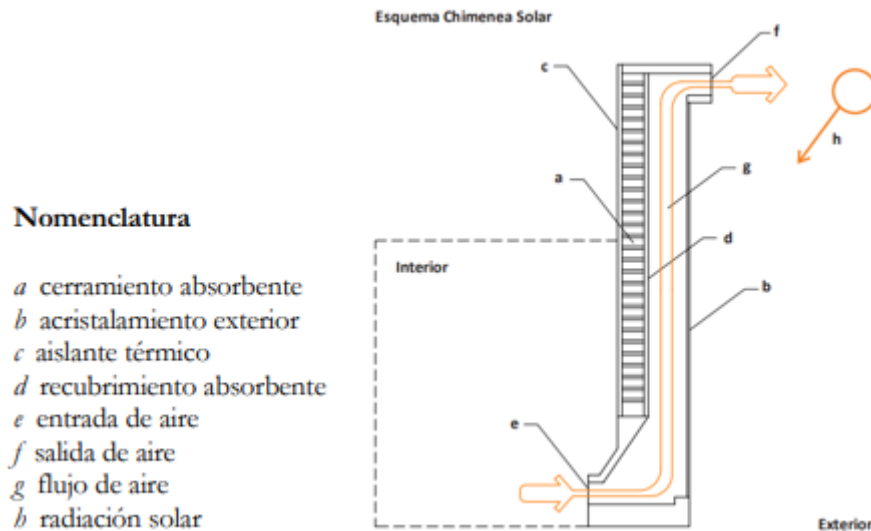
Para permitir la salida de aire del interior de la chimenea deberá existir una salida de aire superior por donde exhalará el aire precalentado en el cuerpo de la misma.

### **Entrada de Aire**

La función de la entrada de aire es 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 adyacente que se propone ventilar, y este espacio intermedio se alimentará de aire exterior por una siguiente abertura situada en la fachada opuesta de la chimenea.

### **Influencia del Diseño de Aberturas**

Los principales factores que afectan la velocidad del aire interior son el tamaño de las aberturas de entrada y salida de las mismas con relación a los vientos dominantes.



**Ilustración 14.** Esquema de componentes de la chimenea solar

### **Componentes Techos verdes.**

Son una serie de capas que deben ser tendidas sobre la superficie del techo o terraza, y sobre las cuales se coloca el sustrato. Cada una de estas capas cumple funciones específicas y, por tanto, son de diferentes materiales y texturas. La duración de estos componentes depende de su resistencia a las condiciones ambientales, a la humedad y a los agentes orgánicos como microorganismos y hongos. Estos componentes estables pueden aumentar en número, grosor y complejidad de acuerdo a los propósitos particulares de cada techo verde y de las condiciones estructurales del edificio, específicamente, de la cubierta.

### **Capa filtradora.**

Esta membrana es tendida por debajo del sustrato o medio de crecimiento y sobre la capa de drenaje. La membrana filtradora es de un material que permite el paso del agua, pero no permite el paso de partículas del sustrato, y sirve como barrera inicial contra las raíces. Este filtro generalmente está formado por dos capas de geotextil, una de las cuales puede ser tratada con algún inhibidor de raíces, como el cobre o un herbicida leve. Esta capa es esencial para asegurar la calidad del agua que sale del techo verde hacia el sistema de drenaje del edificio, y para evitar pérdida de volumen

y cambio en la textura del sustrato.

### **Capa de drenaje.**

Esta capa está por debajo de la capa filtradora y por encima de la membrana impermeabilizante. En esta capa se recoge el agua que ha llegado al techo y se ha filtrado a través del sustrato y de la membrana filtradora, y permite que fluya de forma lenta hacia el sistema de drenaje del edificio. Se trata de un material plástico corrugado, típicamente con un patrón de forma que se asemeja a una cubeta de huevos.

El grosor mínimo sugerido para esta capa de drenaje es usualmente 20 mm; una capa de mayor grosor puede dar mayor aislamiento, mayor restricción del paso de raíces, y una mayor capacidad de almacenamiento temporal del agua de lluvia.

### **Barrera anti-raíces.**

Protege al techo de las raíces agresivas que podrían penetrar la membrana impermeabilizante y causar filtraciones.

Puede ser una capa de PVC o polipropileno de alta densidad. Actualmente el mercado dispone de membranas impermeabilizantes que tienen incorporado un repelente de raíces, de modo que ya no sería necesaria la presencia de las dos capas.

### **Membrana impermeabilizante.**

El componente más importante de cualquier sistema de techado es la membrana impermeabilizante, que previene que el agua penetre al edificio y ocasione daños. Algunas membranas impermeabilizantes vienen con un repelente de raíces en la formulación del producto.

### **Capa de protección o panel de soporte.**

La estructura del techo necesita protección contra daños eventuales durante la instalación del techo verde, y posteriormente contra la acción de los fertilizantes y la posible penetración de raíces. La capa protectora puede ser una lámina de concreto ligero, una membrada de aislamiento rígida, una lámina de plástico grueso, una hoja de cobre, o una combinación de estos dependiendo del diseño particular del techo

verde y su aplicación o propósito principal. Algunos techos verdes extensivos no requieren de una capa protectora porque las especies vegetales que lo componen tienen sistemas radiculares cortos, de pequeño diámetro y no es agresivo, como la mayoría de especies del género Sedum.

**Capa aislante.**

En un clima cálido y seco, la protección térmica que provee la capa de vegetación, el sustrato y la capa de drenaje a menudo es suficiente para mantener una temperatura dentro del rango de confort al interior del edificio. Sin embargo, los códigos de construcción usualmente requieren un aislamiento adicional. Esta capa puede ser instalada por debajo o por encima de la membrana impermeabilizante.

**Barrera de vapor.**

Generalmente es una lámina que impide el paso de la humedad a través del techo.



## CAPÍTULO 3

### 3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Los costos que se indican en la tabla N° 4 son aproximados pero necesarios para invertir en la implementación de techos verdes. Como indica la tabla, se ha elaborado un costo aproximado de 80 por m<sup>2</sup> para dicha implementación, obteniendo un total de S/. 250.320,00 por 3129 m<sup>2</sup>. Se ha considerado cubrir solo el 40% de área promedio del techo del CRAI, la cual asciende a 3129 m<sup>2</sup>.

**Tabla 4.** Costos de implementar techo verde en el edificio del CRAI en la ciudad de Milagro

COSTO		
TECHO VERDE	Por m <sup>2</sup>	Por 1251 m <sup>2</sup>
Membrana	\$18,00	\$22.528,80
Estructura de Drenaje	\$21,00	\$26.283,60
Sustrato	\$16,00	\$20.025,60
Vegetación	\$25,00	\$31.290,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$80,00</b>	<b>\$100.128,00</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 5.** Gastos de implementar techo verde en el edificio del CRAI en la ciudad de Milagro

GASTOS		
TECHO VERDE	Cantidad	Costo Total
Mantenimiento	\$1,00	\$10,00

Fuente: Elaboración propia

El único gasto aproximado que se considera en la tabla N° 5 para la implementación de techos verdes es el de mantenimiento por un costo mensual de S/. 10, ya que los techos verdes no requieren de un mantenimiento continuo.

Para la evaluación del flujo de caja de la Universidad (Tabla N°6), se han determinado los siguientes supuestos:

- Los ingresos se han determinado en base al 30% de descuento en el monto pendiente de pago de arbitrios, considerando un pago mínimo de S/. 1,500 el primer año y luego con un incremento del 6% anual (porcentaje promedio de incremento del



Los equipos de ventilación que se van a tener en cuenta dentro del edificio del CRAI, a parte de la chimenea solar, son las opciones de recuperador de calor, un ventilador y dispositivos para utilizar el viento con el fin de tener en cuenta tanto la ventilación natural y la híbrida.

$$q^3 - q(ACd)^2 \left[ (\varepsilon - 1)(T_{ext} - T_{room})2gH\beta + \frac{\Delta P_{fan}(q)}{2\rho} + CpV_{wind}^2 \right] - 2(ACd)^2 gH\beta \frac{Q}{\rho c_p} = 0$$

Esta fórmula de tercer grado puede ser resuelta analíticamente. Se ha realizado un estudio de las diferentes condiciones para entender mejor el rango de acción de la chimenea solar y saber en qué casos su uso es recomendable y en cuales su aporte es nulo o insignificante.

- Diferencias de temperaturas externas e internas: En este caso se ve que el rango de acción de la chimenea es válido para un rango de temperaturas externas e internas de entre -5°C y 10 °C, fuera de este rango el caudal de aire no se ve afectado por la chimenea solar, por mucho que la radiación se la más alta posible.
- Altura de la chimenea: En este caso se ha comparado una altura de 20 m, mostrando un resultado excelente para diferencias entre la temperatura externa e interna inferiores a los 4°C, por encima de este rango de temperaturas el caudal de aire se reduce bruscamente y el uso de una chimenea se puede despreciar.
- Efecto del viento: Para este caso se observa que cuanto mayor sea la velocidad del viento, el efecto de la diferencia de temperaturas y de la chimenea se reduce, llegando el caso que para 10 m/s con un Cp de 0,25 la contribución del viento en el flujo de aire es mayor del 95%.
- Efecto del Cp: A velocidades bajas y moderadas, su efecto es más influyente que la propia velocidad del viento, además de tener una contribución mayor para una diferencia de temperaturas superiores a los 0°C. Para diferencias menores el efecto del viento no es tan influyente.

- Efecto de un recuperador de calor: El uso de intercambiadores de calor, además de mejorar la eficiencia del edificio del CRAI, es recomendable para casos en que la diferencia de temperaturas sea positiva ya que mejora sustancialmente el flujo de aire, mientras que, para diferencias negativas, su efecto no es propicio para el caudal de aire, ya que este se reduce. Si además se tiene en cuenta la pérdida de carga que un intercambiador tiene, su uso solo es aconsejable (siempre pensando en el flujo de aire), para una diferencia de temperaturas mayores a los 8 °C.

Para el diseño conceptual de la chimenea, se buscó la placa comercial de mayor altura para lograr que al área de recepción de radiación solar fuera mayor. Teniendo la altura de la placa definida, se precisó cuál era el ancho del canal que aumentará el flujo másico a través de la chimenea.

Con el fin de complementar los trabajos previos de mejoramiento de confort térmico en el edificio y mejorar el confort de los estudiantes de la Universidad Estatal de Milagro, se va a utilizar la solución de (Gomez, 2015) y al prototipo se le va a adaptar una película reflectora para mejorar la respuesta térmica y comprobar el funcionamiento en las instalaciones del CRAI.

Para desarrollar el prototipo se estableció que el material absorbente debería ser un metal con capacidad calorífica muy baja para que no se necesitara mucha energía para elevar su temperatura y con resistencia térmica muy baja, para que fuera capaz de liberar la energía almacenada muy fácilmente.

Otra de las características que se buscó fue que el precio de la lámina del material absorbente fuera económico y que su instalación fuera fácil ya que se tenía que hacer un soporte debido al peso del vidrio y de la lámina combinados.

**Tabla 7.** Propiedades de los materiales y precios

<b>Material</b>	<b>Densidad [Kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Cp [J/Kg*K]</b>	<b>K [J/Kg*K]</b>	<b><math>\alpha \times 10^5</math> [m<sup>2</sup>/s]</b>	<b>Precio Lamina + Precio material soporte [COP]</b>
<b>Aluminio</b>	2702	903	237	97,1	\$ 220
<b>Acero al carbono</b>	7854	434	60,5	17,7	\$ 145
<b>Hierro Galvanizado</b>	7870	447	80,2	23,1	\$ 132
<b>Acero Inoxidable</b>	8055	480	37,7	10,9	\$ 195
<b>Latón</b>	8530	380	110	33,9	\$ 410

**Fuente:** Elaboración propia.

Para escoger la placa absorbente se tuvo en cuenta todos los metales que fueran comerciales y que cumplieran los requisitos de transferencia de calor anteriormente expuestos. Posteriormente se tuvo en cuenta el precio de venta de cada material para evaluar la relación beneficio/costo de cada material.

El material escogido para la lámina receptora fue hierro galvanizado, debido a su relación beneficio/costo comparado con otros metales, ya que su precio es bajo y cumple con las características térmicas y físicas que se estaban buscando para construir el prototipo.

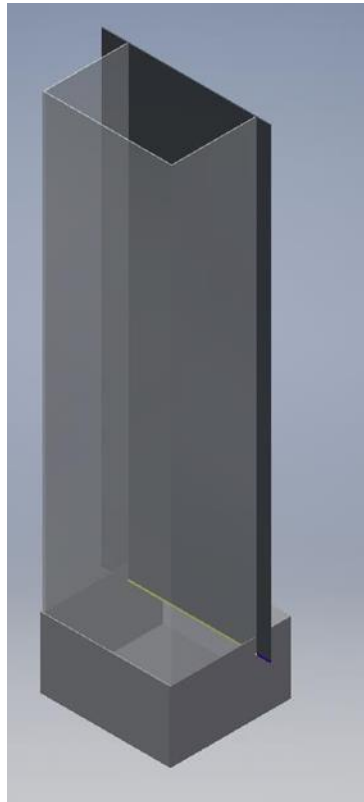
Posteriormente se estableció que los demás lados de la chimenea solar debían ser transparentes para que la radiación solar pudiera traspasar sin mayor dificultad y así la placa absorbente se calentara con mayor facilidad y a mayor velocidad.

Evaluando las características y los costos de diferentes materiales transparentes, se decidió que el material que se utilizaría sería vidrio normal, debido a su bajo costo y sus buenas características transmisión.

El soporte de la chimenea fue diseñado con el mismo material de la placa receptora

para facilitar su instalación, ya que se debe soldar la placa al soporte para que quedara fija a la estructura.

La Chimenea sería instalada en el costado occidental del CRAI, para intentar disminuir las altas temperaturas que se presentan en la tarde. El prototipo de chimenea, al estar en el costado occidental del edificio puede absorber la radiación de la tarde y así funcionar de manera óptima, considerando que, por las mañanas, las temperaturas son más bajas



**Ilustración 15.** Diseño conceptual del prototipo de chimenea solar

**Fuente:** Elaboración Propia.

Durante este proyecto de grado se realizó un análisis de transferencia de calor de la chimenea solar con el fin de comparar los resultados obtenidos experimentalmente con los resultados teóricos para optimizar las dimensiones de la chimenea y con ello la respuesta térmica en la vivienda.

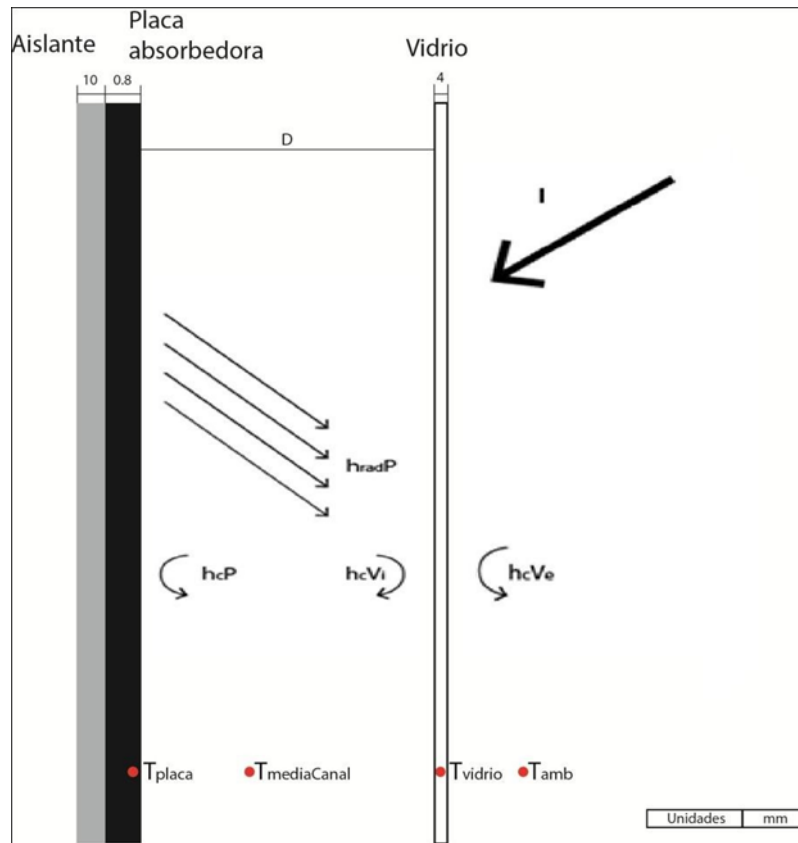
A continuación, se presenta las condiciones y variables que se tuvieron en cuenta para realizar el análisis de transferencia de la chimenea solar.

La intensidad de radiación solar es la fuente principal de la chimenea solar, para el análisis va a ir representada por  $(I)$ . El vidrio tiene una temperatura  $T_v$ , pero debido a que, su espesor es mínimo, se desprecia la conducción en él. La placa receptora tiene una temperatura  $T_p$  a una radiación dada.

La temperatura de la placa y del vidrio va aumentando con respecto a la altura de la chimenea, en ningún caso se mantiene constante. La temperatura del aire en el canal también va cambiando con respecto a su cercanía con la placa absorbidora. Por último, se toma la temperatura ambiente como  $T_{amb}$ .

Para hacer el análisis de transferencia de calor se hicieron las siguientes suposiciones:

- Condiciones estacionarias de operación.
- Flujo quitar permanente.
- Se considera el aire como gas ideal.
- La temperatura de la placa, el canal y el vidrio es igual en toda la superficie.
- La densidad de aire caliente es constante dentro de la chimenea.
- La presión atmosférica local es de 0,88 atm.
- Se utiliza la ecuación de flujo en la chimenea solar
- La transferencia de calor entre las placas y el aire dentro del canal se da por medio de Convección natural.



**Ilustración 16.** Modelo de transferencia de calor al interior de la chimenea solar.

**Fuente:** Elaboración Propia

El balance de energía en la placa:

$$Q_{solar} = Q_{radP} + Q_{convP} \quad [4]$$

El balance de energía en el Vidrio:

$$Q_{radP} = Q_{convVE} + Q_{convVI} \quad [5]$$

El balance de energía en el Canal:

$$Q_{convVI} + Q_{convP} = \dot{m} * Cp * \Delta T \quad [6]$$

El motor principal de la chimenea solar es la energía proveniente del sol, por lo tanto:

$$Q_{solar} = I_o * \cos\theta * \tau_v * [7]$$

Del libro de Beckman & Duffie (Beckman & Duffie, 2006) utilizamos la fórmula de radiación entre dos placas:

$$Q_{radP} = \frac{\sigma (T_P^4 - T_V^4) * (A_P)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_v} - 1} \quad [8]$$

Para hallar la constante de convección para la placa y el vidrio:



$$Q_{convP} = A hcP * (Tp - Tcanal) [9]$$

$$hcPlaca = \frac{Nu_{placa} * k}{Lc} [10]$$

La chimenea solar está compuesta de una placa receptora de hierro de 0,8 mm de espesor que está pintada de color negro mate para que logre absorber la mayor cantidad de radiación solar y maximizar la transferencia térmica hacia el ducto.

La placa receptora está aislada térmicamente en la parte inferior de atrás para evitar el traspaso de calor hacia la vivienda y en la parte superior no está aislada para aprovechar la radiación térmica de la mañana.

Las paredes laterales de la chimenea son de vidrio de 17 metros de alto, 1.2 metros de ancho y 8 milímetros de espesor. La parte frontal es de vidrio de 4 milímetros de espesor, 17 metros de alto y 1.2 metros de ancho.

La chimenea solar tiene un área interna de 20.4 metros cuadrados, un área suficientemente grande para dejar pasar el aire que va a absorber la chimenea. La entrada de aire está construida en hierro galvanizado para lograr soportar el peso del vidrio y de la placa sin que haya deformación.

La chimenea se debe instalar en la parte superior del edificio a una altura de 1.7m con el fin de succionar el aire de mayor temperatura debido a su densidad. Para realizar la instalación se debe construir un soporte como medida de prevención para no comprometer la estructura del edificio.

## CONCLUSIONES

Los techos verdes son una herramienta viable para la gestión ambiental en las áreas educativas. Sus beneficios cubren aspectos ambiental, social y económico, y tienen potencialidades todavía no bien comprendidas. Las investigaciones muestran que los techos verdes cumplen eficientemente la función de aislamiento térmico y, aplicados a gran escala, tienen un gran potencial para la mitigación del efecto de calor, así como para el manejo de las aguas de lluvia y la mitigación del síndrome de corriente urbano.

Se observa también el potencial de los techos verdes para mitigar el impacto de los asentamientos urbanos sobre la biodiversidad local. Sin embargo, para que las potencialidades de los techos verdes se concreten en beneficios para los usuarios directos, para las instituciones educativas y para el ecosistema, es indispensable que se impulse la investigación a nivel académico acerca de los detalles de su funcionamiento que tienen que ver con factores locales de clima, composición de sustratos, biodiversidad, costos de implementación y otros; y es necesario también, que se promueva la implementación de techos verdes a gran escala, mediante su incorporación en planes integrados de manejo en las áreas educativas, es decir, es fundamental el involucramiento de autoridades universitarias para su aplicación en otras universidades que cuenten con edificios.

- Se comprobó que la chimenea solar ayuda a aumentar el confort térmico de las VIS debido a que aumenta la velocidad de viento al interior del edificio, aumentando la sensación de confort de los estudiantes dentro de las instalaciones.
- Aparentemente la chimenea solar ayuda a controlar los picos de temperatura que se presentan al interior de los edificios, ya que para este proyecto dentro de un edificio con chimenea solar no se presentan crecimiento súbito de temperatura.
- Durante este proyecto se comprobó que no se necesitan radiaciones solares muy altas para que la chimenea solar funcione, debido que la mayor velocidad de viento dentro del edificio con chimenea solar no correspondía a los valores más altos de radiación. Para que la chimenea funcione se necesita poca

nubosidad y diferencias de temperaturas al interior de la chimenea y en el ambiente.

- Se analizó que las chimeneas solares son sistemas de enfriamiento pasivos de bajo costo, que, para el caso de edificios, pueden ser utilizadas para aliviar las altas temperaturas que se presentan en este tipo de viviendas y aumentar la velocidad de viento para refrescarlas.
- La chimenea solar es fácil de adaptar a cualquier tipo de edificio y su construcción se puede hacer con materiales comerciales que se obtienen fácilmente dentro del mercado ecuatoriano.

Cabe resaltar que la chimenea solar es un sistema no contaminante del medio ambiente, ya que no utiliza combustibles fósiles para su funcionamiento. Su fuente de energía es la radiación solar, la cual es inagotable, lo que hace que este dispositivo pueda ser usado por cualquier persona del mundo.

## RECOMENDACIONES

El tema de los techos verdes está en sus etapas iniciales en el Ecuador, lo que debería ser tomado como una oportunidad de inversión debido que su implementación es económica, ordenada, segura y orientada de acuerdo a las condiciones y prioridades locales.

Si bien hay aspectos que pueden aplicarse de modo general a los techos verdes independientemente de su localización geográfica, muchos aspectos requieren de una revisión detallada de las condiciones locales tanto en el ámbito ecológico, económico y social. Por este motivo, es importante que se promueva la investigación y el desarrollo de políticas, normativas y estándares locales para asegurar una implementación segura de los techos verdes, y que responda a los requerimientos prioritarios locales.

Es necesario crear espacios de comunicación y colaboración entre autoridades, planificadores, constructores e investigadores.

- Es recomendable la investigación de riesgos potenciales como la infestación de plagas en los techos verdes, y las medidas de control respectivas.
- Es recomendable la investigación sobre sustratos que incorporen material de suelo local para favorecer la biodiversidad.
- Investigar sobre las especies de plantas nativas que presenten las características requeridas para ser cultivadas en los techos verdes, y que resulten también atractivas para la fauna, especialmente aves e invertebrados como mariposas, abejas, y otros.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Bibliografía

1. ABAD. (2015). IMPLEMENTACION DE TECHOS VERDES GENERO SEDUM .  
*SCIELO*.
2. Arce. (2017). Experimental study for natural ventilation on a solar chimney. *Scielo*.
3. Bansal, M. B. (1993). Superficie del Colector Dimensión de Apertura.
4. Boonsri. (2010). Ventilation impact of a solar chimney. *Scielo*.
5. Bravo. (2015). *Climatización solar de edificaciones*. Obtenido de Centro Azucar.
6. CHANG. (2018). ESTRUCTURA MULTICAPAS PARA IMPLEMENTACION DE TECHOS VERDES. *SCIELO*.
7. Chew. (2012). Sección cámara de aire + RS + .
8. Coffman. (2017). TERRAZAS VERDES APLICADOS EN LA UNION EUROPEA .  
*SCIELO*.
9. Coriolis. (2003). Chimeneas solares en latinoamerica. *Scielo*.
10. Getter. (2008). TECNICAS DE TERRAZAS VERDES APLICADAS A EDIFICIOS MUNICIPALES. *SCIELO*.
11. Givoni. (2017). Climate and Architecture. *Scielo*.
12. GOMEZ. (2009). CONFORT TERMICO EN EL COMPORTAMIENTO HUMANO Y CUANTITATIVO GENERADO A PARTIR DE MODELOS DE PREDICCIÓN. *SCIELO*.
13. Gomez. (2015). Chimeneas Solares con peliculas reflectivas aplicadas en edificios . *Scielo*.
14. Greter. (2013). *Sistemas de aire acondicionado: compresion y absorcion* .
15. Harris, H. (2007). Ángulo de inclinación Doble acristalamiento Superficie bajo emisiva.
16. Hasemi. (2005). Natural ventilation performance. *Scielo*.
17. Khedari. (2018). Ventilation impact of a solar chimney. *Scielo*.
18. Koenigsberger. (2009). Edificios en zonas cálidas y tropicales. *Scielo*.
19. Limmeechokchai. (2014). The experimental and numerical analysis. *Scielo*.
20. Mathur. (2006).
21. Mathur. (2006). Altura del absorbente Sección.
22. Mathur. (2006). Altura del absorbente Sección.
23. Mathur. (2019). "Experimental investigations on solar chimney for room ventilation,". *Scielo*.

24. Mayhew. (2012). Manual de arquitectura bioclimática. *Scielo*.
25. Mitjá. (2013). La refrigeración natural de los edificios. *Scielo*.
26. Santamouris. (2011). Advances in passive cooling. Earthscan. *Scielo*.
27. Strand. (2019). Enhancement of natural ventilation in buildings. *Scielo*.
28. TAVERA. (2019). TECNICAS DE CONFORT APLICADAS EN ESPACIOS REDUCIDOS . *SCIELO*.
29. WARK. (2017). ARCILLA EXPANDIDA EN TERRAZAS VERDES. *SCIELO*.
30. Yarke. (2008). Ventilación natural de edificios. *Scielo*.

## **ANEXOS**

[Se colocan acá información secundaria o material importante que es demasiado extenso. El anexo se sitúa después de la literatura citada]