



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIA A LA  
OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO CIVIL**

“Adaptación e implementación de Sistema de calefacción sustentable en el sector Andino del Ecuador”

**Autor:** Daniel Fernando Loaiza Larreategui.

**Director:** Ing. Juan Carlos Moya, MG Sc.

Quito, diciembre del 2013

Yo, Daniel Fernando Loaiza Larreategui declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y, que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, sin restricción de ningún género o especial.



Firma

Yo, Ingeniero Juan Carlos Moya, MG Sc., certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto en su originalidad, autenticidad, como en su contenido.



---

Firma

## Contenido

CAPITULO I.....	vii
1.1 Introducción .....	vii
1.1.1 Planteamiento del Problema .....	viii
1.1.2 Objetivos .....	x
1.1.3 Justificación .....	xi
1.2 Introducción al Ámbito del Trabajo.....	xii
1.2.1 Energías Renovables en el Ecuador.....	xii
1.2.2 Generación Renovable Existente .....	xiii
1.2.3 Recurso Solar .....	xiv
1.2.4 Ideas a Defender .....	xvi
CAPITULO II .....	xvii
2.0 Marco Teórico .....	xvii
2.1 Energías Renovables en el Mundo .....	xvii
2.2 Energías Renovables .....	xx
2.3 Generación Renovable Existente .....	xxi
2.4 Energía Solar .....	xxiv
2.4.1 El Sol .....	xxv
2.4.2 Radiación Solar.....	xxviii
2.5 Sistemas de Captación Solar .....	xxxii
2.5.1 Sistemas Activos.....	xxxiii
2.5.2 Sistemas Pasivos .....	xxxiv
2.6 Sistema de Muro Trombe.....	xxxv
2.7 Energía Intercambiada .....	xliv
2.8 Efecto Invernadero .....	xlvi
2.9 Mecanismos de Liberación de Energía.....	xlix

2.10 Calefacción solar.....	I
2.11 Energía Solar Térmica .....	lii
2.11.1 Sistema de Captación Solar Térmica .....	liii
2.11.2 Clasificación de Captadores Solares Térmicos .....	liv
2.12 Otras Energías Renovables.....	lvi
2.12.1 Energía Fotovoltaica .....	lvi
2.12.2 Energía Eólica .....	lvii
2.12.3 Energía de la Biomasa.....	lviii
2.12.4 Energía Hidráulica .....	lix
2.12.5 Energía Undimotriz .....	lix
2.12.6 Energía Maremotecnica .....	lx
2.13 Unidades y Magnitudes.....	lxi
2.13.1 Coeficiente de conductividad térmica ( $\lambda$ ) .....	lxii
2.13.2 Resistividad térmica (R) .....	lxiv
2.13.3 Conductancia térmica ( $C_u$ ) .....	lxiv
2.13.4 Resistencia térmica interna( $R_v$ ) .....	lxiv
2.13.5 Pérdidas Horarias (Ph) .....	lxv
2.13.6 Superficie Útil (Sutil) .....	lxv
2.13.7 Coeficiente Global por pérdidas locales (F).....	lxv
2.13.8 Porcentaje de energía transmitida por el muro (r) lxvi	
2.13.7Calculo de las Ganancias de Calor en el Espacio (As)lxvi	
2.13.8 Coeficientes de Aportes Térmicos (C) .....	lxvii
2.13.9 Temperatura Media Interna. (Ti) .....	lxvii
2.14. Marco Regulatorio y Legislativo.....	lxvii
CAPITULO III .....	lxix
3.1 Metodología .....	lxix

3.2 Informe de Recolección de Datos. ....	lxxi
3.2.1 Aspectos Generales del Proyecto. ....	lxxi
3.2.2 Aspectos Específicos. ....	lxxvii
3.3 Población y Muestreo .....	lxxviii
3.4 Procedimiento de Construcción .....	civ
3.4.1. Instalación .....	civ
3.5 Análisis de Costos del Proyecto .....	cxii
3.5.1 Presupuesto de Costos Directos .....	cxii
3.5.2 Mano de Obra.....	cxiii
3.5.3 Equipos .....	cxiv
3.5.4 Materiales .....	cxv
3.5.5 Cronograma.....	cxvi
3.5.6 Gastos de Pared de COB vs Muro Trombe.....	cxviii
3.5.6 Costos por m2.....	cxix
3.5.7 Financiamiento .....	cxx
CAPITULO IV.....	cxxi
4.1 Conclusiones.....	cxxi
4.2 Recomendaciones.....	cxxiv
4.3 Bibliografía .....	126

# **CAPITULO I**

## **1.1 Introducción**

La utilización de la energía se ha convertido en una cuestión vital, desde que se descubre la generación energética, se busca la forma de aumentar su capacidad, disminuir su costo e impactar menos al ambiente. El Ecuador tiene las condiciones adecuadas para impulsar este sector estratégico, pero las bases que nos suministran no fueron diseñadas para cumplir la función de abastecimiento nacional, causando escasez y dificultad para que toda la población pueda tener acceso.

A partir de 1970 surge la idea de aprovechar la energía solar para complementar la energía en las ciudades y sobre todo en zonas rurales, donde el costo del tendido de los cables eléctricos aumenta, la energía solar es la mejor opción de electricidad.

Esta opción no es tan fácil de generar, ni en las mismas cantidades que se produce la energía convencional, sin embargo el aporte que puede causar es significativo y permite aligerar la presión en las bases abastecedoras de electricidad, países como Alemania y Estados Unidos, entre otros, poseen cierto liderazgo al tener las plantas solares, y sirven de ejemplo para que nosotros podamos crear proyectos de este tipo pues los estudios demuestran que si existe la viabilidad de hacerlo, pero las acciones no han sido del todo tomadas.

Este proyecto beneficiaría aquellas zonas en las que resulta difícil la instalación de plantas convencionales de energía

eléctrica, por lo que una inversión beneficiaria tanto al cuidado ambiental, como a la sociedad y su cultura. En las últimas décadas se ha desarrollado una proliferación de energías alternativas para implementar sistemas de calefacción sustentables, que sean viables para brindar abrigo y confort a las poblaciones que estén adyacentes, pues la calidad de vida de las personas, y su ecosistema, no debe verse degradado, entonces así como se tiene que considerar el ambiente y el daño que hay que evitar, también tiene que observarse el estilo de vida de las personas que conviven allí, buscando cubrir sus necesidades.

### **1.1.1 Planteamiento del Problema**

La población rural ubicada en la Región Andina del Ecuador se ve afectada gravemente por un fenómeno atmosférico denominado friaje que por lo general ocurre durante las madrugadas o con la salida del sol, si hay ausencia de lluvias y de vientos durante las noches de cielo despejado, afecta aproximadamente a 2'470.000 personas que están expuestas al frío.

La Región Andina está conformada por once provincias a lo largo de la cordillera de los Andes, en esta región encontramos volcanes, nevados, valles, quebradas, ríos torrentosos, lagos, cascadas y páramos. Según estudios constituye una de las zonas más riesgosas, porque esta zona se ve afectada por intensas lluvias, frío, heladas, sequías, precipitaciones y, por secuelas de aluviones e inundaciones asociados a cambios en la variabilidad climática.

En la Región Andina el período lluvioso se inicia en el mes de octubre y finaliza en el mes de mayo, son dos fechas de altas precipitaciones, el registro máximo de lluvias se determina que son los meses de marzo a abril, y el segundo valor máximo de lluvias se indica que es los meses de octubre o noviembre; es decir es una distribución BIMODAL. El período seco o verano se extiende desde el mes de junio a septiembre.

En Ecuador la zona andina posee grandes problemas por falta de planificación y ubicación de viviendas, alejadas de los servicios básicos, sin embargo la tecnología se encuentra en cuestión por los grandes problemas que la población posee para acceder a las propuestas energéticas, que generan un gran trecho a ser alcanzadas, tiene como limitante su nivel acentuado de pobreza, dicha población presenta un conjunto de falencias que limitan el fácil desenvolvimiento en el proceso de capacitación sobre tecnología sustentable que facilite su buen vivir, como por ejemplo la inexistencia de medios alternativos para satisfacer la necesidad de calefacción a un costo bajo y sin necesidad de electricidad.

Desde el punto de vista de los habitantes de esta zona, la falta de servicios básicos en sus viviendas, su nivel de pobreza, su aislamiento y su desinformación respecto a cómo lograr concretar un proyecto que pueda proveerle de energía, arroja la necesidad de elaborar un sistema de calefacción interna, con materiales a bajo costo y con facilidades de construcción, y sobre todo no contamina el ambiente.

## **1.1.2 Objetivos**

### **1.1.2.1 General.**

Adaptar e implementar un sistema pasivo de recolección de energía solar a través del dispositivo denominado muro Trombe para el calentamiento interno de una vivienda.

### **1.1.2.2 Específicos.**

- Elaborar un proyecto factible que permita adaptar e implementar la aplicación de la energía solar integrado en sistemas convencionales de sombreadores solares y cuya energía térmica captada contribuya para el calentamiento en condiciones estacionarias.
- Verificar las diferentes características de diseño del muro Trombe, montaje del prototipo definitivo y estudio experimental sobre la viabilidad económica y análisis ambiental del sistema de calentamiento.
- Capacitar a la población sobre la energía alternativa y muro Trombe, para implementar este sistema en la comunidad.
- Fomentar el uso de materiales de construcción que sean capaces de absorber energía calorífica por medio de charlas.

### **1.1.3 Justificación**

El bienestar humano debe estar al alcance de todos, no solo en términos geográficos sino económicos, por este motivo es indispensable que la energía tenga el menor costo posible, nunca tomamos en cuenta parámetros como el impacto y la posibilidad de renovación de los recursos que se utilizan para su generación.

Abrigo y confort, son condiciones con las que el ser humano tiende a desarrollarse mejor en todas sus áreas de trabajo y de vida. Sin embargo, existen situaciones extremas, como el implacable frío, que aletargan las labores diarias, ante esto, existe una alternativa estudiada, comprobada y es la instalación del calefactor solar conocido como muro Trombe.

En factores externos se puede señalar muy claramente el clima y la latitud, en el caso del clima se observa que en el Sector Andino del Ecuador existen lugares que no cumplen con las características básicas que es el confort acorde a la Normas Ecuatoriana de la Construcción.

Los factores internos de la misma manera son fundamentales para un buen desempeño del sistema, el muro o mampostería, depende del tipo de material que sea elaborado (Adobe, ladrillo, Hormigón Y COB), el tipo de material que se encuentra fabricado es muy importante porque determina la capacidad de conductividad térmica, el tipo de construcción que se esté utilizando en las viviendas existentes nos favorecerá o perjudicará en las distintas capacidades de conductividad.

La puesta en práctica del muro Trombe beneficiara a los habitantes de las viviendas rurales, en la región andina del Ecuador, con la intención de lograr básicamente incentivar el trabajo con un confort y de contrarrestar las bajas temperaturas ambientales que se tiene en estos lugares, contribuyendo con una estrategia pasiva de energía a bajo costo reduciendo la inversión y a corto plazo.

## **1.2 Introducción al Ámbito del Trabajo**

### **1.2.1 Energías Renovables en el Ecuador**

El Ecuador es un país que geográficamente se encuentra favorecido por el recurso solar, debido a que el ángulo de incidencia de la luz solar, es perpendicular en todo el territorio durante todos los días del año, situación que no se presenta en otros países donde la luz solar varía según las estaciones del año.

La influencia de la Cordillera de los Andes, que separa al Ecuador en tres regiones; Costa, Sierra y Oriente, hace que nuestro país tenga una gran variedad de recursos naturales renovables pero lastimosamente hasta la última década el más explotado por no decir el único ha sido el hídrico.

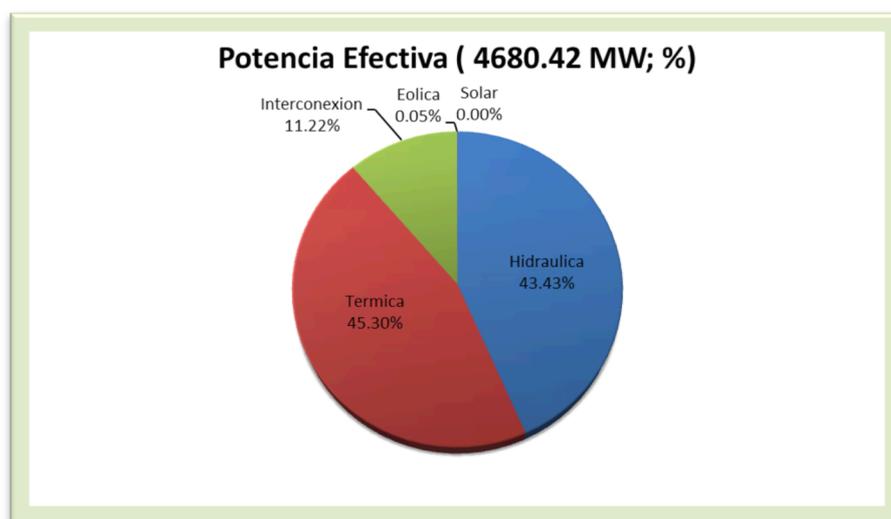
La falta de decisión de las diferentes autoridades de turno no han permitido el desarrollo de importantes proyectos hídricos y mucho menos la investigación y estudios de otro tipo de energías renovables. La crisis en la que se encuentra ya por más de una década tampoco ha contribuido al desarrollo de energías alternativas en el país. Si a esto le sumamos un

desconocimiento parcial o incluso total de las energías alternativas por parte de las diferentes autoridades de turno encontramos que el Ecuador se encuentra con un gran retraso en lo que se refiere energías renovables con relación a otros países.<sup>1</sup>

### 1.2.2 Generación Renovable Existente

Los datos sobre generación de energía renovable en nuestro país son muy escasos, el Consejo Nacional de Electrificación a través de su publicación anual "Estadística del sector Eléctrico Ecuatoriano del año 2012", demuestra los aportes en cuanto a energía renovable se refiere: Hídrica 43,43%, biomasa 2,02%, eólica 0,05% y solar 0.00043%.

**GRÁFICO 1. POTENCIA EFECTIVA**



Fuente: CONELEC; Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano, Primer Semestre del año 2012.

---

<sup>1</sup>CONELEC; ESTADÍSTICA DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO, PRIMER SEMESTRE DEL AÑO 2008.

### 1.2.3 Recurso Solar

En el país existen alrededor de 30 estaciones que registran brillo solar (horas de sol diarias) y estos valores son válidos para la determinación del potencial solar.

**TABLA 1. POTENCIAL SOLAR POR REGIONES**

<b>Región Interandina</b>	<b>Región Litoral</b>	<b>Región Amazónica</b>	<b>Región Galápagos</b>
Kwh/m <sup>2</sup> día 4.5	Kwh/m <sup>2</sup> día 3.5	Kwh/m <sup>2</sup> día 3.8	Kwh/m <sup>2</sup> día 5.2

FUENTE: TABLAS DEL CONELEC.

El hecho de encontrarse el Ecuador en el centro de la tierra ha permitido a nuestro país ser beneficiado directamente por la influencia de la irradiación solar. Toda la franja ecuatorial recibe la incidencia de los rayos del sol de forma perpendicular durante todo el año. La irradiación solar es prácticamente constante y de gran magnitud todo el tiempo. Si bien se pueden definir dos estaciones climatológicas en el año, esto no implica que el ángulo de incidencia de la irradiación solar varíe, como es el caso de los países ubicados al norte o al sur del globo terráqueo y que presentan cuatro estaciones climáticas.<sup>2</sup>

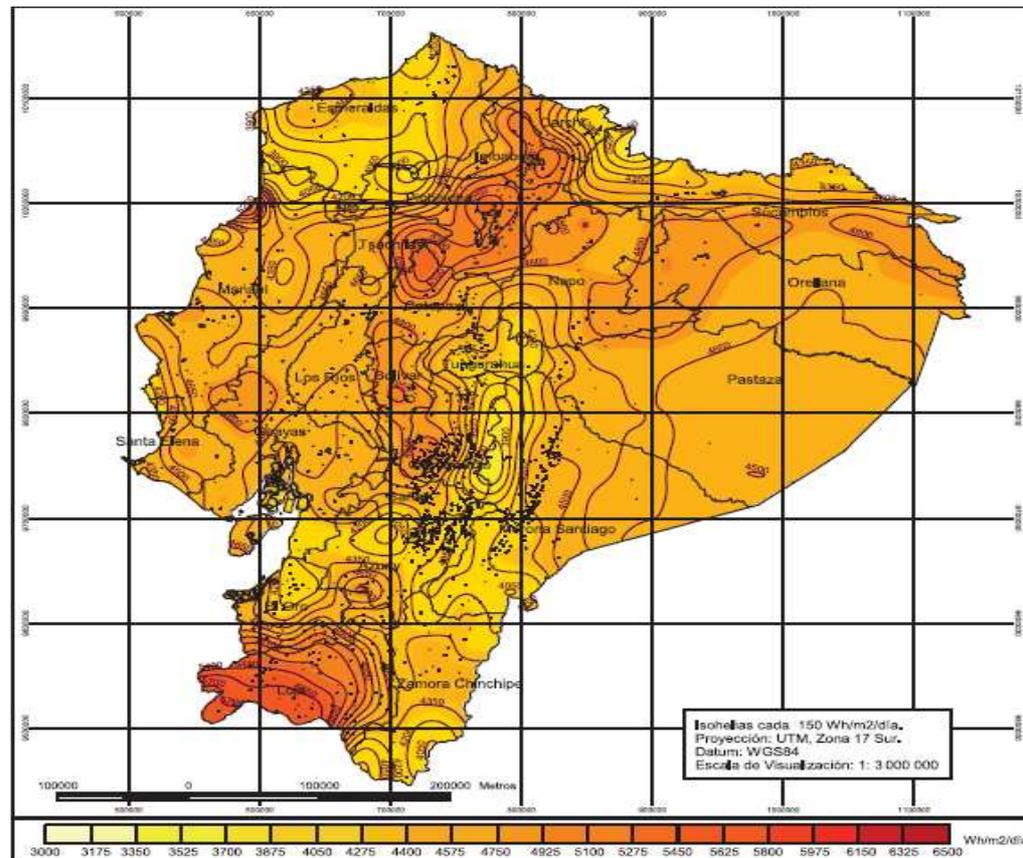
Todo el año podemos encontrar días soleados indistintamente de la estación, la variación entre las dos estaciones está en las precipitaciones lluviosas. En verano los días soleados se

---

<sup>2</sup>INSTITUTONACIONALDEENERGÍA;FRANKLINCARRASCO,JEANPAULDURAND,FERNANDOGONZÁLEZ;ESTUDIODELPOTENCIALSOLARYEÓLICODELECUADOR;1981.

presentan con gran cantidad de viento y en invierno los días soleados son seguidos por fuertes precipitaciones en horas de la tarde principalmente.

## GRÁFICO 2. ATLAS RADIACIÓN SOLAR ECUADOR



FUENTE: CONELEC, Corporación Para la Investigación Energética; ATLAS SOLAR DE ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA; QUITO, AGOSTO 2008.

Los proyectos sobre energía solar térmica en nuestro país son inciertos, sin embargo, dentro del aspecto técnico el Ecuador tiene niveles de insolación muy favorables, que se encuentra valorados entre los mejores del mundo, pero la falta de información real ha impedido la determinación de los sitios óptimos para su desarrollo.

#### **1.2.4 Ideas a Defender**

La energía solar térmica es una opción de generar energía, natural, limpia, barata y a corto plazo. Es fundamental explotar adecuadamente el recurso solar que presenta el Ecuador, con proyectos de alta rentabilidad y practica instalación.

Técnicamente la instalación de Muros Trombe es una solución inmediata para suplir el incremento de demanda o remplazar generación térmica contaminante.

## **CAPITULO II**

### **2.0 Marco Teórico**

#### **2.1 Energías Renovables en el Mundo**

El desarrollo de las energías renovables ha dependido a través de la historia del precio del combustible de uso masivo utilizado en ese momento. En el siglo XIX se tuvieron los primeros adelantos en energías renovables debido al alto costo del carbón, lo que obligó a buscar fuentes alternativas de energía más económicas. Una vez que el precio del carbón se estabilizó, el interés por las energías alternativas decreció.

La investigación y desarrollo de las diferentes energías renovables a partir de la segunda guerra mundial logró avances significativos. Los efectos de la post guerra y el alto costo de los combustibles derivados del petróleo impulsaron la búsqueda de fuentes energéticas.

El interés por las energías renovables disminuyó y durante veinte años sus avances tecnológicos fueron mínimos. Pero es a partir de la última década del siglo XX que las energías renovables no convencionales empiezan a tener desarrollos sustanciales para la generación eléctrica. "Los países del primer mundo invierten gran cantidad de recursos en el desarrollo de tecnología en energías renovables. Esto les ha permitido desarrollar tecnología apropiada para generar electricidad aprovechando los recursos naturales disponibles mejorando cada vez más

la eficiencia y aumentando la capacidad de generación”.<sup>3</sup>

Alrededor del planeta el desarrollo de las energías renovables varía mucho entre región y región. Esta variación depende de muchos factores que influyen directamente en el desarrollo de una u otra manifestación de energía renovable.

La ubicación y características geográficas son factores predominantes que determinan el clima, temperatura, recursos naturales y en general el medio ambiente que rodea un continente, una región, un país o una ciudad. Es por esta razón que los recursos energéticos alrededor del planeta varían mucho entre un sitio y otro. Mientras que en una región un recurso puede ser abundante, en otra este puede ser prácticamente nulo. La generación eléctrica con energías renovables depende en gran medida de los recursos naturales disponibles en cada región, esto si bien es un limitante, no es un factor que anule la generación con un recurso natural escaso en la zona.

Las tecnologías desarrolladas para generar electricidad con los diferentes tipos de energías han tenido mayor desarrollo en los países o regiones donde su demanda energética se incrementa de una forma acelerada. Los países industrializados o conocidos como del primer mundo son precisamente los que presentan estas características. Estados Unidos, Canadá, Japón, Corea del Sur y los países Europeos están a la vanguardia tecnológica de las energías

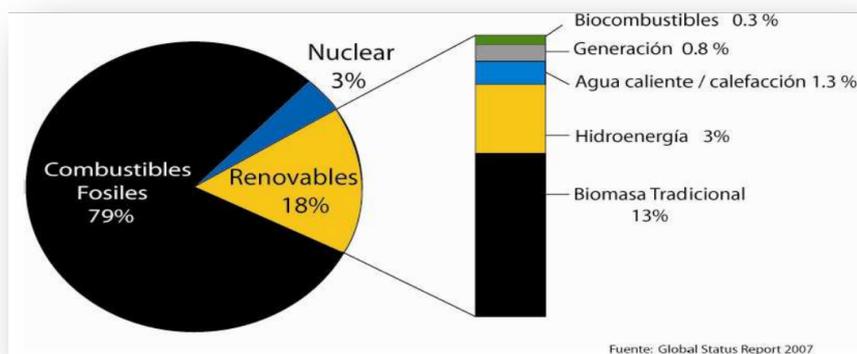
---

<sup>3</sup> STEADMAN.2000. ENERGÍA, MEDIO AMBIENTE. MADRID- ESPAÑA. EDITORIAL H. BLUME.

renovables no convencionales. Otro de los factores que han obligado a buscar fuentes renovables no tradicionales para generar electricidad se debe a que los recursos naturales convencionales han sido totalmente aprovechados.<sup>4</sup>

Este es el caso del continente Europeo donde la mayoría de sus países presenta un altísimo consumo per cápita de energía eléctrica y con una demanda que se incrementa rápidamente. Debido a la altísima demanda han aprovechado todo el recurso hídrico con el que contaban, es decir, existen centrales hidroeléctricas en todos los sitios posibles de generación. Esto obligó a investigar y desarrollar nuevas fuentes de generación eléctrica. Las centrales térmicas que utilizaban combustibles fósiles fueron una solución en un inicio, pero el alto costo del petróleo obligó a que busquen otra solución para cubrir su creciente demanda eléctrica.

### GRÁFICO 3. FUENTES ENERGETICAS A NIVEL MUNDIAL



FUENTE: GLOBAL STATUS REPORT.

---

<sup>4</sup>ENERGIA RENOVABLE PRÁCTICA.SEBASTIAN URKIA LUS.PAMIELA, 2003.PAG.83

Estas diversas situaciones han obligado a que varios países retomen la investigación de energías alternativas como la eólica, calórica y térmica, que habían sido dejadas a un lado al comenzar la década del 70 del siglo pasado. Es así que a nivel mundial pero sobre todo en Europa y Norteamérica los diferentes gobiernos invirtieron grandes cantidades de dinero para investigar y desarrollar energías alternativas. En las diferentes regiones como primer paso se identificaron los recursos naturales existentes, se determinaron los diferentes potenciales y en base a estos resultados se empezaron a desarrollar diferentes tecnologías para aprovechar los diferentes recursos.

## **2.2 Energías Renovables**

Se conoce como energía renovable a toda aquella energía que se la obtiene de fuentes naturales prácticamente inagotables. Se las denomina renovables ya que están en permanente renovación por medios naturales.

Una gran variedad de energías dependen directamente o indirectamente del ciclo solar. La energía solar se manifiesta en diferentes formas, estas diversas manifestaciones han sido aprovechadas por el ser humano para su propio beneficio.<sup>5</sup>

“La energía solar o irradiación solar es el motor fundamental para el movimiento de grandes masas de

---

<sup>5</sup><http://www.energia.org.ec>

agua y aire, así como el responsable directo de la vida. Las energías eólica, hidráulica, fotovoltaica, biomasa, térmica, etc. son energías que dependen de alguna manera de la energía proveniente del sol".<sup>6</sup>

"La clasificación de las energías renovables no tiene un consenso, una corriente de especialistas denominan como energía solar únicamente a las formas directas de incidencia solar, otra corriente sostiene que todas las energías renovables se relacionan de alguna forma con el sol".<sup>7</sup>

Para el desarrollo de nuestro proyecto se abordará la energía solar y su clasificación por fuentes que propician su aparición.

### **2.3 Generación Renovable Existente**

Las políticas a nivel mundial para el desarrollo de energías renovables han logrado grandes progresos en los últimos 20 años. El potencial energético renovables mundial es impresionante, el desarrollo y evolución de la tecnología de los años siguientes será fundamental para que en el futuro las energías renovables puedan suplir al petróleo.

Los recursos renovables disponibles son más que suficientes para satisfacer la demanda mundial en varias veces. El siguiente gráfico compara las energías

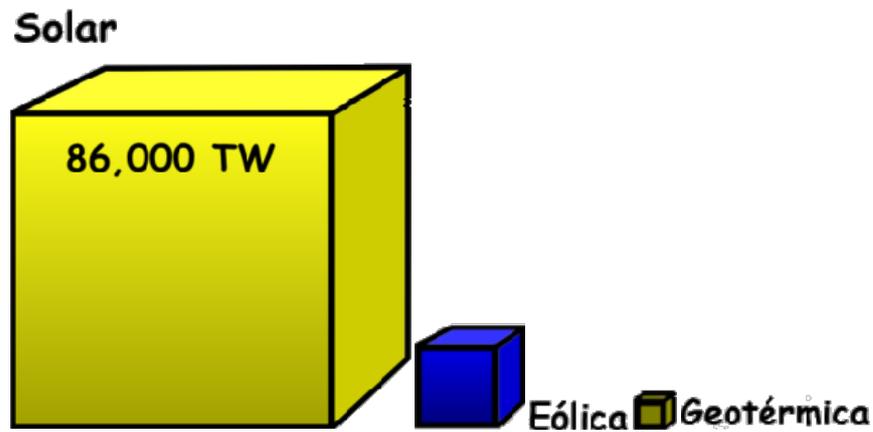
---

<sup>6</sup>WWF, FUNDACIÓN NATURA.TEXTOS DE CONSULTA: "ENERGÍAS RENOVABLES: CONCEPTOS Y APLICACIONES", QUITO, JUNIO, 2003.

<sup>7</sup>WWF, FUNDACIÓN NATURA.TEXTOS D ECONSULTA: "ENERGÍAS RENOVABLES: CONCEPTOS Y APLICACIONES", QUITO, JUNIO, 2003. PAG. 29

eólica, geotérmica y solar disponibles con el consumo energético global.

#### GRÁFICO 4. ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA



FUENTE: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Available\\_Energy-4.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Available_Energy-4.png)

Antes de entrar en detalle sobre la generación de energía eléctrica a partir de las diferentes energías renovables alrededor del mundo, es importante conocer varias estadísticas sobre la evolución de las mismas. Uno de los principales centros de investigación sobre energías renovables a nivel mundial es el "REN21".

**TABLA2. NUEVA ENERGÍA RENOVABLE Y CAPACIDAD EXISTENTE AL 2013**

ENERGÍA GENERADA (GW)	NUEVA 2008	EXISTENTE 2008
GRANDESHIDROELÉCTRICAS	25-30	860
EÓLICA	27	121
PEQUELASHIDROELÉCTRICAS	6-8	85
BIOMASA	2	52
SOLARFOTOVOLTAICA, CONECTADA A LA RED	5,4	13
GEOTÉRMICA	0,4	10
CONCENTRACIÓN TÉRMICA DE CALOR	0,06	0,5
OCEÁNICA	~0	0,3

Fuente: Reporte 2008 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, REN21

El "Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, REN21" es un organismo internacional multisectorial que tiene como objetivo principal la difusión y desarrollo de las energías renovables alrededor del mundo entero. Este organismo se encarga de dictar las políticas apropiadas para un mayor aprovechamiento de las energías renovables en países desarrollados e industrializados. Este organismo está conformado por profesionales de diversos centros de investigación y estudios alrededor del planeta. La más reciente publicación del REN21 aporta con cifras sumamente interesante sobre la evolución de las energías renovables en los últimos tres años.

En los dos últimos años la generación por energía del viento aumentó en 61%. La capacidad fotovoltaica de generación se incrementó 2,6 veces en el mismo tiempo. El país con mayor nueva capacidad instalada en energías renovables en general es Estados Unidos. De igual forma es el país con mayor generación eólica y térmica.

Los seis países con mayor generación renovable son China con 76 GW, Estados Unidos con 40 GW, Alemania 34 GW, España 22 GW, India 13 GW y Japón 8 GW.<sup>8</sup>

De la capacidad existente a finales del 2008, China tiene la mayor capacidad en energías renovables, en pequeñas hidro y en calentamiento de agua y calefacción solar. En energía geotérmica, eólica y biomasa Estados Unidos es el país con mayor capacidad instalada. El desarrollo industrial

---

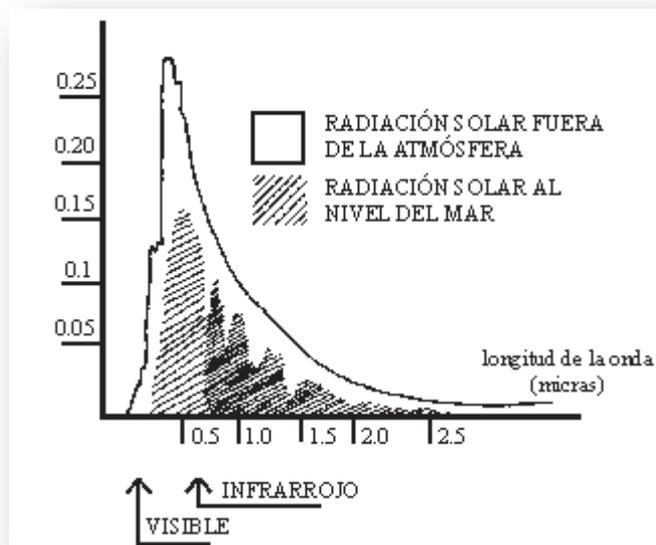
<sup>8</sup>REPORTED2008RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORKFORTHE21ST CENTURY,REN21

fotovoltaico alemán de los últimos años ha convertido a Alemania en la nación con mayor generación fotovoltaica del planeta.

## 2.4 Energía Solar

La energía solar es la energía producida por el Sol. Esta es recibida en la tierra de forma constante, las 24 horas del día y los 365 días del año y llega a la Tierra por radiación, generando el espectro que se aprecia en la figura:

**GRÁFICO 5. ESPECTRO SOLAR**



FUNETE:[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/119/htm/sec\\_6.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/119/htm/sec_6.htm)

“Si se desglosa el Espectro Solar, se tiene lo siguiente: fuera de la atmósfera, la radiación solar está constituida por 7% de rayos ultravioleta, 47% de radiación visible y 46% de rayos infrarrojos. Por otro lado, en la superficie, en condiciones ideales (cielo despejado y a nivel del mar) los porcentajes son: 4% de ultravioleta, 46% de visible y 50% de infrarroja”.<sup>9</sup>

<sup>9</sup>STEADMAN.2000. ENERGÍA, MEDIO AMBIENTE. MADRID- ESPAÑA. EDITORIAL H. BLUME. PÁG. 12

La energía solar, como recurso energético terrestre, está constituida simplemente por la porción de luz que emite el sol y que es interceptada por la Tierra. Cuando los rayos alcanzan la Tierra, un porcentaje rebotan en las nubes hacia el espacio, los rayos se reflejan.

### **2.4.1 El Sol**

El tamaño del sol es equivalente a 1,3 millones de planetas Tierra y el radio solar se lo completaría con 109 Tierras. El centro o núcleo del sol tiene una "temperatura de unos 15'000.000 °C y una presión equivalente a 340.000 veces la presión del aire a nivel del mar en la Tierra"<sup>10</sup>. Estas características propician que en el núcleo se produzcan reacciones nucleares, el 0.7 de la masa resultante es liberado en forma de energía hacia la superficie del sol. Esta energía por medio de la convección es liberada en forma de calor y luz, tarda un millón de años para poder alcanzar la superficie del sol.

Cada segundo el sol en su núcleo produce 5'000.000 de toneladas de energía pura.

Se estima que la edad del sol es de 4.600 millones de años y tiene suficiente energía para permanecer activo unos 5.000

---

<sup>10</sup><http://www.solarviews.com>

millones de años más. La región visible del sol se denomina fotosfera y su temperatura está en unos 6.000 °C.

De la radiación solar emitida, la distribución espectral fuera de la atmósfera terrestre se distribuye de la siguiente forma: un 46% se ubica en la región infrarroja, 45% en la región visible y 9% en la región ultra violeta. La distancia entre el sol y la tierra es de 149'490.000 km. aproximadamente. La radiación solar viaja en el vacío a una velocidad de 299.792.458 m/s y demora en llegar a la Tierra aproximadamente 8, 31 minutos.

La tierra absorbe la mayor parte de la energía solar y la convierte en calor. Este calor calienta la tierra y el aire que lo rodea. La atmósfera sin el sol sería demasiada fría.

Una de las aplicaciones de la energía solar es directamente como luz solar sin transformar, misma que nos provee de una energía limpia, abundante y disponible en la mayor parte de la superficie terrestre y puede por lo tanto estar liberada de los problemas ambientales generados por los combustibles convencionales.

La energía viaja desde el Sol a la Tierra en forma de ondas o rayos, algunos son los rayos de luz que podemos ver y otros rayos que no podemos ver, como los rayos x.

El sol es una gigantesca bola de gas, que emite enormes cantidades de energía cada día y la mayor parte de la energía va al espacio. Sólo una pequeña parte llega a la tierra.

Según Javier María Méndez, la radiación que recibe la tierra es proveniente del sol que permite mantener una temperatura posible para que en ella exista vida, adicionalmente la radiación solar proporciona luz, que se transforma a través de la fotosíntesis en biomasa.<sup>11</sup>

La energía ni se crea ni se destruye solo se transforma (**Antonio Laurent Lavoisier**), por lo tanto es muy importante el uso de la energía solar para producir calor, la gran ventaja de usar energía solar es que no genera residuos peligrosos, gases contaminantes, se lo puede usar en zonas rurales y aisladas.

La incidencia de la radiación solar en el planeta Tierra tiene múltiples efectos sobre el mismo. La radiación solar o energía solar es la causante de fenómenos tan distintos como el calentamiento de los diferentes componentes de la atmósfera terrestre, la fotosíntesis de las plantas o simplemente la iluminación de todos los sitios a donde llegue el espectro de luz visible.

Las diferentes manifestaciones de energía solar se las clasifica en: energías térmica, fotovoltaica, biomasa, eólica, hidráulica, undimotriz y maremo térmica.

---

<sup>11</sup>JOSÉ MARÍA FERNÁNDEZ. 2011. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y TERMOELÉCTRICA.

## 2.4.2 Radiación Solar

“La radiación solar es la radiación electromagnética emitida por el sol. Casi todos ciclos biológicos en el sistema de la tierra necesitan la radiación solar que llega a la Tierra. La radiación solar es causa de cambios climáticos”.<sup>12</sup>

“La energía que irradiada el sol es de  $5 \times 10^{23}$  hp, de modo que la superficie del sol emite constantemente 70.000 hp. Este concentrado de radiación se propaga en todas las direcciones, lo que se debilita gradualmente por la distancia del sol con la tierra y por el tiempo que llega a la tierra que se reduce considerablemente su intensidad”.<sup>13</sup>

La tasa de llegada de energía solar justo fuera de la atmósfera de la tierra, se expresa en términos del calor producido por la absorción completa de la radiación por una superficie expuesta en ángulos rectos de la luz solar. El valor promedio de esta cantidad (la constante solar) es de aproximadamente 1,94 cal. / sq. cm. / min<sup>14</sup>.

Esto indica que la energía está llegando a la tasa de 1 1/2hp/ sq. Yd.- 7, 400 hp acre, la energía que la tierra capta del sol es aproximada a 6 millones de toneladas de carbón por segundo.

La radiación solar que incide sobre la tierra está sujeta a variaciones geométricas y a las condiciones físicas del propio

---

<sup>12</sup> QIANG FU, UNIVERSITY OF WASHINGTON, SEATTLE, WA, USA 2003 ELSEVIER SCIENCE LTD.

<sup>13</sup>JOHN A. DUFFIE.1980.SOLAR ENERGINEERING OF THERMAL PROCESSES. UNITED STATES OF AMERICA. EDIT WILEY - INTERSCIENCE PUBLICATION. PAG 28

<sup>14</sup>JOHN A. DUFFIE.1980.SOLAR ENERGINEERING OF THERMAL PROCESSES. UNITED STATES OF AMERICA. EDIT WILEY - INTERSCIENCE PUBLICATION. PAG 29

sol. La órbita que describe la tierra sobre el sol no es circular sino cuasi elíptica. Por este motivo a medida que la tierra gira alrededor del Sol, esta se acerca y se aleja del Sol. Cuando la tierra se encuentra más cerca del Sol se llama perihelio (Es la mínima distancia al sol). Cuando la tierra se encuentra más lejos del Sol se llama, afelio (Máxima distancia al sol).

La radiación que ingresa directamente del sol es la conocida como directa y la que previamente es absorbida y difundida es radiación difusa, la radiación reflejada es aquella que depende de los tipos de relieves y naturaleza de la superficie terrestre, las que se puede aprovechar para su transformación térmica. La radiación reflejada en sectores Andinos del Ecuador no es muy alta ya que existe una absorción por parte de la hierba o del terreno.

Según José María Salgado<sup>15</sup>, la posición optima, en la práctica, se obtiene cuando la superficie está orientada al sur, con un ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar; la orientación al sur, de hecho maximiza la radiación solar captada recibida durante el día y si la inclinación es igual a la latitud hace que sean mínimas, durante el año, las variaciones de energía solar captadas debido a la oscilación de 23.5° de la dirección de los rayos solares respecto a la perpendicular a la superficie de recogida.

La radiación directa será mayor cuando la incidencia de los rayos solares sea perpendicular a la superficie. Por este motivo para el estudio en el Ecuador tenemos una latitud 0°

---

<sup>15</sup> LIBRO COMPENDIO DE ENERGÍA SOLAR. JOSÉ MARÍA SALGADO. 2010. PÁG. 44.

esto nos indica que los rayos solares son perpendiculares a la superficie.

Según manifiesta la NEC-11, en su capítulo de "Eficiencia Energética", el Ecuador está ubicado en las latitudes 1°30'N (Carchi) y 5°0'S (Zamora), y entre las longitudes 72°0'O (Salinas) y 75°10'O (Orellana), es decir al oeste del meridiano de Greenwich. Su ubicación en la línea equinoccial, beneficia considerablemente al Ecuador, evitando que exista una variación en la ubicación y posición del sol durante todo el año, lo cual favorece al tener un promedio estimado de 12 horas de sol durante el día, teniendo en cuenta que esta energía puede ser utilizada en sistemas de captación de energía solar para producir calor y electricidad.<sup>16</sup>

La variación en el zenit (cuando el sol esta perpendicular a la Tierra, a las 12 del día) es de +/- 23.5°, es decir que el Sol se desplaza 47° en el año entre el solsticio de verano (21 de junio) y el solsticio de invierno (21 de diciembre).

Los valores de insolación o radiación solar global para las provincias del país y sus ciudades más importantes son:

---

<sup>16</sup> CONVENIO MIDUVI- CÁMARA DE LA CONSTRUCCIÓN DE QUITO.2011.NORMAS ECUATORIANAS DE CONSTRUCCIÓN CAPÍTULO 13 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA CONSTRUCCIÓN EN ECUADOR

**TABLA 3. VALORES POR PROVINCIAS DE RADIACIÓN SOLAR**

PROVINCIA	VALOR MÍNIMO (Wh/m <sup>2</sup> /día)	VALOR MÁXIMO (Wh/m <sup>2</sup> /día)	VALOR MEDIO (Wh/m <sup>2</sup> /día)
Azuay	4.05	4.80	4.43
Bolívar	4.80	4.95	4.88
Cañar	4.05	4.65	4.35
Carchi	3.90	4.20	4.05
Cotopaxi	4.80	5.25	5.03
Chimborazo	3.75	4.95	4.35
El Oro	4.20	5.10	4.65
Esmeraldas	3.90	4.35	4.13
Guayas	4.20	4.80	4.50
Imbabura	4.00	5.10	4.55
Loja	4.50	5.70	5.10
Los Ríos	4.65	4.65	4.65
Manabí	4.20	5.25	4.73
Morona Santiago	3.75	4.50	4.13
Napo	4.20	4.80	4.50
Pastaza	4.50	4.65	4.58
Pichincha	4.05	5.25	4.65
Orellana	4.50	4.80	4.65
Tungurahua	4.20	4.30	4.25
Santa Elena	4.50	4.35	4.43
Santo Domingo	4.65	5.25	4.95
Sucumbíos	4.05	4.80	4.43
Promedio Nacional	4.25	4.84	4.54

FUENTE: CONELEC, Corporación Para la Investigación Energética: Quito 2012

#### **2.4.2.1 Clasificación de Radiación Solar.**

En la superficie de la Tierra, es decir, al interior de la atmósfera se tiene Radiación Solar, que se descompone como:

##### **a) Radiación Directa:**

Es la luz directa del Sol que depende de la claridad atmosférica y está acotada por la constante solar.

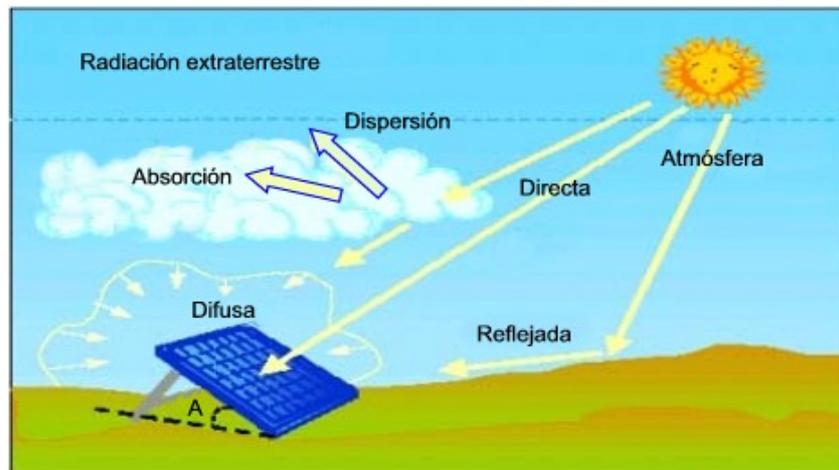
### **b) Radiación Difusa:**

Es la radiación que emiten los cuerpos circundantes debido a su temperatura. Se le considera difusa porque proviene de todas direcciones.

### **c) Radiación Reflejada:**

Es la radiación que no es absorbida por los cuerpos y, por lo tanto, reflejada a la atmósfera.

**GRÁFICO 6. RADIACIÓN SOLAR**



FUENTE: <http://www.pce-instruments.com>

Otro factor que incide es el espesor de la atmósfera. La distancia entre el suelo (a nivel del mar) y la parte exterior de la atmósfera se la conoce como masa de aire. La masa de aire se presenta únicamente en la atmósfera terrestre y si corresponde a la distancia perpendicular al suelo que recorre un rayo de sol, se denomina atmósfera de distancia.

## **2.5 Sistemas de Captación Solar**

Los sistemas de captación solar se pueden definir como elementos que utilizan la energía solar para distintos fines, como por ejemplo, calefacción y ventilación. Se debe señalar el hecho de que no se requiere del empleo de electricidad en

su funcionamiento, así como tampoco requieren de elementos para el movimiento mecánico de fluidos.

### **2.5.1 Sistemas Activos.**

Se define como sistema solar activo al principio de captación solar, almacenamiento y distribución que necesita para su funcionamiento el aporte de energía externa.

Un sistema solar activo requiere de la energía solar para su funcionamiento y permite la captación y acumulación de calor. En la captación de la energía del sol se utilizan paneles solares, que pueden transferir dicha energía a fluidos como el aire, el agua, u otros.

#### **GRÁFICO 7. COLECTOR SOLAR PLANO (SISTEMA ACTIVO)**



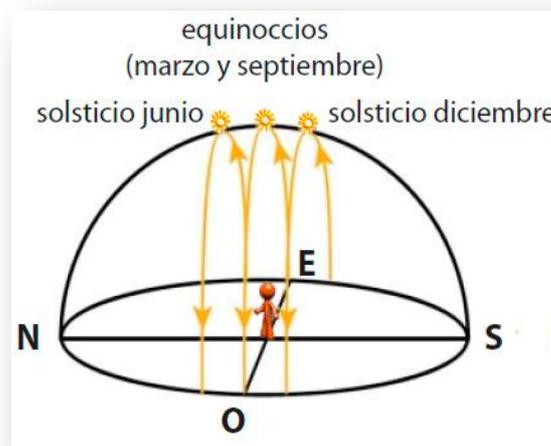
FUENTE: [http://calefonsolar.blogspot.com/2011/01/como-funciona-un-calefon-solar\\_21.html](http://calefonsolar.blogspot.com/2011/01/como-funciona-un-calefon-solar_21.html)

## 2.5.2 Sistemas Pasivos

El muro Trombe es un sistema de calentamiento pasivo, es decir, que se relaciona con el espacio habitable. Se busca captar energía usando la propia estructura en términos de ventanas, paredes y suelos. Los únicos elementos conductivos son los elementos constructivos. En cuanto a los métodos de captación de energía, son principalmente dos: característica de la apertura de captación y mecanismos de liberación de energía.<sup>17</sup>

Uno de los aspectos más importantes a considerar a la hora de diseñar es la trayectoria que sigue el sol. Esta describe un arco en el cielo que nace en el este y finaliza en el oeste.

**GRÁFICO 8. SISTEMA PASIVO**



FUENTE: <http://www.ecured.cu/index.php/Equinoccio>

El diseño de un sistema pasivo incluye la orientación apropiada solar, el uso de masa térmica, ventilación adecuada y

<sup>17</sup>MAZRIA, EDWARD. EL LIBRO DE LA ENERGÍA SOLAR PASIVA. EDICIONES G. GILI. PÁG. 91

ubicación de las ventanas. Masa térmica se refiere a materiales tales como mampostería y agua que puede almacenar la energía de calor por un tiempo prolongado. La masa térmica evitará fluctuaciones rápidas de temperatura.

Los procesos que se utiliza en los calefactores de energía solar pasiva son básicos como los flujos de energía térmica que son asociados con la radiación, conducción natural.

Hay tres enfoques para los sistemas pasivos que es la ganancia directa, indirecta y aislada. El principal y único objetivo de los sistemas de calefacción solar pasivos es capturar o absorber el calor solar dentro de los elementos de la vivienda para el uso posterior, liberando el calor durante los periodos en que el sol no brilla de esta manera manteniendo el área a calentar con un confort.

## **2.6 Sistema de Muro Trombe**

### **Antecedentes**

El muro Trombe es un dispositivo que fue patentado en 1881 por Edward Morse, y popularizado en 1964 por el Ingeniero francés Félix Trombe y el arquitecto Jacques Michel; Félix Trombe que establece los experimentos iniciales en pequeñas construcciones solares en Odelló - Francia, junto a los Pirineos.<sup>18</sup> Sugirió que el límite de flujo de masa es el resultado de un flujo turbulento a lo largo de toda la altura del

---

<sup>18</sup>J.F. ROBERT, J.L. PEUBE Y F. TROMBE, "EXPERIMENTAL STUDY OF PASSIVE AIR-COOLED FLAT-PLATE SOLAR COLLECTORS: CHARACTERISTICS AND WORKING BALANCE IN THE OBEILLO SOLAR HOUSES", ENERGY CONVERSION IN HEATING AND COOLING AND VENTILATION BUILDINGS, HEMISPHERE, WASHINGTON, VOL. 2, PP. 761-782, 1978).

canal. La entrada de aire horizontal puede ser la causa probable de la turbulencia. Los resultados experimentales demostraron que los procesos de flujo de convección natural que se producen en el canal eran bastante complejo. La velocidad y perfiles de temperatura en el canal eran las funciones de las características geométricas de la pared y las condiciones ambientales.

### **Definición**

El muro Trombe es un sistema pasivo de recolección de energía solar de forma indirecta, que se puede utilizar para el calentamiento interno de viviendas, por medio de la transferencia de calor, ya sea por conducción, convección y/o radiación. Es un sistema indirecto ya que la captación la realiza a través de un elemento dispuesto entre el vidrio y el interior de la vivienda, y se trata de un sistema pasivo porque no utiliza elementos mecánicos en su funcionamiento y se basa en el efecto invernadero.

Un muro Trombe Clásico y muro Trombe-Michel, son muros o paredes orientado hacia el sol, al sur en el hemisferio norte y al norte en el hemisferio sur. Está construido con materiales que puedan acumular calor bajo el efecto de masa térmica, combinado con un espacio de aire y una lámina de vidrio.

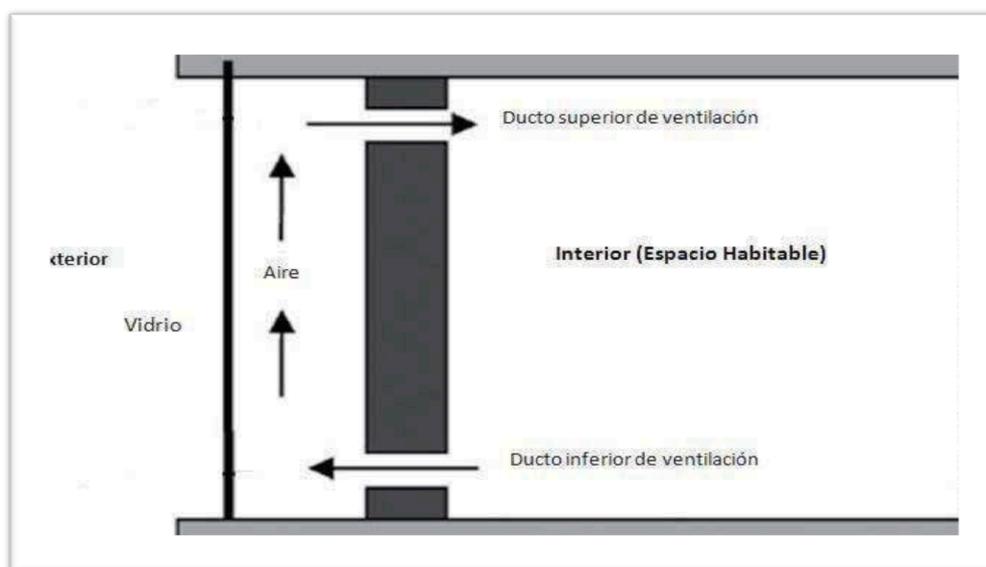
#### **2.6.1 Muro Trombe Clásico**

Se compone el muro Trombe Clásico por una pared sólida instalada a una distancia mínima de la superficie acristalada.

El efecto que produce la termo circulación, porque la pared solida absorbe el flujo radiactivo que traspasa el vidrio.

Por medio de la conducción se transfiere una parte del flujo desde la pared hacia el interior. El calentamiento del aire que entra en contacto con la pared da origen a la convección natural, que entra por el ducto inferior de ventilación y vuelve al espacio habitable tras pasar por el ducto superior de ventilación.<sup>19</sup>

**GRAFICO 9. MURO TROMBE CLASICO**



FUENTE: <http://tesis.uchile.cl>

### **2.6.2 Muro Trombe-Michel**

Muro Trombe-Michel es un sistema que por su funcionamiento guarda similitud con el muro Trombe Clásico. La baja resistencia térmica en la pared maciza induce a grandes

---

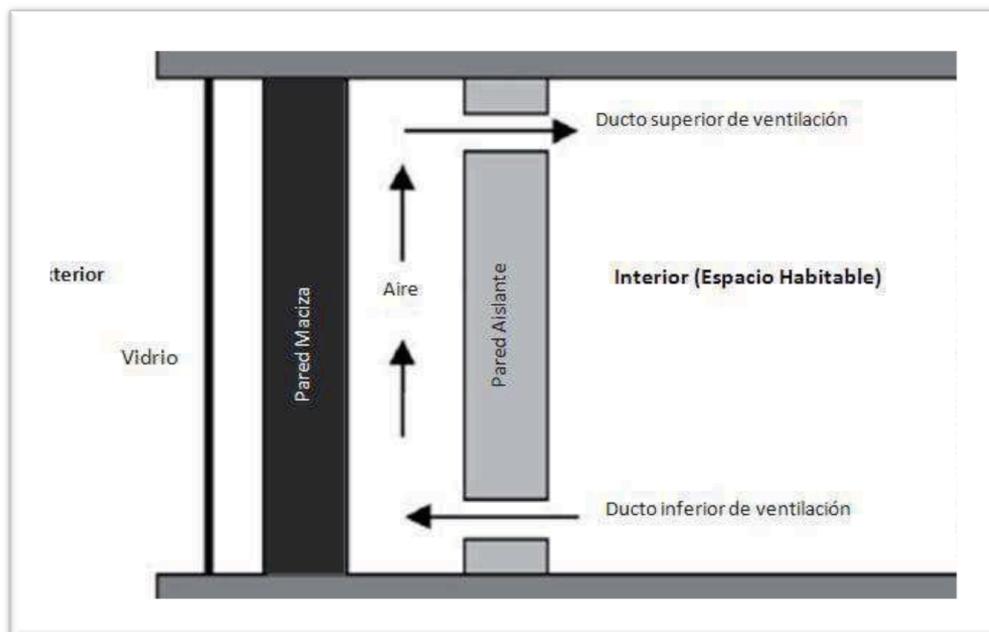
<sup>19</sup>[www.tesis.uchile.cl](http://www.tesis.uchile.cl)

pérdidas de calor marcando la diferencia entre muro clásico y muro Trombe Michel.

La forma de remediar la pérdida de calor es emplear una pared compuesta, que actúa como aislador ubicándose detrás de la pared maciza. De la misma manera que en el muro clásico la energía térmica es transferida por conducción y convección, el aire circula por termo circulación entre la pared maciza y la pared aislante.

El flujo térmico disminuye en el invierno por lo tanto es conveniente cerrar los orificios de la pared aislante para evitar la pérdida de energía térmica.

#### **GRAFICO 10. MURO TROMBE MICHEL**



FUENTE: <http://tesis.uchile.cl>

#### **PRINCIPIOS PARA UN MURO CLASICO.**

#### **2.6.3 Principios de Fluido dinámica**

Este principio nos permite comprobar la dinámica de los fluidos a través de propiedades como la temperatura, presión, densidad y velocidad y las funciones de espacio y tiempo ofrecen una estructura sistemática.

En la fluido dinámica se supone que los fluidos obedecen a la hipótesis de continuidad, a pesar de que los fluidos están compuestos por moléculas que chocan entre sí y con objetos sólidos.

### **a) Flujo laminar**

Es el desplazamiento de las partículas de fluido que siguen una trayectoria regular, separadas y perfectamente definidas, simulando una apariencia de láminas o capas más o menos paralelas bien definidas.

En conclusión si la fuerza de inercia del fluido en movimiento es baja y la viscosidad es la fuerza dominante es un flujo laminar.

### **b) Flujo turbulento**

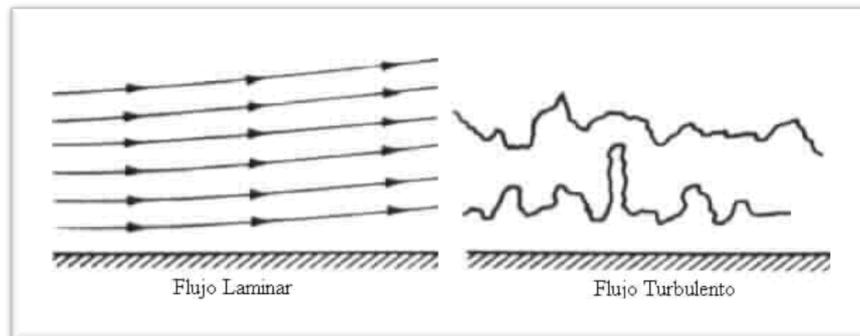
La trayectoria de las partículas del fluido se desplazan de manera errática, muy irregulares sin seguir un orden definido. El flujo turbulento o laminar se determina por el número de Reynolds adimensional.

### **c) Número de Reynolds**

El número de Reynolds es importante en el análisis de cualquier tipo de flujo cuando hay gradiente de velocidad sustancial. Se indica la importancia relativa del efecto viscoso en comparación con el efecto de inercia. El número de Reynolds es proporcional a la fuerza de inercia dividida por la fuerza viscosa.

El flujo es laminar cuando  $Re < 2300$ , turbulento cuando  $4000 < Re$

### GRÁFICO 11.FLUJO LAMINAR Y FLUJO TURBULENTO



FUENTE: REVISTA INTERNACIONAL DE METODOS NUMERICOS PARA CALCULO Y DISENO DE INGENIERIA

Las investigaciones indican que la mayoría de los patrones de flujo encontrados durante sus experimentos (con el tamaño de la anchura de canal variando desde 2,5 hasta 20 cm y Trombe pared alta de 2,2 m) eran laminar en la naturaleza. Realizó un análisis teórico del flujo en el canal tanto para la laminares y turbulentos. El flujo se considera como la convección natural entre las dos placas verticales. Las investigaciones teóricas y experimentales de Smolec W<sup>20</sup>.

Reveló que la convección de transferencia de calor en el canal de Trombe depende de los ductos de escape inferiores fue similar a la transferencia de calor por convección en la región de entrada en los conductos de aire, en lugar de sobre las relaciones derivadas de la investigación de transferencia de calor por convección natural a lo largo de placas calentadas verticales. Warrionton T.

---

<sup>20</sup>REVISTA INTERNACIONAL DE MÉTODOS NUMÉRICOS PARA CÁLCULO Y DISEÑO DE INGENIERÍA. BLAS ZAMORA, LUIS MOLINA-NINIROLA Y ANTONIO VIEDMA. VOL 18 2,2,227-242(2002)

Llevaron a cabo experimentos en la célula de ensayo a escala con la pared Trombe. Se examinaron las distribuciones de temperatura del fluido y patrones de flujo.

El trabajo que realizaron Smolec y Warrington revela que hay muchos parámetros y diferentes condiciones climáticas que afectan el rendimiento térmico del muro Trombe.

#### **2.6.4 PRINCIPIO DE INCLINACION**

La inclinación del muro es necesaria para la captación de la energía solar, un factor primordial es la relación que mantiene el muro con la altura del sol, en Ecuador los rayos solares son perpendiculares todo el año, por lo tanto es necesario asumir una inclinación adecuada.

Una forma sencilla de encontrar la inclinación de nuestro muro es por cada metro de altura del muro la base tendrá entre 40 cm de ancho. Por ejemplo si nuestro muro tiene una altura de 1.40 metros el ancho de la base será de 40 cm.

#### **2.6.5 Principio de Inercia Térmica**

La capacidad de almacenamiento de la mampostería está vinculada con el espesor, esto incide en el tiempo que tarda la energía calórica en atravesar el muro o en caso de tener un exceso de capacidad de almacenamiento esta reduce el aporte. Es recomendable utilizar elementos con una alta capacidad de conducción. La pared de COB deberá tener un grosor de 30 a 45 cm en general.

### **2.6.6 Principio de Acabado**

El muro con o sin acabado deberá pintarse de un color oscuro para almacenar mejor el calor. Es necesario utilizar pintura termoestable que resista bajas temperaturas; y además evitar en lo posible que la pintura emita vapores nocivos.

### **2.6.7 Principio de Superficie Transparente**

Hace referencia a uno de los materiales indispensables para la construcción del muro (el vidrio). Las corrientes de convección del aire en el interior por efecto de la radiación lo calientan, tomando en cuenta que en la cámara existen pérdidas de temperatura.

Es conveniente utilizar policarbonatos, para evitar la rotura por efecto de vandalismo.

### **2.6.8 Principio de Aberturas de Termo-circulación**

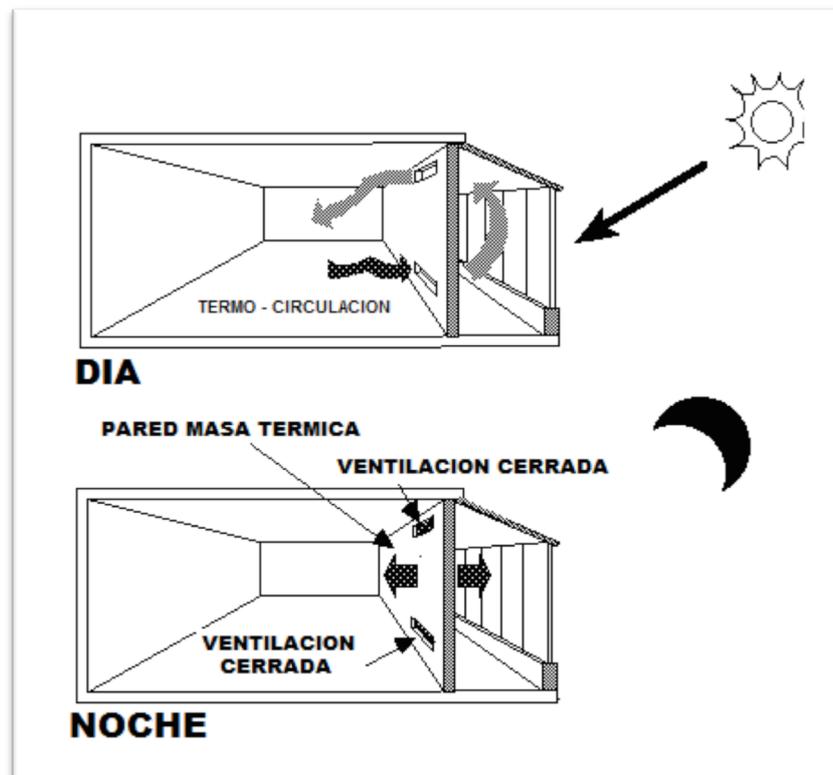
La termo-circulación proporciona una ruta directa de calor a la edificación, mientras que la conducción a través de la pared tiene un retardo de tiempo. Estos dos caminos son interactivos, en la noche cuando cambia las condiciones climatológicas y no existe radiación solar que colabore en el calentamiento de la superficie del vidrio para producir el efecto de calentamiento se bloquea los orificios del muro para evitar la Termo circulación invertida.

Un flujo uniforme y constante de aire es necesario para una buena circulación, evitar se formen bolsas de aire con poca

circulación y movimientos fuertes del aire circulante, es recomendable utilizar como superficie total de las perforaciones de una hilera, aproximadamente  $1 \text{ dm}^2$  por metro cuadrado de muro.

$$A_1 + A_2 = \frac{L * H}{100}$$

**GRÁFICO 12. TERMOCIRCULACIÓN**



FUENTE: BOLETIN UNIVERSIDAD DE INGENIERIA DE ANTIOQUIA 2009

Para determinar qué tipo de flujo tiene el muro Trombe es necesario saber la diferencia entre flujo laminar y turbulento<sup>21</sup>. El desplazamiento de dos partículas a lo largo de la canal y una de ellas tenga una gradiente de velocidad, se desarrolla fuerzas de fricción que actúan tangencialmente a las mismas.

<sup>21</sup>UNIVERSIDAD DE INGENIERIA DE ANTIOQUIA, FRANCISCO JAIME MEJÍA GARCÉS, IC, 2009

### **2.6.9 Principio de Aberturas Exteriores**

Las aberturas exteriores son necesarias en sectores que tengan las cuatro estaciones climáticas, las aberturas cumplen la función de evacuar el aire caliente que se acumula en el interior de la cámara. Estos orificios se colocan en la parte inferior del muro Trombe.

## **2.7 Energía Intercambiada**

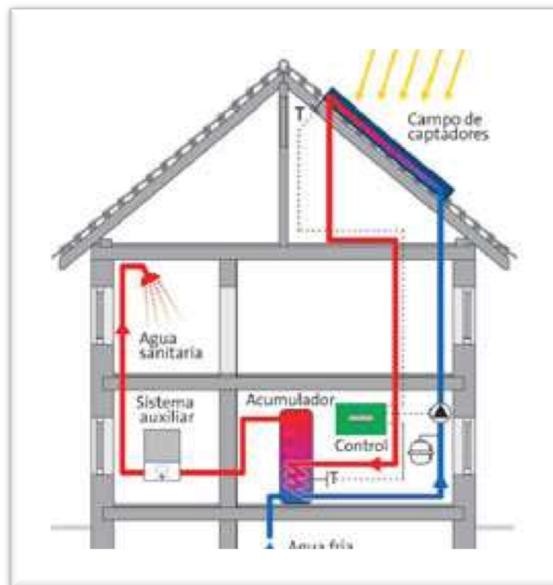
### **2.7.1 Forzada**

Para que exista un régimen forzado, se hace necesario el uso de bombas, ventiladores o elementos mecánicos.

Si se da el caso en que los intercambios energéticos de un sistema de calentamiento solar se realizan bajo régimen forzado, entonces el sistema se denomina activo.

También puede darse que los intercambios significativos entre los principales elementos sean mediante un régimen forzado y que el sistema además, incorpore elementos mecánicos para mover el fluido. Esto se denomina un sistema híbrido.

### GRÁFICO 13. ENERGÍA FORZADA

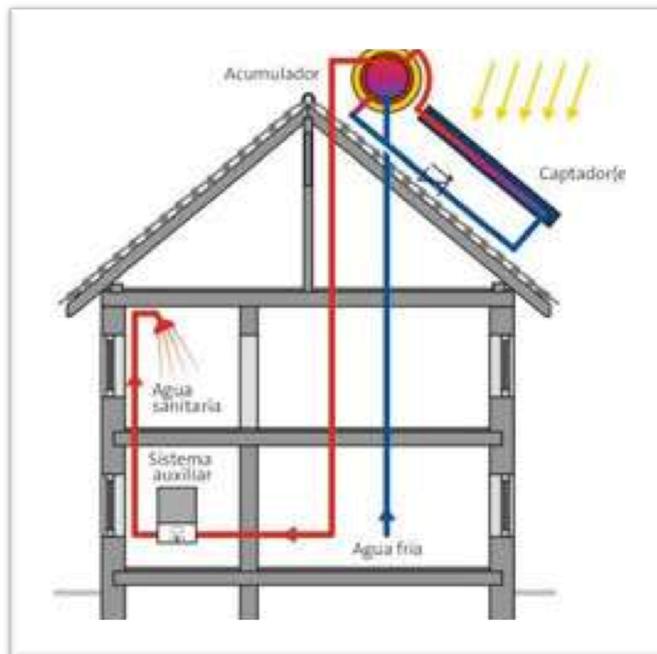


FUENTE: <http://www.soliclima.ec>

#### 2.7.2 Natural

Su principal característica es que el intercambio energético se realiza principalmente por radiación, conducción y convección libre. Si se da el caso en que los intercambios energéticos de un sistema de calentamiento solar se realizan bajo régimen natural, entonces el sistema se denomina pasivo.

## GRÁFICO. 14. ENERGÍA NATURAL



FUENTE: <http://www.soliclimatec.com>

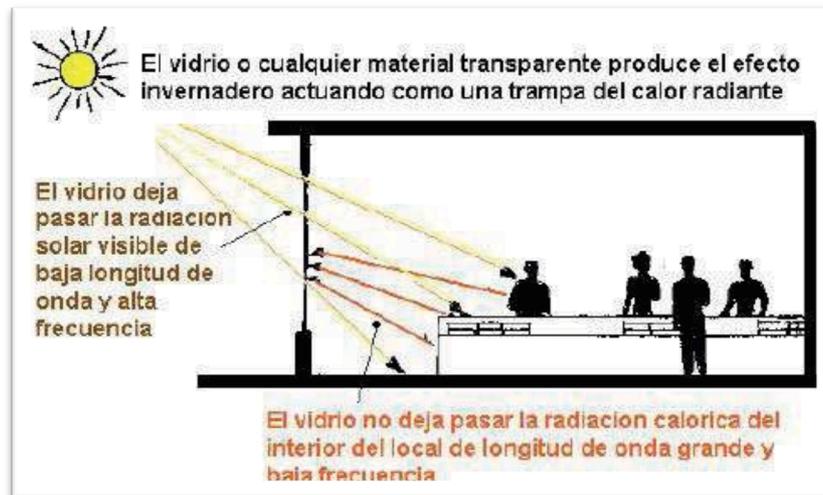
### 2.8 Efecto Invernadero

Los vidrios presentes en las ventanas actúan como una trampa de calor dado que dejan pasar la luz solar, mientras que impiden el paso de la radiación que emiten objetos. Esta viene a ser la definición del efecto invernadero.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup>CALEFACCIÓN SOLAR PARA REGIONES FRÍAS. JEAN FRANCOIS ROZIS - ALAIN GUINEBAULT. ITDG - PERÚ. 1997. PÁG. 86

## GRÁFICO 15. EFECTO INVERNADERO



FUENTE: BIOCLIMATIC ARCHITECTURE

Este efecto es beneficioso en invierno, en donde se pretende calefaccionar los espacios. Sin embargo, en verano lo que se persigue es proteger las ventanas de la acción solar y aprovechar el máximo de la ventilación natural durante las noches.

### 2.8.1 Invernadero adosado

La calefacción solar pasiva a través de ventanas, si bien es la estrategia más sencilla y económica, suele presentar límites prácticos. Por ejemplo, cuando las superficies acristaladas son muy amplias la incidencia de la radiación solar directa puede afectar las condiciones de habitabilidad de los espacios interiores, generando problemas como sobrecalentamiento, deslumbramiento y exposición directa de las personas, muebles y objetos a los rayos solares, entre otros. Además, las grandes superficies acristaladas provocan que los espacios habitables queden más expuestos a las condiciones del

ambiente exterior y pierdan demasiado calor durante el periodo nocturno.

Los invernaderos adosados se han concebido para potenciar al máximo las ganancias de calor por radiación solar, evitando los problemas descritos arriba (sobrecalentamiento, deslumbramiento, exposición directa al sol).

En términos generales se pueden describir como espacios con una gran proporción de acristalamiento (incluso en ocasiones alcanzando el 100%). Por otro lado, es importante señalar que los invernaderos en sí pueden funcionar como espacios habitables de uso esporádico.<sup>23</sup>

Los principios del funcionamiento de los invernaderos adosados, así como las recomendaciones para maximizar su eficiencia, son prácticamente idénticos a los de ganancias por ventanas descritas arriba. Sin embargo sus características pueden ofrecer algunas ventajas:

- a) Al ofrecer un mayor control de su funcionamiento y de los intercambios de calor, los invernaderos adosados pueden proporcionar superficies acristaladas mucho más amplias que cuando sólo se emplean ventanas. En sitios con radiación solar reducida esto permite maximizar la calefacción solar pasiva sin comprometer la habitabilidad de los espacios interiores.
- b) Si dispone de partes móviles o desmontables en sus superficies acristaladas, así como de elementos adecuados de

---

<sup>23</sup>CALEFACCIÓN SOLAR PARA REGIONES FRÍAS. JEAN FRANCOIS ROZIS - ALAIN GUINEBAULT. ITDG - PERÚ. 1997. PÁG. 87

protección solar, los invernaderos adosados se pueden convertir en espacios útiles también durante el verano.<sup>24</sup>

Finalmente, es importante considerar que en sitios de climas muy fríos puede ser indispensable emplear acristalamiento de doble vidrio para reducir las pérdidas de calor por conducción.

## **2.9 Mecanismos de Liberación de Energía**

La forma de traspasar la energía al espacio acondicionado posee un gran impacto sobre la uniformidad térmica que se pueda alcanzar. Dentro de los mecanismos de liberación de energía existen dos tipos: directo e indirecto.

### **2.9.1 Calentamiento Directo**

Durante el calentamiento directo los rayos solares atraviesan transversalmente el espacio habitable y son convertidos en calor por la absorción que da lugar a las superficies interiores expuestas directamente a la luz solar.

### **2.9.2 Calentamiento Indirecto**

Se diferencia del anterior porque durante el calentamiento indirecto los rayos solares son convertidos en calor por la absorción que da lugar en la superficie externa del espacio habitable que actúa como masa acumuladora y es la encargada de transferir calor al espacio habitable.

---

<sup>24</sup>CALEFACCIÓN SOLAR PARA REGIONES FRÍAS. JEAN FRANCOIS ROZIS - ALAIN GUINEBAULT. ITDG - PERÚ. 1997. PÁG. 87-88

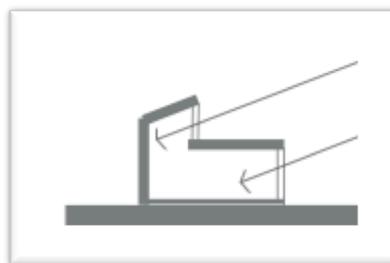
## 2.10 Calefacción solar

Los sistemas de captación de energía solar son diseñados para utilizarlos como calefactores de estructuras, que se desee aprovechar las características del entorno a ser beneficiado, los sistemas pasivos de captación de energía son simples, tienen muchas piezas móviles, su mantenimiento es mínimo y no requiere de sistemas mecánicos, que de una manera u otra hace más complicado su manejo o su colocación, encareciendo los costos de fabricación y colocación.<sup>25</sup>

### 2.10.1 Ganancia Directa

Según el Prof. J. Pérez <sup>26</sup> la ganancia directa es un sistema que permite el ingreso de radiación solar absorbiendo calor y distribuyendo mediante superficies acristaladas colocadas en el exterior de la vivienda, el sistema de la ganancia directa utilizará 60 - 75% de la energía del sol golpeando las ventanas.

#### GRÁFICO 16. CALEFACCIÓN SOLAR



FUENTE: BIOCLARCHI1 BACHELOR OF ARCHITECTURAL TECHNOLOGY AND CONSTRUCTION MANAGEMENT

---

<sup>25</sup><http://passivesolar.sustainablesources.com>

<sup>26</sup>ARQUITECTURA Y MEDIO AMBIENTE ETSA UNIVERSIDAD DE SEVILLA PROF. J. PÉREZ DE LAMA 2008/2009

### **2.10.2 Ganancias a través de ventanas**

El sistema de ganancias directas a través de ventanas acristaladas es el más sencillo de usar y más económico respecto a los sistemas tradicionales. La colocación de cristales de captación de energía solar en espacios habitable dispuesto a ser calentados es necesario que se los ubique de tal manera que absorban de mejor manera la radiación solar.

En la ganancia directa a través de ventanas las causas principales para una buena absorción son:

- a) Que la radiación solar de onda corta que atraviesa la superficie de vidrio "clara sin teñidura", represente su rango de energía más potente.
- b) Al ingresar al espacio, la radiación solar de onda corta incide sobre las superficies de los elementos internos, como suelos y muros.
- c) Acorde al tipo de material que se encuentre fabricado, los elementos a absorber radiación solar de onda corta, remitan al espacio energía radiante de onda larga.
- d) La radiación de onda larga no atraviesa con facilidad las superficies vidriadas, por lo que tiende a quedar "atrapada" dentro del espacio.
- e) La transmisión de calor entre las superficies y el aire interior, termina por completar el cuadro que explica el calentamiento gradual del espacio.

## 2.11 Energía Solar Térmica

Es el conjunto de componentes mecánicos que permite captar la energía solar disponible y transformarla en calor, de forma en que se pueda utilizar en sistemas de calefacción alternativos.

Las aplicaciones de pequeños, medianos y grandes colectores solares es innumerable. El aprovechamiento de la energía solar se lo puede aplicar para el funcionamiento de aparatos tan pequeños como calculadoras o relojes, pasando por cocinas, automóviles; hasta llegar a la producción de energía.

La energía térmica se origina al producirse la transmisión de energía entre un cuerpo caliente a un cuerpo frío. La cantidad de energía térmica que gana o pierde un cuerpo en contacto con uno de diferente temperatura se denomina calor. La energía térmica se la mide en unidades calóricas. Por esta relación directa entre energía térmica y calor es que a este tipo de energía se la denomina energía térmica o energía calórica.

El hombre siempre ha utilizado, de una u otra manera, la energía que le llega desde el sol adecuándola de acuerdo a sus necesidades. El empleo de la energía solar para calentar fluidos es lo que se conoce como energía solar térmica. Su funcionamiento se basa en el efecto invernadero, resultado de la característica que tiene un cuerpo transparente de dejar pasar a través suya radiación electromagnética.<sup>27</sup>

---

<sup>27</sup>DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR SONNENENERGIE DGS, TECNOLOGÍA SOLAR DE ALEMANIA. ENERGÍA SOLARTÉRMICA Y CENTRALES SOLARTÉRMICAS, R. E. WUEST; QUITO, JUNIO 2009.

Al estar atravesado por la Línea Equinoccial, el Ecuador tiene poca variabilidad en la posición del Sol durante todo el año, lo cual favorece la aplicación de la energía solar para producir calor ya que existe un periodo de 12 horas de sol durante todo el día.

Un captador solar es en general, un equipo que transforma la energía de la radiación solar en alguna otra forma de energía. Un captador solar térmico es un intercambiador de calor que convierte la energía de la radiación solar en energía térmica. En esencia, consiste en un receptor que absorbe la radiación solar y transfiere la energía térmica a un fluido de operación.

### **2.11.1 Sistema de Captación Solar Térmica**

“Un colector solar consta de una placa captadora que, gracias a su geometría y a las características de su superficie, absorbe energía solar y la convierte en calor. Esta energía es enviada a un fluido portador del calor que circula dentro del colector mismo o tubo térmico”.<sup>28</sup>

La característica principal que identifica la calidad de un colector solar es su eficiencia, entendida como capacidad de conversión de la energía solar incidente en energía térmica.

---

<sup>28</sup> TOMAS PERALES BENITO, 2008. INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES TÉRMICOS. MÉXICO. EDITORIAL ALFA OMEGA. PÁG. 48

### **2.11.2 Clasificación de Captadores Solares Térmicos**

Fundamentalmente existen tres tipos de captadores solares: planos, de vacío y de concentración.

Los primeros se dividen en otras dos categorías: planos con cubierta y planos sin cubierta.

#### **a) Captadores Solares Planos**

Es uno de los más utilizados para aplicaciones donde no se requiera que la temperatura exceda los 100° C. Este tipo de colectores utilizan la radiación directa y la difusa, son estáticos, requieren de un mantenimiento mínimo y es de fácil construcción. "El colector solar de placa plana es el más utilizado a nivel residencial. Este colector está compuesto por una cubierta protectora, una placa de absorción y una lámina reflectante recubierta con aislamiento térmico".<sup>29</sup>

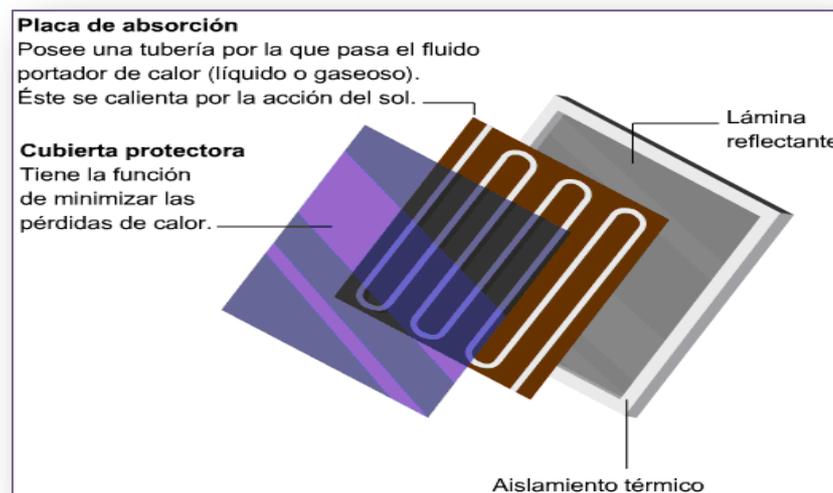
La cubierta protectora tiene como función esencial minimizar las pérdidas por calor hacia la parte exterior del colector. La placa de absorción es la más importante del colector pues es aquí donde se transforma la radiación solar en calor. Esta placa consta de una plancha metálica en la que se encuentran adherida una tubería, por la cual se transporta el calor mediante el fluido que se encuentra en el interior de la misma. La carcasa brinda protección y soporte a todos los elementos del colector, además es la que permite anclar o sujetar el colector a la estructura deseada. Debe ser hermética y resistir a los cambios de temperatura.

---

<sup>29</sup>TOMAS PERALES BENITO. 2008. INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES TÉRMICOS. MÉXICO. EDITORIAL ALFA OMEGA .PAG.50

Está recubierta con aislamiento térmico en el fondo y a los costados para reducir las pérdidas térmicas. Sobre el aislamiento térmico se coloca una reflectante que tiene como objetivo reflejar la radiación posterior y reenviarla a la placa.

### GRÁFICO 17. CAPTADOR SOLAR DE PLACA PLANA



FUENTE: BioclArchi1 Bachelor of architectural technology and construction management- pilar solis matinez

Los colectores planos con cubierta están compuestos esencialmente por una cubierta de vidrio, una placa captadora aislada térmicamente en la parte inferior y están lateralmente contenidos en una caja de metal o plástico.

Los colectores planos sin cubierta normalmente son de material plástico y están directamente expuestos a la radiación solar. La utilización de estos últimos se limita al calentamiento del agua de las piscinas.

## **b) Captadores Solares de Concentración**

Son colectores cóncavos proyectados para optimizar la concentración de la energía solar en un punto bien determinado. Son eficaces sólo con luz solar directa, ya que tienen que seguir el movimiento del sol.

Este modelo de colector, que puede alcanzar altas temperaturas, es una elección lógica para generadores solares o para hornos de altísimas temperaturas (más de 4.000°C). El coste y la realización del equipo de seguimiento del sol y su construcción determinan que sea poco práctico.

### **2.12 Otras Energías Renovables**

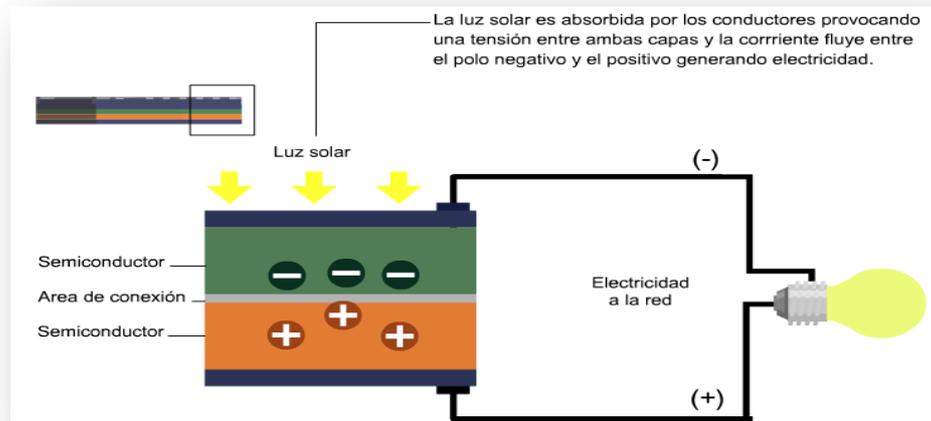
#### **2.12.1 Energía Fotovoltaica**

Entre las diferentes manifestaciones de la energía solar, la energía fotovoltaica aprovecha directamente la radiación solar para generar energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos. La energía fotovoltaica aprovecha la energía de los fotones de la radiación solar. El principio fotoeléctrico es aprovechado para generar energía eléctrica a partir de la luz solar.<sup>30</sup>

---

<sup>30</sup><http://www.energia-solarfotovoltaica.com>

## GRÁFICO 18. PANAL FOTOVOLTAICO

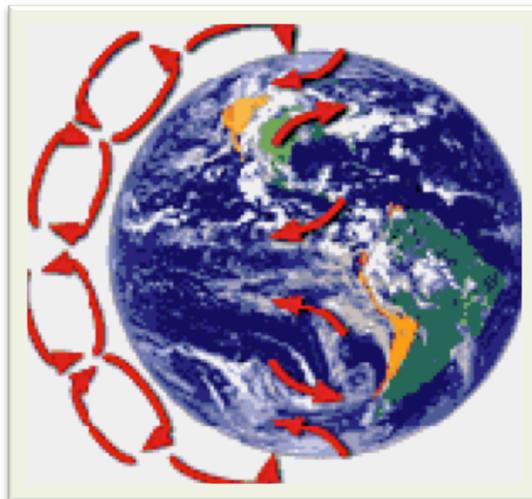


FUENTE: <http://indarki.blogia.com/2007/111801>

### 2.12.2 Energía Eólica

“Se conoce como energía eólica a la energía producida por el viento. El viento es aire en movimiento y este movimiento se origina desde una zona de alta presión, hacia una zona de baja presión. El sol calienta la superficie de la tierra durante el día, pero este calentamiento no es uniforme.”<sup>31</sup>

## GRÁFICO 19. DIRECCIÓN DE LOS VIENTOS EN EL PLANETA TIERRA



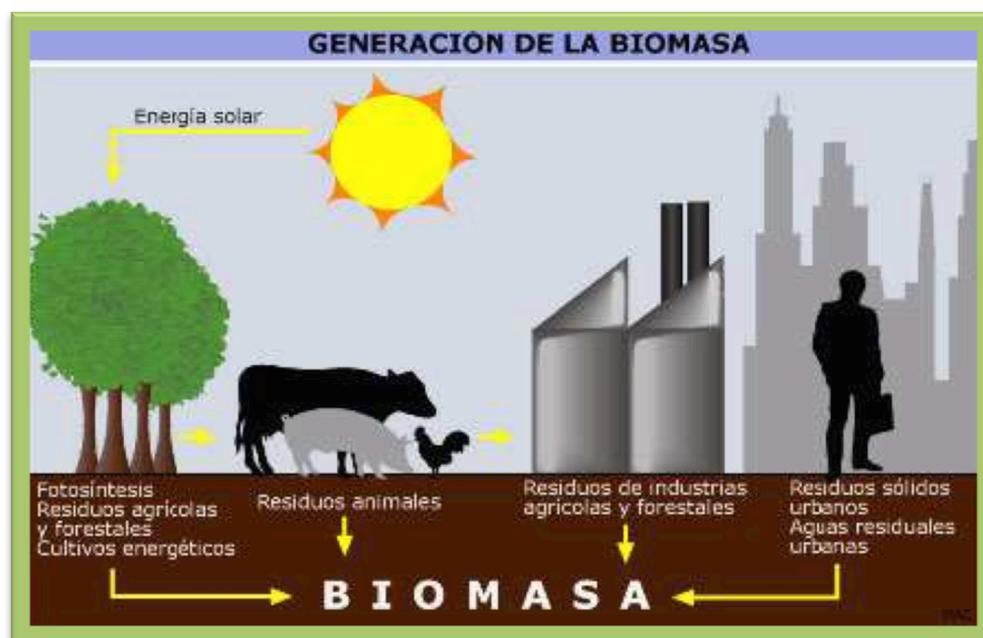
<sup>31</sup>OLADE, DEPARTAMENTO TÉCNICO; METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN AMÉRICA LATINA; GRUPO DE TRABAJO SEPTIEMBRE 17-22, 1979

Las investigaciones para desarrollar la energía del viento no demoraron en arrojar los primeros resultados y con ellos los primeros inconvenientes. Las dificultades técnicas y los altos costos de la realización de los proyectos fueron determinantes para que no se logran avances significativos.<sup>32</sup>

### 2.12.3 Energía de la Biomasa

La biomasa es una fuente de energía renovable muy extensa la cual abarca todo tipo de materia orgánica animal o vegetal. Dentro de este gran conglomerado energético se debe determinar qué tipo de biomasa es la más adecuada para la producción de energía.<sup>33</sup>

**GRÁFICO 20. GENERACIÓN BIOMASA**



FUENTE: <http://www.opex-energy.com/biomasa/>

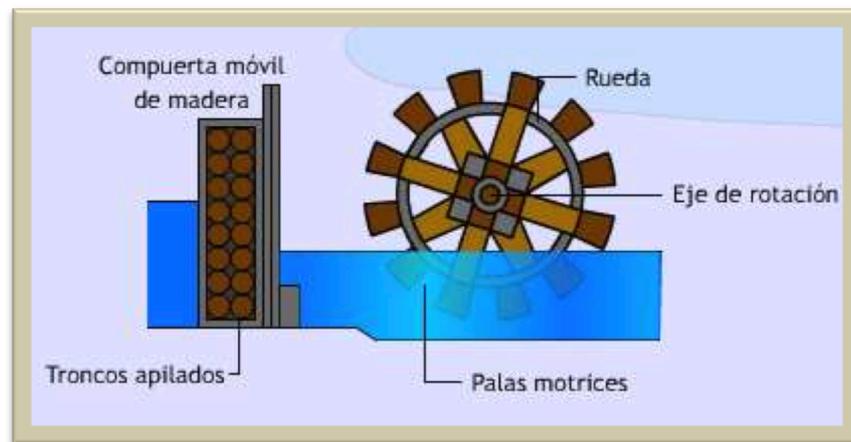
<sup>32</sup>MANUAL DE ENERGÍA EÓLICA (2ª ED.)JOSE MARIA ESCUDERO LOPEZ. MUNDI-PRENSA LIBROS, S.A., 2008. PÁG. 20

<sup>33</sup>LA BIOMASA: FUNDAMENTOS, TECNOLOGÍAS Y APLICACIONES.ALAIN DAMIEN. MUNDI-PRENSA LIBROS, S.A., 2010. PÁG. 50

#### 2.12.4 Energía Hidráulica

También conocida como energía hídrica es la energía que aprovecha las energías cinética y potencial de las corrientes de ríos y saltos de agua. La energía aprovechada es utilizada para mover ruedas hidráulicas o turbinas.<sup>34</sup>

**GRÁFICO 21. GENERACIÓN HIDRAULICA**



FUENTE: <http://www.unesco.org>

#### 2.12.5 Energía Undimotriz

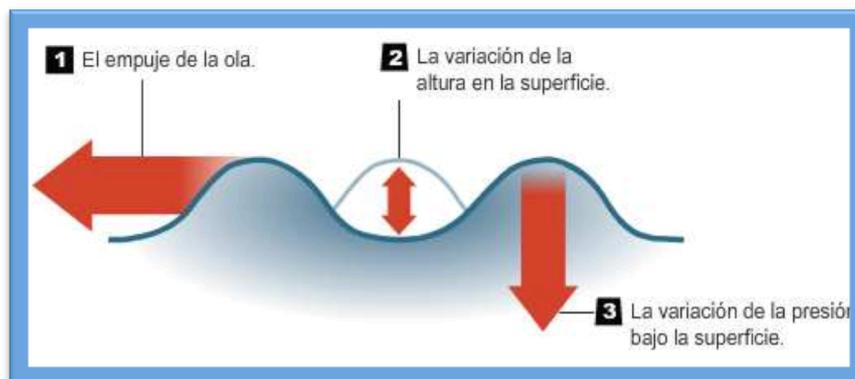
Su aplicación es bastante reciente en comparación con las demás energías renovables. Es la energía producida por las olas del mar, sin embargo, actualmente se está convirtiendo en una fuente de energía sumamente prometedora sobre todo para los países con grandes extensiones de costas.<sup>35</sup>

---

<sup>34</sup><http://www.unesco.org>

<sup>35</sup>LA ENERGÍA .VV.AA. PARRAMON, 2009.PAG.44

## GRÁFICO 22. ENERGÍA UNDIMOTRIZ



FUENTE: <http://www.opex-energy.com>

### 2.12.6 Energía Maremotecnica

Del total de la superficie terrestre, las tres cuartas partes están cubiertas por agua y el 97,7% se encuentra en los mares. Es así que la mayoría de radiación solar que incide sobre la superficie es absorbida por los océanos. La radiación que llega a los océanos penetra hasta una profundidad de unos 100 m. en aguas turbias y hasta 1.000 m. en aguas cristalinas.<sup>36</sup>

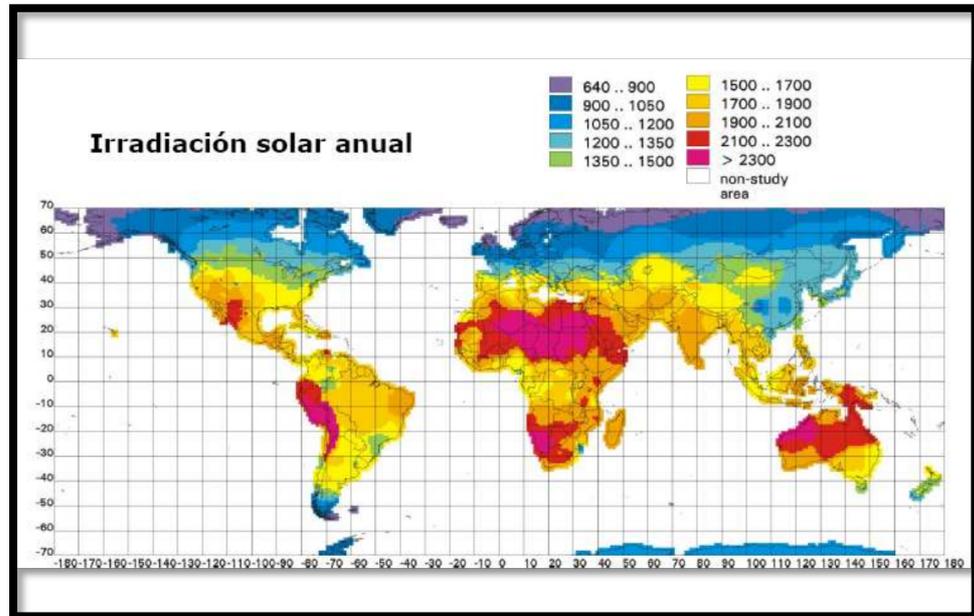
**TABLA 4. NUEVA ENERGÍA RENOVABLE Y CAPACIDAD EXISTENTE A NIVEL MUNDIAL 2012**

ENERGÍA GENERADA (GW)	NUEVA 2012	EXISTENTE 2012
GRANDES HIDROELÉCTRICAS	25-30	860
EÓLICA	27	121
PEQUELAS HIDROELÉCTRICAS	06- 08	85
BIOMASA	2	52
SOLAR FOTOVOLTAICA, CONECTADA A LA RED	5,4	13
GEOTÉRMICA	0,4	10
CONCENTRACIÓN TÉRMICA DE CALOR	0,06	0,5
OCEÁNICA	~0	0,3

Fuente: Reporte 2012 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, REN21

<sup>36</sup> Ídem PAG.55

## GRÁFICO 23. IRRADIACIÓN SOLAR MUNDO



Fuente: Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie DGS, Tecnología Solar de Alemania. Energía Solar térmica y Centrales. Solar térmicas, R. E. Wuest; Quito, Junio 2012.

### 2.13 Unidades y Magnitudes.

Todas las magnitudes se expresan en las unidades del sistema hasta ahora tradicionalmente empleado, entre paréntesis, en unidades del sistema internacional S.I. Las relaciones básicas que permiten pasar de un sistema a otro son las siguientes:

Unidad de calor:

$$1 \text{ kcal (kilocaloría)} = 4,186 \text{ J (julio)} \quad 1 \text{ J} = 0,2389 \times 10^{-3} \text{ kcal}$$

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 1.163 \text{ W (vatio)}$$

$$1 \text{ Watt} = 0.868 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$1 \text{ Watt} = 3.41214 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

$$1 \frac{\text{Watt}}{\text{m} * ^\circ\text{C}} = 0.5779 \text{ Btu/ft} * \text{h} * ^\circ\text{F}$$

### **2.13.1 Coeficiente de conductividad térmica ( $\lambda$ )**

Unidades: kcal/m h °C (W/m °C).

Es la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de extensión infinita y caras plano-paralelas y de espesor unidad, cuando se establece una diferencia de temperatura entre sus caras de un grado.

**TABLA 5. PROPIEDADES FISICAS DE MATERIALES.**

Tabla : Propiedades físicas de materiales, con espesor mínimo recomendable para la simulación.					
			$\lambda$		
Material	Densidad	CalorEsp.	Conduct.	Capacidad	Difusividad
[Unidad]	Kg/m3	J /Kg °C	W /m °C	MJ/m3 ° C	mm2/s
Alfombras y moquetas	1000	1350	0.05	1.35	0.04
Caucho vulcanizado (80% caucho)	1120	2000	0.15	2.24	0.07
Tablero aglomerado de partículas	650	1215	0.08	0.79	0.10
Pintura bituminosa	1200	1460	0.20	1.75	0.11
Agua (sin convección)	1000	4184	0.60	4.18	0.14
Corcho expandido con resinas +/-50kg	200	1460	0.05	0.29	0.16
Madera conifera	600	1380	0.14	0.83	0.17
Tablero fibra madera normal	625	1340	0.16	0.84	0.19
Madera frondosa	800	1255	0.21	1.00	0.21
Carton-yeso	900	920	0.18	0.83	0.22
Bloque hormigón ligero macizo	1000	1050	0.33	1.05	0.31
Poliuretano expandido	40	1590	0.02	0.06	0.36
Asfalto puro	2100	920	0.70	1.93	0.36
Ladrillo macizo	1800	1330	0.87	2.39	0.36
Fibrocemento P +/-200kg	2000	1250	0.93	2.50	0.37
Hormigón ligero	1000	1050	0.40	1.05	0.38
Bloque hormigón ligero	1400	1050	0.56	1.47	0.38
Guarnecido de yeso	800	920	0.30	0.74	0.41
Vidrio plano	2500	836	0.95	2.09	0.45
Fábrica ladrillo cerámico macizo	1800	878	0.87	1.58	0.55
Alicatado	2000	920	1.05	1.84	0.57
Adobe	1600	920	0.95	1.47	0.65
Hormigón armado	2400	1050	1.63	2.52	0.65
Mortero de cemento	2000	1050	1.40	2.10	0.67
Grava	1700	920	1.21	1.56	0.77
Terreno coherente humedad natural	1800	1460	2.10	2.63	0.80
Poliestireno	25	1590	0.03	0.04	0.83
Hormigón en masa vibrado	2400	805	1.63	1.93	0.84
Arena	1500	920	1.28	1.38	0.93
Mampostería granito	2800	920	2.50	2.58	0.97
Tierra vegetal	1800	920	1.80	1.66	1.09
Hielo 0°C	917	2035	2.25	1.87	1.21
Rocas compactas	2750	880	3.50	2.42	1.45
Acero y fundición	7600	502	54.00	3.82	14.15
Aluminio	2700	920	232.00	2.48	93.40
Aire	1,2	1000	0.024	21.67	

Fuente: NBE-CT-79

### **2.13.2 Resistividad térmica (R)**

Unidad: m h °C/kcal (m °C/W)

Es la inversa de la conductividad térmica:

$$R = 1/\lambda$$

### **2.13.3 Conductancia térmica (C<sub>u</sub>)**

Unidad: kcal/h m<sup>2</sup> °C (W/m<sup>2</sup> °C).

Es la cantidad de calor transmitida a través de la unidad de área de una muestra de material o de una estructura de espesor L, dividida por la diferencia de temperatura entre las caras caliente y fría, en condiciones estacionarias.

$$C_u = \lambda/L$$

Cuando las caras caliente y fría no constituyan dos superficies planas paralelas es necesario aclarar en qué condiciones se da la conductancia térmica. La conductancia térmica depende del espesor L del material, mientras la conductividad se refiere a la unidad de espesor del material.

### **2.13.4 Resistencia térmica interna(R<sub>v</sub>)**

Unidad: h m<sup>2</sup>°C/kcal (m<sup>2</sup>°C/W)

Es el inverso de la conductancia térmica:

$$R_v = L/\lambda$$

La utilidad de este coeficiente radica en el caso en el que el calor pasa sucesivamente a través de un material formado por varios componentes; entonces las resistencias pueden ser calculadas por separado y de esta manera la resistencia del conjunto es la suma de las resistencias parciales obtenidas.

### 2.13.5 Pérdidas Horarias (P<sub>h</sub>)

Las pérdidas horarias se calculan tomando en cuenta el área del muro (ft), factor R y la diferencia de temperatura (°C).

$$P_h = \Delta T \cdot S / (R_1 + R_2) = BTU/h$$

ΔT= Diferencia de temperatura

R1= R del vidrio

R2= R del muro

### 2.13.6 Superficie Útil (S<sub>util</sub>)

Entiéndase a superficie útil como aquella superficie “encerrada” en la habitación o cuarto a calentar. La siguiente tabla proporciona diferentes valores de área para diferentes climas.<sup>1</sup> (Tabla 27)

**TABLA 6. SUPERFICIE UTIL.**

Temperatura media exterior de invierno	Superficie de pared necesaria por unidad de superficie útil
	<i>Muro</i>
<i>Climas frío</i>	
-10°C	0.72-1.0
-7°C	0.60-1.0
-4°C	0.51-0.93
-1°C	0.43-0.78
<i>Climas templados</i>	
+2°C	0.35-0.60
+5°C	0.28-0.46
+7°C	0.22-0.35

FUENTE: Juan Manuel Bohórquez Peñuela, Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia  
Departamento de Ingeniería Mecánica

### 2.13.7 Coeficiente Global por pérdidas locales (F)

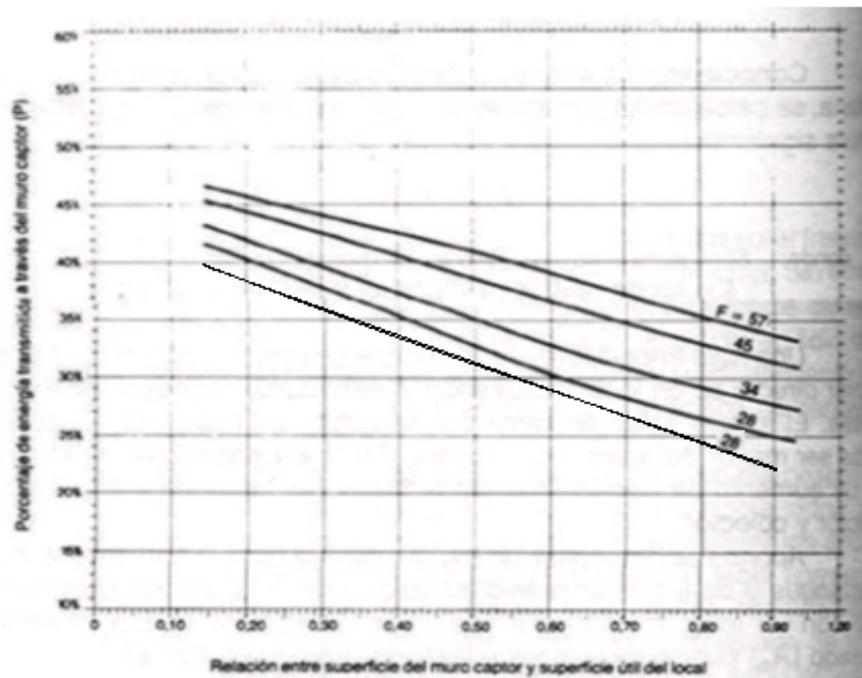
Es igual a la pérdida horaria dividida por la superficie Útil.

$$F = \frac{P_h}{S_{util}} = \frac{Watt * h}{dia * m^2}$$

### 2.13.8 Porcentaje de energía transmitida por el muro (r)

Para determinar la constante r es necesario utilizar la tabla (28). En el eje horizontal se encuentra la relación de superficie captora dividida la superficie útil. Sabiendo el coeficiente por pérdidas locales (F), se entra al eje vertical y se conoce el porcentaje transmitido.

**Grafica 24. Constante r**



FUENTE: Mazria, Edward. El Libro de la energía solar pasiva.

### 2.13.7 Cálculo de las Ganancias de Calor en el Espacio (A<sub>s</sub>)

$$A_s = S \times I \times P = (\text{Watt} \times \text{h} / \text{día})$$

S= Superficie de aporte del Vidrio.

I= Intensidad o aporte solar recibido.

P= porcentaje de energía transferida.

### **2.13.8 Coeficientes de Aportes Térmicos (C)**

Es necesario encontrar el coeficiente C para convertir este aporte en unidad por metro cuadrado.

$$C = \frac{A_s}{S_{util}} = \frac{Watt * h}{dia * m^2}$$

### **2.13.9 Temperatura Media Interna. (Ti)**

$$T_i = \frac{C}{F} * T_0$$

T<sub>0</sub>= Temperatura media exterior

## **2.14. Marco Regulatorio y Legislativo**

En estos últimos años, el Ecuador ha tenido, importantes cambios a nivel legislativo y regulatorio, como fue, en 2008, la aprobación de una nueva Constitución. A través de este texto, el Estado se compromete "a promover la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua".

También hay que destacar, la creación del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) en 2007; ministerio que tiene su origen en la Subsecretaría de Electricidad del antiguo Ministerio de Energía y Minas. Con la actual estructura administrativa, queda patente la apuesta del gobierno ecuatoriano en el sector de las energías renovables.

Hasta el momento, sólo en el sector eléctrico existen normativas relativas al uso de energías renovables:

- Ley de Regulación del Sector Eléctrico (LRSE), que en su artículo 63 incentiva el uso de las energías renovables no convencionales para la generación eléctrica. La energía solar térmica a más de ser usada para sistemas aislados en especial en centros rurales, también puede entregar energía generada por medio del Muro Trombe en zonas de baja temperatura.

## **CAPITULO III**

### **3.1 Metodología**

#### **3.1.1 Fase investigativa.**

Realizar una búsqueda y recolección de información referente al proyecto que permitió caracterizar y conocer los problemas y los aspectos más importantes de éste.

Para la recopilación de información es necesario utilizar el método observación científica con los respectivos instrumentos denominados fichas o guías de observación, los que serán llenadas en los procesos de experimentación.

Además se utilizara la técnica de la encuesta, para recabar los datos directos que permitan tener una información de primera mano.

La encuesta es oral y se emplea instrumentos auxiliares como videos similares de proyectos ejecutados en otros países.

#### **3.1.2 Fase de desarrollo de alternativas**

Plantear los requerimientos que guie al desarrollo y valoración de las alternativas generadas, realizando esquemas y otros medios que permitan visualizar los conceptos del proyecto. Tomando como parámetros los siguientes datos técnicos:

Para poder realizar un análisis de problemas es necesario tomar en cuenta los siguientes parámetros, como pueden ser: La humedad (H), la temperatura ambiente (T), la heliofanía (S), el viento (W), que van a influir directamente en los cálculos. Por ese motivo, se requiere un pequeño análisis exploratorio de esos datos, con la finalidad de detectar datos erróneos, o posibles anomalías.

### **3.1.3 Fase de desarrollo de la propuesta de diseño**

Realizar los ajustes a la propuesta seleccionada, enfatizándose en los detalles particulares, dimensionando las partes integrantes del proyecto, se establecer tolerancias, procesos, acabados y demás características que influyeron en el cumplimiento de los requerimientos de diseño y en la configuración final del muro Trombe.

### **3.1.4 Fase de comprobaciones**

Realizar las comprobaciones técnicas, hipotéticas y matemáticas que permitan evidenciar la temperatura aportada por el sistema, establecer características de diseño que influyan sobre los factores que afecten directamente al Muro.

### **3.1.5 Fase de ajustes y modificaciones finales.**

Según los resultados obtenidos, se realizara las mejoras necesarias al proyecto y se llevara a cabo los últimos ajustes que optimicen su funcionamiento.

### **3.1.6 Fase de resultados.**

Realizar el documento final con apuntes de revisión bibliográfica, la descripción del proyecto, manuales de uso, planos del proyecto, y conclusiones sobre el proyecto realizado.

## **3.2 Informe de Recolección de Datos.**

### **3.2.1 Aspectos Generales del Proyecto.**

Para determinar la población es necesario establecer el sector con temperatura más bajas, con la intención de adaptar e implementación un "Sistema de calefacción sustentable en el sector Andino del Ecuador".

Según los datos estadísticos anuales del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, señala que existen sectores específicos que no cumplen con los requisitos mínimos para brindar abrigo y confort; con estos antecedentes se determina que existen tres sectores con temperaturas bajas:

**TABLA 7. TEMPERATURAS**

ANUAL		ALTITUD	TEMPERATURA (°c)	
			MEDIA MAXIMA	MEDIA MINIMA
M031	CAÑAR	3160	17.5	7.4
M003	IZOBAMBA	3058	18.8	6.8
M103	SAN GABRIEL	2860	18.3	7.5

FUENTE: \*Tabla anuario del INAMHI.

**TABLA 8. NIVEL DE POBREZA**

	POBLACIÓN SEGUN NIVEL DE POBREZA				
	POBLACIÓN NO POBRES	POBLACIÓN POBRES	Total	% POBLACIÓN NO POBRES	% POBLACIÓN POBRES
Cañar	8993.00	9137.00	18130.00	49.6%	50.4%
Izobamba	10000.00	7650.00	17650.00	56.7%	43.3%
San Gabriel	9432.00	11579.00	21011.00	44.9%	55.1%
Ecuador	5723803.00	8605803.00	14329606.00	39.9%	60.1%

\*Tabla anuario del INEC.

**TABLA 9. VELOCIDAD VIENTO POR PROVINCIA**

Provincia	Número de estaciones	Nombre de la estación	Velocidad del Viento (m/s)
Carchi	3	Tulcán	2,70
		El Angel	6,50
		San Gabriel	2,86
Imbabura	4	Atuntaqui	2,90
		Lita	2,88
		Inquincho	2,90
		Otavalo	2,56
Pichincha	6	Olmedo	5,03
		Tabacundo	4,06
		San Antonio	3,30
		Conocoto	3,86
		Palo Quemado	2,90
		Machachi	6,56
Cotopaxi	1	Cotopaxi	8,10
Tungurahua	1	Patate	3,76
Chimborazo	3	Guamote	4,20
		Pachama Tixán	3,50
		Chunchi	3,43
Cañar	1	Cañar	4,53
Azuay	2	El Labrado	3,00
		Minas de Huaschaca	3,70
Loja	5	Saraguro	4,60
		La Toma	3,70
		Cotacocha	3,30
		Gonzanamá	3,00
		Cariamanga	2,53
Esmeraldas	2	Las Palmas	3,86
		La Propicia	3,19
Manabí	2	Pedernales	3,33
		Boyacá	3,26
Guayas	3	Guayaquil AP	3,50
		Inocar	2,60
		Salinas	3,36
Galápagos	3	El Progreso	2,50
		Seymour	5,10
		Baquerizo	3,00

FUENTE: FUENTE: ANUARIO METEOROLOGICO 2009 INAMH

Dentro de estos tres sectores (Cañar, Izobamba y San Gabriel), determinamos que en cuanto a nivel de pobreza se refiere, el Cantón de San Gabriel tiene un índice de pobreza del 55.1%, sin embargo no cumple los parámetros de temperatura y altitud necesarios para este proyecto. Por lo

tanto es el Cantón Cañar con un porcentaje de 50.4% de pobreza el adecuado para continuar con nuestro objetivo.

Según los datos estadísticos obtenidos en el INHAMI, se puede determinar que la zona más adecuada por su baja de temperatura (17.5 y 7.4 °C) y altitud (3160 msnm), para desarrollar el proyecto de un sistema de calefacción alternativo es en la Provincia del Cañar, Cantón Cañar. La radiación solar en los sectores andinos del Ecuador son superiores a 4200 Wh/m<sup>2</sup>/día, específicamente en Cañar tenemos una radiación solar de 4500 Wh/m<sup>2</sup>/día.

**TABLA 10. TEMPERATURA Y VIENTO PROVINCIA DEL CAÑAR**

M031																CAÑAR				INAMHI			
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)				PUNTO DE ROCÍO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación						
		ABSOLUTAS		M E D I A S				Máxima día	Mínima día	Media	Máxima día			Mínima día	Mensual	Suma		Máxima en 24hrs	día				
		Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Mensual																	
ENERO	103.3	20.8	3	16.8	7.2	11.2	100	6	45	20	88	9.0	11.5	80.9	25.1	13	16						
FEBRERO	104.0	19.8	28	3.6	10	16.4	6.9	11.4	100	1	40	24	8.9	11.5	40.8	5.1	17	19					
MARZO	166.2	21.0	10	4.7	16	18.0	7.1	12.1	100	3	36	8	84	9.0	11.6	60.7	13.2	17	17				
ABRIL	141.7	19.8	2	5.0	2	17.5	6.9	11.7	100	4	34	2	82	8.5	11.2	29.5	8.5	29	12				
MAYO	192.7	20.2	26	4.0	18	18.2	6.6	12.4	100	2	34	6	77	7.9	10.8	21.3	9.4	1	12				
JUNIO	179.7	20.0	20	4.8	23	17.5	8.0	12.5	100	15	39	18	77	8.1	10.9	46.9	24.9	11	20				
JULIO	203.6	20.0	26	5.5	20	17.1	8.0	12.1	100	2	30	11	74	7.2	10.3	17.9	3.5	2	18				
AGOSTO	169.2	20.4	20			17.2	7.6	12.1	100	3	39	20	74	7.2	10.2	15.0	2.7	17	16				
SEPTIEMBRE	224.1		5.7	16		17.5	8.4	12.7					6.2		9.6	3.8	0.9	17	10				
OCTUBRE	222.5	22.0	28	4.0	10	17.8	7.3	12.5	100	14	30	28	77	8.2	10.9	32.1	9.6	21	10				
NOVIEMBRE	161.3	20.8	9	4.1	6	18.3	7.3	12.5	100	1	27	6	74	7.4	10.5	20.7	11.2	27	8				
DICIEMBRE	168.9		4.8	31		18.2	7.5	12.0	100	2	32	9	81	8.4	11.2	37.4	12.0	18	11				
VALOR ANUAL	2037.2					17.5	7.4	12.1				78	8.0	10.9	407.0	25.1							

MES	EVAPORACION (mm)		NUBOSIDAD MEDIA (Octas)	VELOCIDAD MEDIA Y FRECUENCIAS DE VIENTO												Vel. Mayor Observada (m/s)	Velocidad MEDIA (Km/h)									
	Suma	Máxima en 24hrs		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALMA	Nro OBS													
	Mensual			(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%			(m/s)	%							
ENERO	125.9	6.0	31	7	2.5	20	0.0	0	2.0	4	3.0	12	3.6	8	0.0	0	0.0	0	4.0	1	55	93	6.0	SE	4.4	
FEBRERO	104.8	5.6	27	8	2.2	31	0.0	0	2.8	14	3.3	8	1.9	8	0.0	0	0.0	0	0.0	0	38	84	6.0	SE	4.7	
MARZO	135.2	5.5	6	7	3.0	30	0.0	0	3.9	10	3.8	14	3.5	14	0.0	0	0.0	0	6.0	1	31	93	6.0	SE	5.5	
ABRIL	134.0	6.8	7	7	2.8	23	0.0	0	3.6	10	4.7	17	4.5	17	0.0	0	0.0	0	2.8	10	23	90	6.0	N	6.7	
MAYO	157.8	6.5	6	6	2.7	20	0.0	0	3.3	18	3.8	20	3.2	12	0.0	0	0.0	0	2.3	7	23	93	6.0	E	6.1	
JUNIO	148.2	7.7	20	6	3.1	8	0.0	0	3.4	28	4.4	37	3.9	12	0.0	0	0.0	0	4.0	1	14	90	6.0	SE	8.3	
JULIO	143.9			6	3.0	7	0.0	0	4.3	11	4.9	44	5.4	28	0.0	0	0.0	0	3.4	5	5	93	8.0	S	11.9	
AGOSTO	141.5	6.7	17	6	3.1	11	0.0	0	4.3	25	5.0	30	4.5	27	0.0	0	0.0	0	0.0	0	8	93	8.0	SE	10.9	
SEPTIEMBRE	130.9	5.5	7	5																						11.9
OCTUBRE	140.6	6.6	6	6	3.2	20	0.0	0	2.6	5	4.0	24	4.2	20	0.0	0	0.0	0	2.7	7	24	93	7.0	S	6.6	
NOVIEMBRE	139.2			6	2.8	34	0.0	0	4.0	3	3.6	8	3.9	10	0.0	0	0.0	0	3.4	8	37	90	6.0	N	5.6	
DICIEMBRE	128.9	6.0	24	6	2.7	28	0.0	0	3.3	3	3.3	12	3.1	16	0.0	0	0.0	0	2.8	14	27	93	6.0	SE	5.1	
VALOR ANUAL	1630.9			6																						7.0

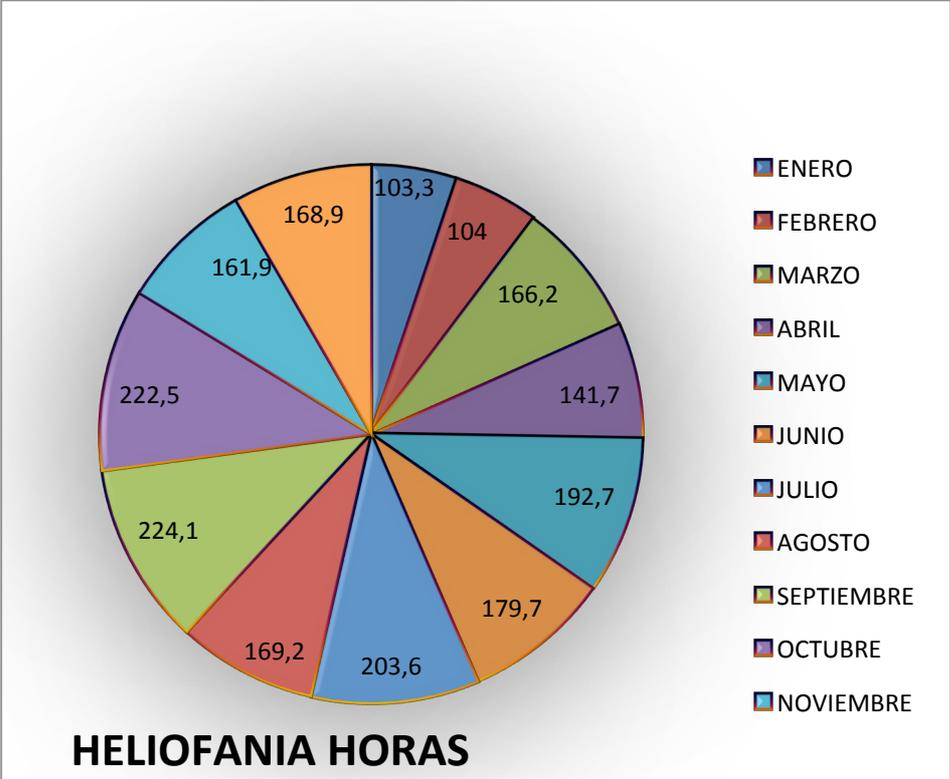
FUENTE: ANUARIO METEOROLOGICO 2009 INAMHI

**TABLA 11. HELEOFANIA Y PRESIPITACION EN CAÑAR.**

CANAR			
	HELEOFANIA HORAS	DIAS PRESIPITACION	DIAS DEL MES
ENERO	103.3	16	31
FEBRERO	104	19	28
MARZO	166.2	17	31
ABRIL	141.7	12	30
MAYO	192.7	12	31
JUNIO	179.7	20	30
JULIO	203.6	18	31
AGOSTO	169.2	16	31
SEPTIEMBRE	224.1	10	30
OCTUBRE	222.5	10	31
NOVIEMBRE	161.9	8	30
DICIEMBRE	168.9	11	31

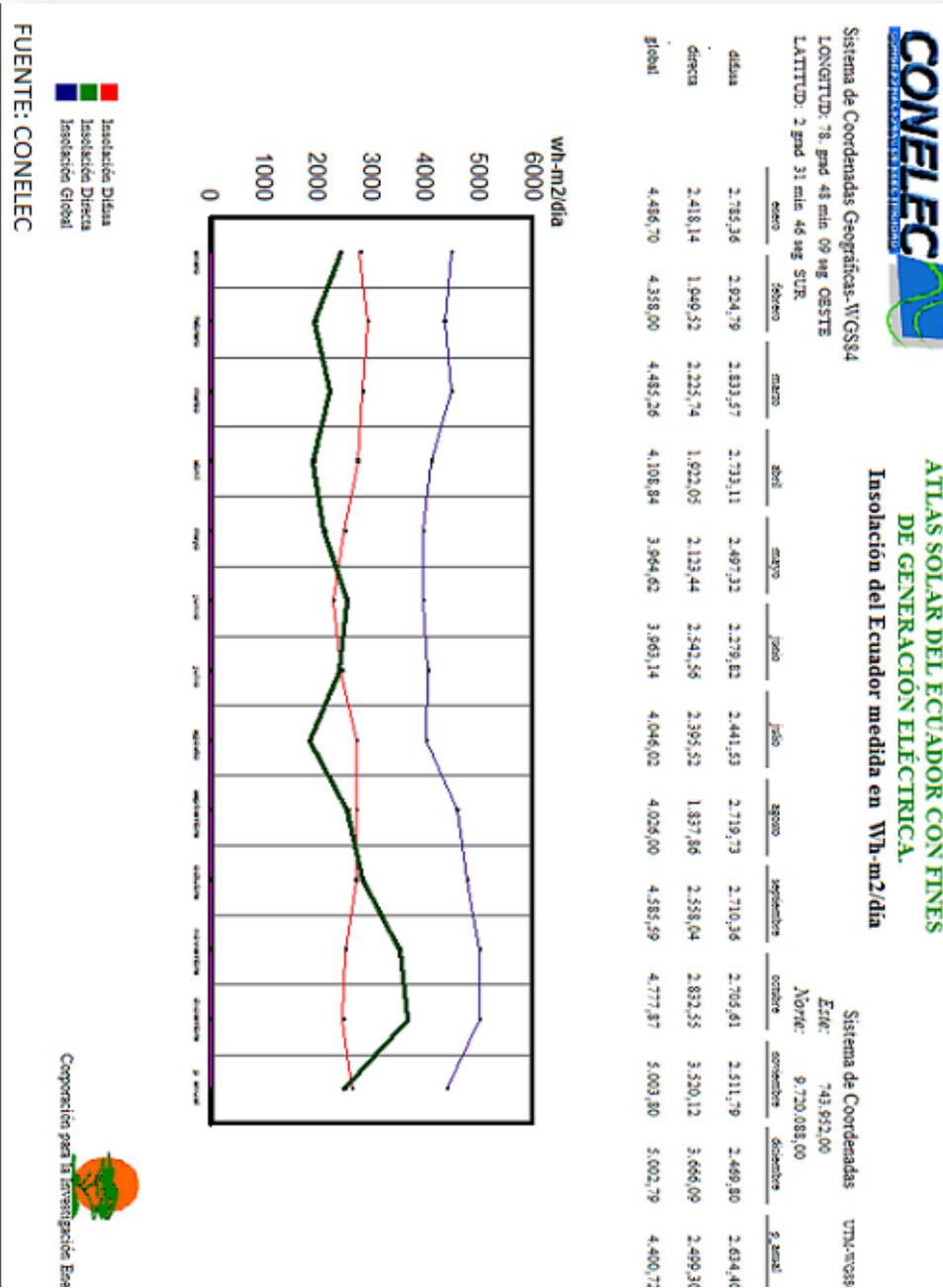
FUENTE: ANUARIO METEOROLOGICO 2009 INAMHI

**GRAFICO 25. HELIOFANIA ANUAL**



Fuente: AUTORIA PROPIA.

**TABLA 12. IRRADIACION SOLAR EN LLAKTA WAYCU.**



### **3.2.2 Aspectos Específicos.**

Por lo expuesto en los datos generales, se establece que Cañar tiene las condiciones climáticas, geográficas y socioeconómicas necesarias para implantar un sistema de calefacción apropiado.

Por falta de información del INHAMI, se procede a realizar una investigación exploratoria, misma que señala que la comuna de Llakta Waycu cumple con parámetros básicos para realizar el proyecto.

**TABLA 13. TEMPERATURAS EN CAÑAR**

<b>Temperatura Ambiente °C</b>	
<b>7:00 AM</b>	2.00
<b>12:00 AM</b>	5.48
<b>5:00 PM</b>	4.11
<b>10:00 PM</b>	5.13
<b>3:00 AM</b>	2.54
<b>7:00 AM</b>	1.16

Fuente: AUTORIA PROPIA.

#### **a) Características Demográficas.**

Esta comunidad se ubica a 3168 metros de altura en una zona de topografía bastante accidentada donde se presentan fuertes variaciones en la pendiente del terreno.

En cuanto al núcleo principal de la población, está situado en una zona con pendientes que van desde del 10% hasta el 15%

como máximo. Esta característica influye directamente en la distribución de casas y si añadimos que en la zona no ha existido ningún plan de urbanización, no debe extrañar el hecho de que cada poblador haya habilitado su espacio individualmente mediante la autoconstrucción, haciendo sus propias instalaciones de servicios de forma precaria y sin criterio técnico. Esta mala gestión de los recursos e instalaciones generan graves problemas.

### **b) Características Socio Económicas.**

Las principales actividades económicas de los pobladores de esta comuna se basan en: la agricultura de cereales, tubérculos; siendo su principal fuente de ingreso la ganadería a pequeña escala, productos que destacan por la incidencia directa sobre el mercado provincial de Cañar. En la mayoría de los casos, se trata de una agricultura y ganadería de autosuficiencia. Las remesas de los migrantes aportan con un ingreso mensual que ayuda a los moradores del sector.

### **3.3 Población y Muestreo**

Para obtener esta proporción, se recurrió a investigar a la población de la comuna Llakta Waycu. De acuerdo a los datos se detecta que habitan en esta zona 150 personas, los cuales viven de forma permanente en el sector y están organizados de acuerdo a las actividades que desarrollan, es importante mencionar que en este sector el grupo étnico que prepondera es el Indígena.

En particular nuestra muestra corresponde a 30 personas encuestadas para conocer las posibilidades de instalar un sistema de calefacción en sus viviendas.

### **3.3.1 Técnica Utilizada para la Recolección**

Para la iniciar la recolección de datos, fue necesario socializar el proyecto, por medio de una charla informativa sobre las ventajas de utilizar métodos de calefacción, con ayuda de material audiovisual. Este proyecto se realizó con ayuda de las docentes del sector, que convocaron a la comunidad para que participen de esta iniciativa.



Fuente: AUTORIA PROPIA.

A continuación, se puso en práctica la técnica de la encuesta, efectuada a 30 habitantes, lo cual involucro la elaboración de un cuestionario para conocer la viabilidad del proyecto, estructurado de la siguiente manera:



## ENCUESTA FACTIBILIDAD MURO TROMBE

SEXO: M..... o F.....

EDAD:

**1.** ¿Cuánto tiempo habita en la zona?

- a) Menos de 5 años
- b) Más de 5 años
- c) Temporal

**2.** ¿Cuál es el material de su vivienda?

- a) Adobe
- b) Ladrillo
- c) COB

**3.** ¿Su vivienda cuenta con servicios básicos?

- a) Si
- b) No
- c) A veces

**4.** ¿Su vivienda tiene energía eléctrica?

- a) Si
- b) No
- c) A veces

**5.** ¿Está expuesto a bajas temperaturas?

- a) Siempre
- b) Casi Siempre
- c) Nunca

**6.** ¿Tiene complicaciones con su salud por causa de las bajas temperaturas?

- a) Si
- b) No

**7.** ¿Con que frecuencia presenta enfermedades respiratorias?

- a) Siempre
- b) Casi siempre
- c) Nunca

**8.** ¿Conoce sobre algún medio de calefacción para su vivienda?

- a) Si
- b) No

**9.** ¿Le gustaría tener un sistema de calefacción en su vivienda?

- a) Si
- b) No

**10.** ¿Le gustaría participar en un proyecto para instalar un sistema de calefacción a bajo costo para su vivienda?

- a) Si
- b) No

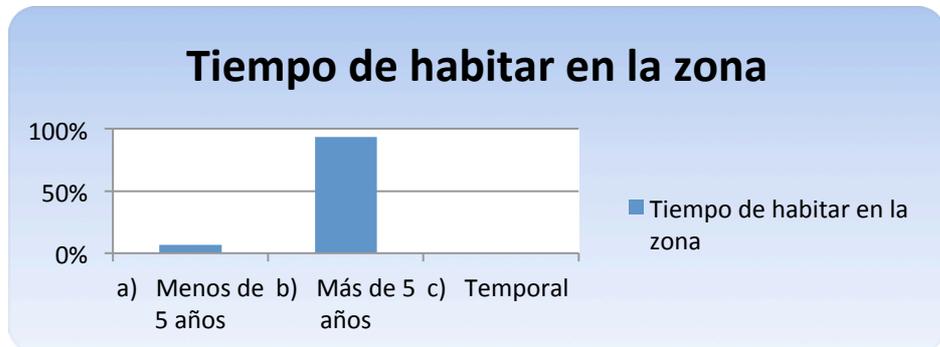
**TABLA 14. ENCUESTAS**

Encuestas																															
Preguntas/ Personas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Sumatoria
<b>1. ¿Cuánto tiempo habita en la zona?</b>																															
a) Menos de 5 años				1																											2
b) Más de 5 años	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	28
c) Temporal																															0
<b>2. ¿Cuál es el material de su vivienda?</b>																															
a) COB	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	
b) Adobe				1			1	1			1				1					1			1	1			1	1		10	
c) Ladrillo		1					2								1						1								1	5	
<b>3. ¿Su vivienda cuenta con servicios básicos?</b>																															
a) Si		1									1				1												1		1	5	
b) No	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25	
c) A veces																														0	
<b>4. ¿Su vivienda tiene energía eléctrica?</b>																															
a) Si		1																											1	7	
b) No	1								1																		1			3	
c) A veces			1	1	1			1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20	
<b>5. ¿Está expuesto a bajas temperaturas?</b>																															
a) Si	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	30	
b) No																														0	
c) A veces																														0	
<b>6. ¿Tiene complicaciones con su salud por causa de las bajas temperaturas?</b>																															
a) Si	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	30	
b) No																														0	
<b>7. ¿Se a tenido problemas respiratorios por causa del frio?</b>																															
a) Si	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	
b) No						1	1	1														1	1	1						6	
c) A veces																														0	
<b>8. ¿Conoce sobre algún medio de calefacción para su vivienda?</b>																															
a) Si					1	1																1	1							4	
b) No	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	26	
<b>9. ¿Le gustaría tener un sistema de calefacción en su vivienda?</b>																															
a) Si	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	26	
b) No						1	1																1	1						4	

POBLACION : 150 PERSONAS  
 MUESTRA : 30 PERSONAS  
 Fuente: AUTORIA PROPIA.

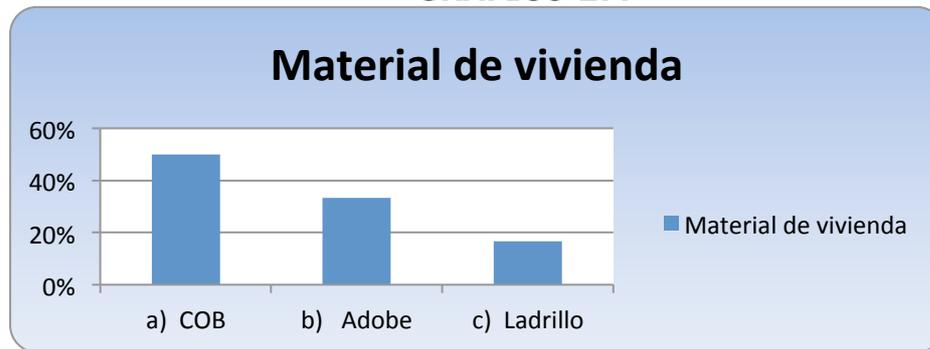
Los resultados de las encuestas indican que:

**GRAFICO 26.**



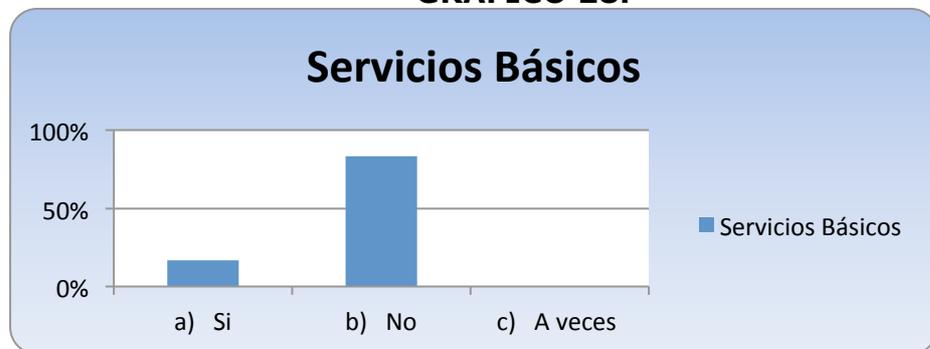
Fuente: AUTORIA PROPIA.

**GRAFICO 27.**



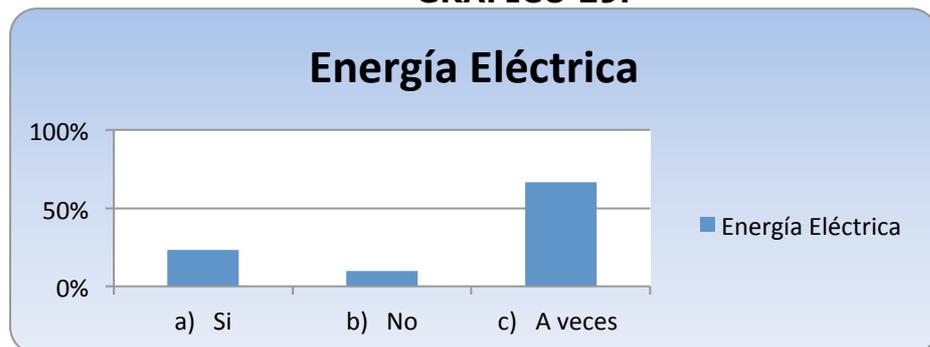
Fuente: AUTORIA PROPIA.

**GRAFICO 28.**



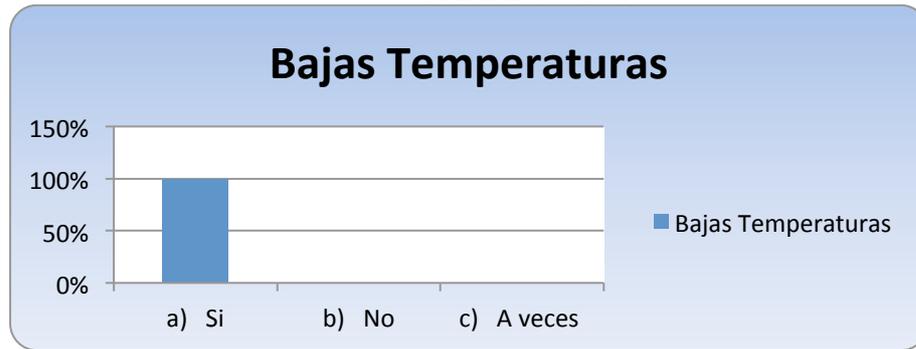
Fuente: AUTORIA PROPIA.

**GRAFICO 29.**



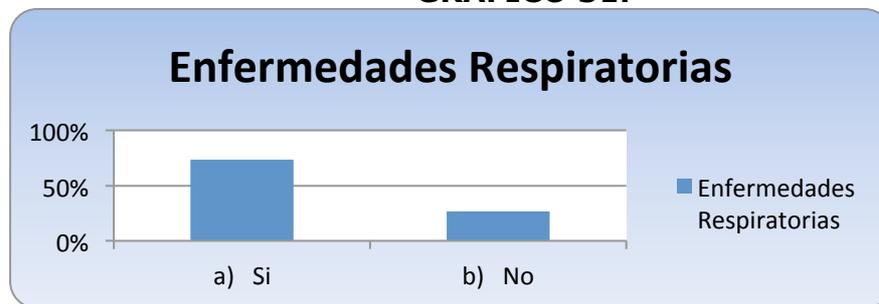
Fuente: AUTORIA PROPIA.

**GRAFICO 30.**



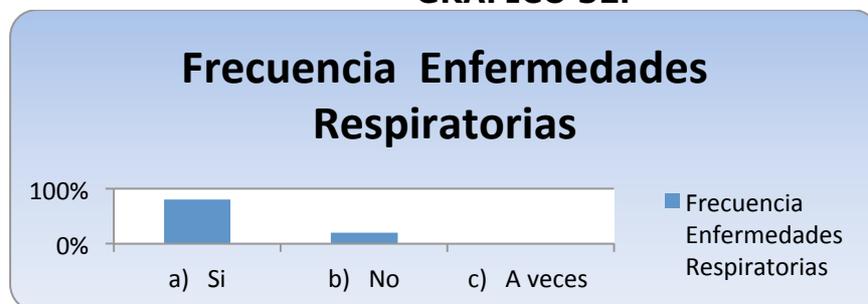
Fuente: AUTORIA PROPIA.

**GRAFICO 31.**



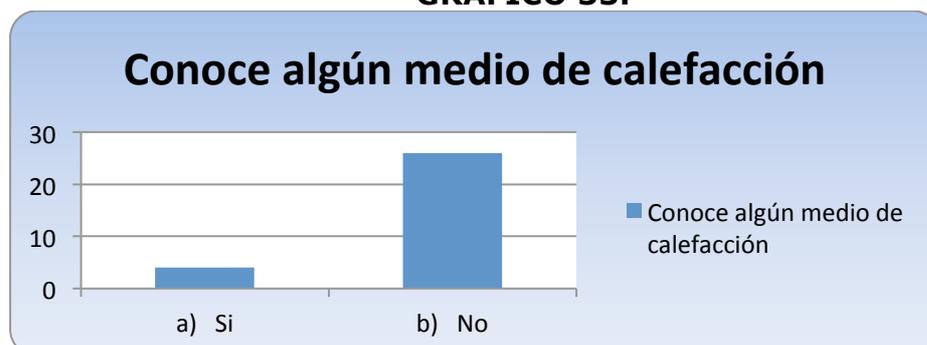
Fuente: AUTORIA PROPIA.

**GRAFICO 32.**



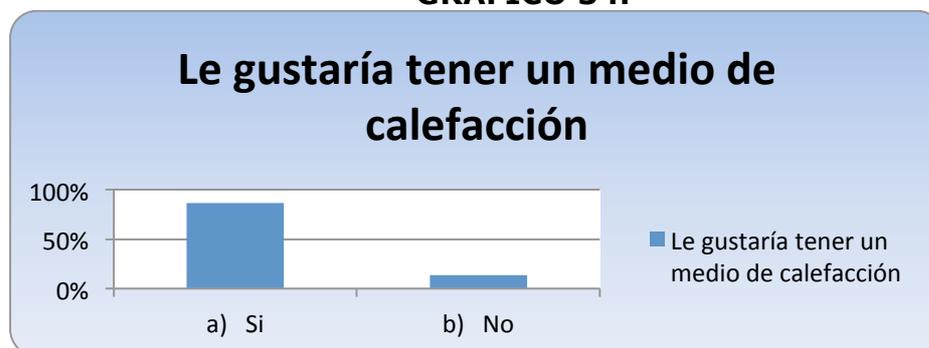
Fuente: AUTORIA PROPIA.

**GRAFICO 33.**



Fuente: AUTORIA PROPIA.

**GRAFICO 34.**



Fuente: AUTORIA PROPIA.

El 93% de la población del sector, habitan en la zona por más de 5 años, en viviendas de COB. Lastimosamente no cuentan con los servicios básicos necesarios, por lo tanto no tienen energía eléctrica con frecuencia.

Las bajas temperaturas, a las que están expuestos los habitantes, desencadenan graves problemas de salud, que les imposibilitan cumplir normalmente con sus labores diarios.

La falta de interés del gobierno central y la no cooperación del sector privado sobre proyectos de sustentabilidad energética que se puedan desarrollar en la zona, han relegado a los pobladores de esta comuna que desconocen la existencia de medios alternativos a bajo costo para brindar abrigo y confort, sin embargo muestran gran apertura para sociabilizar un sistema de calefacción en la comuna de Llakta Waiku.

### **3.3.2 Análisis para el Procesamiento de Datos.**

Dentro del proceso de análisis para adaptar un sistema solar pasivo de calefacción como es el Muro Trombe, necesitamos tomar en cuenta los siguientes aspectos para conservar el equilibrio térmico en nuestro muro:

#### **a) Condiciones Climáticas:**

- Latitud

El Ecuador se encuentra ubicado en la latitud 0°, esto significa que la dirección de los rayos solares es perpendicular y no varían durante todo el año. Por este motivo no aplica las normas internacionales<sup>37</sup> que tratan sobre el incremento del tamaño del muro a medida que aumente la latitud por recibir más calor. Por lo tanto se estandariza el modelo del muro para los sectores andinos del Ecuador con temperaturas similares a las de la Comuna de Llakta Waiku.

- Orientación

Para el replanteo del muro es necesario conocer las coordenadas:

S.02°31.466'

W.078°48.099'

De la latitud cero que es la trayectoria del sol, nuestro punto Llakta Waiku, se encuentra a 2 °.

---

<sup>37</sup> Norma Básica de la edificación "NBE-CT-79" sobre Condiciones Térmicas de los Edificios

Con esta información se ha dispuesto colocar al muro al norte para que la intensidad solar sea constante.

- Temperatura

En referencia a la temperatura cabe destacar que influye directamente en el estudio térmico de la vivienda. Se tomaran mediciones de la temperatura máxima y mínima diaria y se calculara la temperatura media, en intervalos de 3 horas durante todo el día por 2 días para evitar errores o posibles anomalías.

**TABLA 15. TEMPERATURAS VIVIENDA**

Temperatura sin muro		
	Temperatura ex	Temperatura in
6h	4.983	12.784
12 h	4.895	14.386
18 h	4.958	12.076
24 h	1.719	9.804
30 h	2.553	9.979
36 h	7.414	15.271
42 h	5.430	12.548
48 h	1.743	11.407

Fuente: AUTORIA PROPIA.

De esta manera se determinó que las temperaturas no son constantes, se obtuvo que en la noche la temperatura promedio interna de la vivienda 11.4°C y externa de 3.4°C no cumplen con las necesidades básicas de confort acorde a las normas ecuatorianas.

- Viento

El resultado obtenido muestra que por la situación geográfica los vientos que llegan al sector provienen del Sur Este del

continente, por la Cordillera de los Andes, teniendo una velocidad promedio de 10.6 mph.

- Humedad

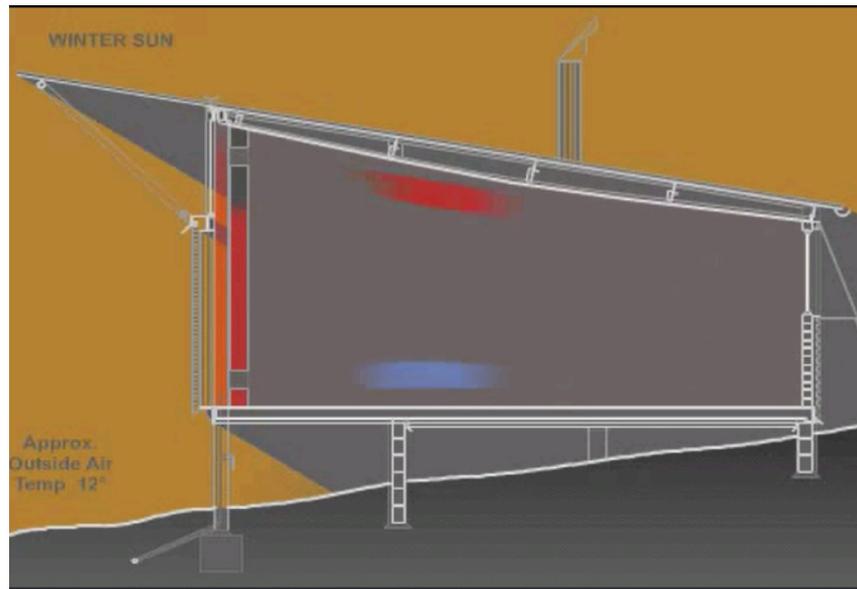
La humedad de la zona está estrechamente ligada con el viento, concretamente con la dirección de la que este sople. Puesto que existe una gran diferencia, por ejemplo, si el viento proviene del este (la costa) que si sopla del oeste. En trazos generales si el viento sopla del oeste (como es en la mayoría de los casos), va a tratarse de un viento más seco, y por tanto va a arrastrar menos humedad hacia la comunidad.

### **b) Especificaciones del Sistema de Calefacción**

Tal como hemos señalado a lo largo del proyecto, adaptaremos un sistema pasivo de calefacción denominado muro Trombe, que consiste en una pared (compuesto de COB) y una lámina de vidrio con orificios de ventilación colocados en la parte superior e inferior del muro.

La transmisión de calor se da por radiación solar, el flujo de aire es inducido por convección natural y la conducción del calor es a través del muro. El proceso de calentamiento inicia cuando la radiación solar atraviesa la pared del muro y el aire circula dependiendo la temperatura del lugar.

### GRÁFICO 35. RECIRCULACION MURO TROMBE



FUENTE: THE PASSIVE SOLAR PRIMER SUSTAINABLE ARCHITECTURE, EDIT SCHIFFER.

El aire relativamente frío en la habitación, que pasa por los ductos de escape inferiores, se calienta a medida que pasa el canal y luego ingresa a la vivienda a través de las aberturas superiores.<sup>38</sup>

#### c) Componentes y Materiales.

##### Componentes

Denominamos componentes a los elementos principales que componen el muro Trombe, son los siguientes:

##### Muro:

La pared del muro debe mantener una gran capacidad de filtración y de almacenamiento del calor. Estos factores

---

<sup>38</sup>DAVID WRIGHT. (2008). THE PASSIVE SOLAR PRIMER.SUSTAINABLE ARCHITECTURE. EDIT SCHIFFER. ATGLEN.

dependen básicamente de la conductividad térmica (baja) y de la resistencia del muro ( $k$ ) (mayor).

La Presión atmosférica y densidad del aire es un factor que es determinante a los 4000 msnm es aproximadamente un porcentaje del 40% inferior respecto a los el valor obtenido al nivel del mar.

Y la densidad por efecto de la altura disminuye. Así, considerando pares de valores presión-temperatura de (1.010 hPa, 20°C) y (630 hPa, 10°C).

Como representativos de las condiciones medias a nivel del mar y sobre el Altiplano, se determina que la densidad del aire en esta última región es un 35% inferior al valor a nivel del mar, el cual es cercano a 1.2 kg/m<sup>3</sup>.

Es preciso fijar la consistencia adecuada, es decir tener un grosor acorde a la temperatura necesaria para brindar confort. La conductividad depende del espesor de los materiales. Es beneficioso encontrar el punto de equilibrio entre el espesor y la capacidad de transmitir calor; el momento que el muro transmita calor rápidamente nos determinara que no va a cumplir la necesidad.

En el muro Trombe es necesario determinar el grosor adecuado, es decir tener un grosor acorde a la temperatura a necesitar y en este caso que es la de confort es necesario determinar un grosor óptimo.

**TABLA 16. ESPESOR MATERIALES**

MATERIAL	ESPESOR RECOMENDADO CM
COB	20-30
Ladrillo	25-35
Hormigón	30-45

FUENTE: Juan Manuel Bohórquez Peñuela, Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia  
Departamento de Ingeniería Mecánica

Los materiales y el espesor están llevados de la mano en un muro Trombe ya que para aumentar la conductividad es necesario incrementar el espesor. Es conveniente determinar el punto de equilibrio entre el espesor y la capacidad de transmitir calor; el momento que el muro trasmite calor rápidamente nos determinara que no va a cumplir la necesidad que según el estudio que se necesario calentar en las horas de la noche.

Los rendimientos en el muro se determinan acorde a la capacidad de conductibilidad. Si mayor es la conductividad, mayor calor se trasfiere a través del muro.

Es importante determinar los tres puntos del cálculo de rendimiento:

Perdidas de calor del espacio

Ganancias de calor del espacio

Determinación de la temperatura media interior y su variación

Como regla de pre dimensionado básica, se indica que la proporción de vidrio (invernadero) con respecto a la superficie habitable que se pretende calefactar debe oscilar entre  $\frac{1}{2}$  en climas fríos hasta  $\frac{1}{4}$  en climas templados. Con un

dimensionado adecuado se puede conseguir una vivienda confortable sin consumo energético por calefacción.

En nuestro proyecto el material que se utilizó para elaborar el muro fue el COB que se describe a continuación:

### ➤ **EL COB**

Generalidades:

El COB, es una técnica compuesta de tierra cruda que ha sido utilizada durante muchos años, por sus características permite brindar calor en las viviendas. Esta técnica constructiva natural, se origina de la fusión proporcionada de arena, arcilla y paja (fibra vegetal).

La diferencia fundamental entre una pared de adobe y una pared de COB, es el mecanismo de construcción, el COB se seca en sitio. Una vez secada la mezcla, la paja interior queda trabada como una red tridimensional y las paredes se transforman en una pieza monolítica. Convirtiéndose la paja en fibras que trabajan a tracción y la arcilla trabaja a compresión.

Composición:

#### **I. Arcilla**

Es un componente fácil de conseguir en los sectores andinos del Ecuador, por ubicarse abundantemente bajo la capa vegetal. Está constituida por arena y limos, partículas minerales microscópicas menores a dos micras, forman laminas que atraen y atrapan películas de agua entre sí, las cuales forman puentes entre el micro partículas del suelo,

dándoles cohesión, característica que define su resistencia mecánica.

La arcilla tiene propiedades adherentes, elásticas y al secarse se convierte en un cuerpo duro y consistente. El contenido de arcilla debe ser una mezcla de no más que la mitad de arcillas expansivas o con caolinita. Los resultados de arcilla demasiado expansiva y caolinita desencadena el agrietamiento en la pared el muro.

Las arcillas tienen varias clasificaciones:

- Según el tamaño de las partículas: caolinitas, ilitas, y montmorilonitas.
- Según su textura: arcillo-arenosa, arcillo-limosa, etc.
- Según su estabilidad: estables, inestables.

## **II. Arena.**

Es un material grueso, pesado y con muy poca retención de humedad. Está compuesta por material aluvial que no sobrepase los 3.8 mm para construir el COB y que a su vez posea granos de distintos tamaños para que sea capaz de llenar los variados espacios dentro de la mezcla. Proporciona resistencia a la compresión dándole a las paredes su fortaleza, dureza y capacidad para soportar peso.

## **III. Paja o fibras vegetales.**

Tiene que ser cortada con cuidado, que no posea semillas y evitar que este expuesta a la humedad. Las dimensiones de

los tallos no tienen que exceder los 4mm y no menor a los 2 mm, no quebradiza.

Las características que cumple la paja mezclada con la arcilla es brindar resistencia al muro, formando una especie de malla o tejido que le confiere a la construcción un carácter monolítico.

Aplicación:

Elaboramos una mezcla de un 60% de arena y un 40% de arcilla y fibra vegetal, y luego se deja secar al sol por lo general unos 25 a 30 días. Las dimensiones deben ser adecuadas para poder manejarlo.

Se puede aplicar el barro, cal o estuco, para proteger las paredes interiores y exteriores del muro. Son importantes los acabados en el muro porque en ocasiones pueden presentarse daños por el agua u otros factores. No es recomendable enlucir el muro de adobe con cemento, porque este es frágil y quebradizo, así como muy poco elástico y por ello tiende a crear grietas por las cargas térmicas que expanden y contraen el material y por impactos mecánicos.

Composición termodinámica:

La conductividad térmica debe tener un valor R:

$$R_0 = 0.41 \text{ hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{F}/.$$

Para determinar el valor total de R, multiplicar  $R_0$ , por el espesor de la pared de adobe.

A partir de ese, la conductividad se encuentra para ser:

$$k = 0,20 \text{ Btu/o de } 0,35 \text{ W } /.$$

La capacidad calorífica se cita comúnmente como:

$c_p = 0.20 \text{ Btu/o } 840 \text{ julios /}$ .

La densidad es de 95 lbm/pie<sup>3</sup> o 1.520 kg/m<sup>3</sup>.

La difusividad térmica se calcula a 0,0105 pies<sup>2</sup>/hora o  $2.72 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

### ➤ **Vidrio**

Generalidades:

Denominamos vidrio, al material compuesto por una sustancia dura, en la mayoría de los casos brillante y transparente. El vidrio cumple varias utilidades en nuestra vida diaria como: ventanas, vasos, enfrasques de todo tipo, y sobre todo desempeña un papel importante en la industria de la construcción. Por su composición y sus características exclusivas se ha convertido en un producto difícil de sustituir.

El vidrio se estructura principalmente de sílice, cal y carbonato de sodio, concentrados en altas temperaturas. También se puede emplear materiales accesorios para dar un agregado especial al vidrio o para facilitar su fabricación que dan como resultado varias clases de vidrio según su composición química.

Se lo considera un material indefinido, porque no es ni sólido ni líquido, sino que existe en un estado vítreo.

Lo que necesitamos es que el vidrio utilizado produzca el efecto invernadero, para evitar que la radiación rebote al exterior después de haber sido captada. Buscamos un vidrio con alta transmisión que aumente el calor en la pared y aislante para que retenga más tiempo la energía captada.

Aplicación:

Para la construcción del muro Trombe utilice el vidrio Sodo-Cálcico (Vidrio Común); esta clase de vidrio es el más usado en la industria de la construcción y el más económico.

La característica principal del vidrio Sodo-Cálcico, es su capacidad térmica y de transmisión de luz solar.

Conductividad Térmica: (coeficiente lambda) = 1.05 W/mK.

Para elaborarlo es necesario fundir la sílice, la cual lo hace a una temperatura muy alta (1700°C). Para reducir esa temperatura de fusión y hacer a la masa más manejable, se le agrega soda. Sin embargo para aumentar su dureza y durabilidad se agrega cal; y lo más importante el aluminio que incrementa la resistencia del vidrio en los rangos de temperaturas más bajos.

Composición química:

71-75% en peso de arena (SiO<sub>2</sub>)

12-16% de soda (óxido de sodio de la materia prima carbonato de sodio)

10-15% de cal (óxido de calcio de la materia prima carbonato de calcio)

10-20% de aluminio

Por lo general el área de vidrio debe ser de al menos el 7% del área de la habitación y no debe exceder el 12% de la misma.

Además de las características químicas que hemos mencionado el vidrio Sodo-Cálcico, es un buen transmisor del calor. Por esta razón al seleccionar el vidrio analizamos que tan efectivo era el vidrio ante los mecanismos de transmisión de calor como son la conducción, convección y radiación. Dicha propiedad es ideal para la construcción de nuestro muro Trombe porque este vidrio presenta un buen comportamiento en invierno y no compromete la temperatura en verano.

➤ **Cámara de aire.**

La cámara de aire es un componente que debemos tomar en cuenta para establecer la distancia entre el vidrio y el muro, si el espacio entre los dos es demasiado angosto es decir menos de 2 cm, se producirá considerables pérdidas de calor; al contrario si el espacio de aire está en un rango superior a 30 cm, se generara una desproporción de convección térmica en la superficie del muro, lo que también reduce el almacenamiento de calor. La cámara de aire amortigua las condiciones térmicas y acústicas del muro.

Como regla general, el espacio entre el vidrio y la pared de masa debe ser de entre 3 y 15 cm, estando su espesor óptimo en 9 cm.

**d) Volumen y diseño de los espacios a calefactar.**

Las pérdidas horarias se calculan así:

$$P_h = \Delta T \cdot S / (R_1 + R_2) = BTU/h$$

Temperatura Interior /	Temperatura Exterior /
57.2	35.6
14	2

Fuente: AUTORIA PROPIA.

$\Delta T =$	Diferencia de temperatura	21.6
Scaptora =	Area vidrio	42.6243886 ft
S utili =	Area cuarto	355.203238 ft
S =	Area espacio	455.388767 ft
R1 =	R del vidrio	2.19833871
R2 =	R del Muro	34.0192916
Ph =		271.591413 B
		6518.1939 B

Fuente: AUTORIA PROPIA.

Orificios		
1 dm2 x m2 de muro		
=	0.0404352	m2
=	404.352	cm2
Orificios radio= 6.30989816 cm		

Fuente: AUTORIA PROPIA.

Calculo de las ganancias de calor del espacio

$$A_s = S \times I \times P$$

S= Superficie captora de vidrio

I= intensidad o aporte solar recibido

P= porcentaje de energía trasferido por el muro (según tabla)

S (m2)	I ( )/( _2. )	P	As (Wh/dia)
4.04352	4500	40%	7278.336

Fuente: AUTORIA PROPIA.

Coficiente de aportación térmica.

$C = \frac{A_s}{S_{util}} =$	216	(wh/dia m2)
------------------------------	-----	-------------

Fuente: AUTORIA PROPIA.

Determinación de la temperatura media interior

$T_i = \frac{C}{F} * T_0 =$	7.23568798	
	45.0242384	°F

Fuente: AUTORIA PROPIA.

## Determinación de la variación de la temperatura interior (temperatura del muro)

e muro=	0.302	m
	0.980519481	ft
kmaterial=	0.87	(W/(m·c))
	0.502773	$\frac{Btu \cdot ^\circ F}{h \cdot ft}$
Difusividad termica		
$\alpha$ material=	0.36	mm <sup>2</sup> /s
	3.87302E-06	ft <sup>2</sup> /s
kvidrio=	0.95	W/m·°C
	0.549005	$\frac{Btu \cdot ^\circ F}{h \cdot ft}$

Fuente: AUTORIA PROPIA.

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	Situación		
	De separación con espacio exterior o local abierto	1/hi	1/he
Cerramiento verticales o con pendiente sobre la horizontal > 60° y flujo horizontal	0.13 (0.11)	0.07 (0.06)	0.2 (0.17)
Cerramiento horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤ 60° y flujo ascendente.	0.11 (0.09)	0.06 (0.05)	0.17 (0.14)
Cerramiento horizontales y flujo descendente.	0.20 (0.17)	0.06 (0.05)	0.26 (0.22)
Resistencias térmicas superficiales			

FUENTE: Juan Manuel Bohórquez Peñuela, Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia  
Departamento de Ingeniería Mecánica

hi=	11.111	$W/m \cdot ^\circ C$
	6.421	$Btu \cdot ^\circ F/h \cdot ft$
he=	11.111	$W/m \cdot ^\circ C$
	6.421	$Btu \cdot ^\circ F/h \cdot ft$

Fuente: AUTORIA PROPIA.

Utilizamos una diferencia nodal de.

$\Delta x=$	0.196	ft
-------------	-------	----

Fuente: AUTORIA PROPIA.

Se determina:

1. La transferencia de calor en uní-dimensional
2. La conductividad térmica es constante.
3. El coeficiente de transferencia es constante.

Las ecuaciones para los nodos interiores (1a4) son:

**Ecuación 1**

$$\text{Nodo 1: } T_1^{i+1} = \tau(T_0^i + T_2^i) + (1 - 2\tau)T_1^i$$

**Ecuación 2**

$$\text{Nodo 2: } T_2^{i+1} = \tau(T_1^i + T_3^i) + (1 - 2\tau)T_2^i$$

**Ecuación 3**

$$\text{Nodo 3: } T_3^{i+1} = \tau(T_2^i + T_4^i) + (1 - 2\tau)T_3^i$$

**Ecuación 4**

$$\text{Nodo 4: } T_4^{i+1} = \tau(T_3^i + T_5^i) + (1 - 2\tau)T_4^i$$

FUENTE: Juan Manuel Bohórquez Peñuela, Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia  
Departamento de Ingeniería Mecánica

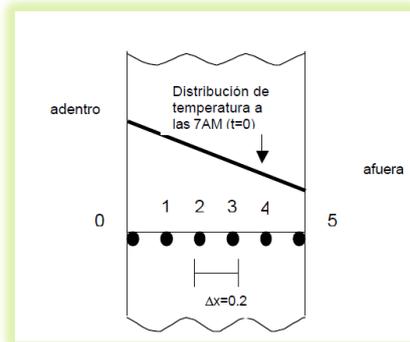
**Ecuación 5**

$$T_0^{i+1} = \left(1 - 2\tau - 2\tau \frac{h_m \Delta x}{\kappa}\right) T_0^i + 2\tau T_1^i + 2\tau \frac{h_m \Delta x}{\kappa} T_{in}$$

**Ecuación 6**

$$T_5^{i+1} = \left(1 - 2\tau - 2\tau \frac{h_o \Delta x}{\kappa}\right) T_5^i + 2\tau T_4^i + 2\tau \frac{h_o \Delta x}{\kappa} T_o^i + 2\tau \frac{\kappa g_{solar}^i \Delta x}{k}$$

FUENTE: Juan Manuel Bohórquez Peñuela, Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia  
Departamento de Ingeniería Mecánica



FUENTE: Juan Manuel Bohórquez Peñuela, Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia  
Departamento de Ingeniería Mecánica

Se sabe que los nodos exteriores (0 y 5) son más restrictivos que los nodos interiores, por eso, sólo se analiza las condiciones de frontera de estos. Entonces, es importante establecer el coeficiente restrictivo de  $T_0$ . Observando encontramos que para este problema, para el nodo cero, queda la restricción así:  $1 - 6.59\tau < 1 - 7.01\tau$ , entonces el criterio de estabilidad es:

$$\tau < 1/6.59$$

Sustituyendo los valores, el máximo valor de tiempo o paso permisible es:

$$\Delta t = \frac{\Delta x^2}{3.8\alpha}$$

$$\Delta T = 2612.99 \text{ S}$$

El valor a tomar será en minutos un valor múltiplo de 5 para facilitar el proceso Entonces, el número de malla de Fourier viene a ser:

$$\Delta t = 900 \text{ S}$$

$$\tau = \frac{\alpha * \Delta t}{(\Delta x)^2} = 0.09 \text{ S}$$

**Tabla 17. Temperatura promedio de una vivienda sin muro Trombe y una vivienda con muro Trombe.**

DIA 1				
Horas	Pared		Muro Trombe	
	Temperatura ex	Temperatura in	Temperatura ex	Temperatura in
7 AM – 10 AM	3.08	13.87	9.21	17.54
10 AM – 1 PM	6.89	11.70	17.62	15.70
1 PM – 4 PM	4.37	15.30	8.49	17.80
4 PM – 7 PM	5.42	13.48	4.14	18.00
7 PM – 10 PM	5.58	12.22	4.10	18.05
10 PM – 1 AM	4.34	11.93	3.89	17.23
1 AM – 4 AM	2.19	10.37	2.19	16.42
4 AM – 7 AM	1.25	9.24	1.25	15.12

DIA 2				
Horas	Pared		Muro Trombe	
	Temperatura ex	Temperatura in	Temperatura ex	Temperatura in
7 AM – 10 AM	1.95	9.05	10.40	12.72
10 AM – 1 PM	3.15	10.91	9.29	14.91
1 PM – 4 PM	7.24	15.68	11.36	18.18
4 PM – 7 PM	7.59	14.86	6.35	19.23
7 PM – 10 PM	6.11	12.75	4.34	17.56
10 PM – 1 AM	4.75	12.34	4.10	17.57
1 AM – 4 AM	2.49	10.66	2.36	17.23
4 AM – 7 AM	1.00	12.15	-0.90	15.14

Fuente: AUTORIA PROPIA.

**Tabla 18. Temperaturas promedio del muro Trombe según el programa.**

NODO	0h	6h	12h	18h	24h
	TEMPERATURA ( )				
T <sub>1</sub>	57.20000	61.91127	64.21580	63.75200	60.38600
T <sub>2</sub>	52.88000	70.26364	60.04595	58.83998	55.32800
T <sub>3</sub>	48.56000	69.11173	55.87610	53.92796	50.27000
T <sub>4</sub>	44.24000	64.79173	51.70625	49.01594	45.21200
T <sub>5</sub>	39.92000	60.47173	47.53640	44.10392	40.15400
T <sub>6</sub>	35.60000	56.15173	43.36655	39.19190	35.09600

Fuente: AUTORIA PROPIA.

**Tabla 19. Resumen de temperatura promedio del muro Trombe.**

Temperatura con muro		
	Temperatura ex	Temperatura in
6h	13.418	16.617
12 h	6.315	17.898
18 h	3.996	17.640
24 h	1.720	15.770
30 h	9.845	13.812
36 h	8.856	18.705
42 h	4.220	17.565
48 h	0.730	16.185

Fuente: AUTORIA PROPIA.

### **3.4 Procedimiento de Construcción**

#### **3.4.1. Instalación**

1.-Se diseña una estructura estándar para que soporte el COB:

- a) Construcción de la estructura de caña guadua, realizando un traslape de 15 x 30 cm, formando una especie de malla y facilitar la colocación del COB, los pencos de madera es la estructura principal: Ø 10 cm.



Fuente: AUTORIA PROPIA.

Se transporta 6 m<sup>3</sup> de arcilla-arenosa a 500 m cercanos a la vivienda;



Fuente: AUTORIA PROPIA.

a) Se corta 50 kg de fibra vegetal aproximadamente;



Fuente: AUTORIA PROPIA.

b) Se homogeniza los materiales, con presencia de agua evitando que la mezcla pierda sus características de adherencia y plasticidad.

b) adherencia y plasticidad.



Fuente: AUTORIA PROPIA.



Fuente: AUTORIA PROPIA.

c) El material ya amasado se coloca entre los espacios de la caña guadua formando así la pared.



Fuente: AUTORIA PROPIA.

2.- Se espera aproximadamente 30 días para que se seque el COB y de esta manera continuar con la instalación del muro Trombe.



Fuente: AUTORIA PROPIA.

3.- Acorde a los cálculos obtenidos en el capítulo 3.3.2 se determina que las dimensiones del muro Trombe son 4.8 m<sup>2</sup>. Con estas medidas se procede a construir la estructura de madera.



Fuente: AUTORIA PROPIA.

4.-Se procede a anclar la estructura de madera.



Fuente: AUTORIA PROPIA.

5.- Anclada la estructura se ubica los puntos a perforar los orificios con ayuda de un cincel y martillo. Los orificios deben de tener un diámetro de acuerdo a lo estipulado en el capítulo 3.3.2



Fuente: AUTORIA PROPIA.

6.- Se coloca un tubo en los orificios para evitar el desmoronamiento del COB.

7.- Se coloca silicón o una capa de COB para evitar el paso de flujos de aire por lugares no deseados, alrededor de la estructura de madera y orificios.

8.- Se procede hacer la limpieza de la pared para pintar con látex de color negro.

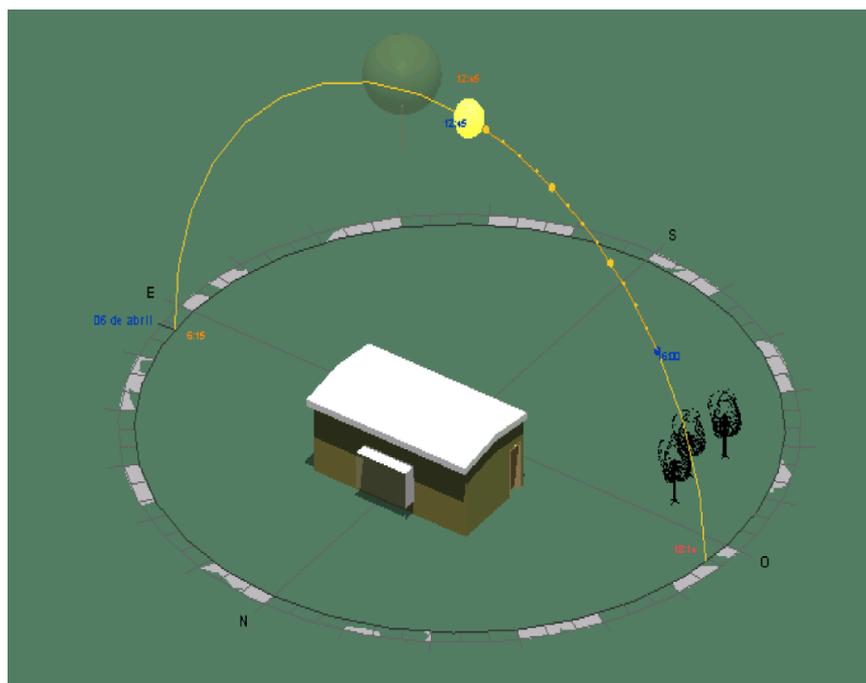
9.-El paso final es colocar el vidrio y sellar todos los bordes con silicona y de esta forma no permitir que haya ninguna fuga de calor por nuestro muro.



Fuente: AUTORIA PROPIA.



Fuente: AUTORIA PROPIA.



Fuente: AUTORIA PROPIA.

### **3.5 Análisis de Costos del Proyecto**

El análisis de precios se realizó con costos de mano de obra y materiales del sector, sin tomar en cuenta el costo indirecto, porque se trata de un proyecto social, en caso de ser necesario este valor se lo calcula de acuerdo al interesado.

### 3.5.1 Presupuesto de Costos Directos

#### UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

PROYECTO: IMPLEMENTACION E IMPLEMENTACION DE CALEFACCION EN EL SECTOR ANDINO DEL ECUADOR.

ELABORADO POR: DANIEL LOAIZA

UBICACION: LAKTA WACU

TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS

#	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL	MA
1	<b>PARED DE COB</b>					
2	ESTRUCTURA DE GUADUA	m2	20.70	3.64	75.41	
3	TRANSPORTE DE MATERIAL ( ARCILLA ARENOSA)	m3	6.00	5.76	34.56	
4	REVOCAO Y COLOCADO DE COB	m2	20.70	18.50	382.95	
5	<b>MURO TROMBE</b>					
6	ESTRUCTURA DE MADERA	m2	4.80	16.39	78.67	
7	PINTURA DE CAUCHO TIPO LATEX	m2	4.80	3.32	15.94	
TOTAL PRESUPUESTADO					587.53	
REAJUSTE ESTIMADO (2%)					11.75	
PRESUPUESTO MAS REAJUSTE					599.28	

### 3.5.2 Mano de Obra.

#### UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADO

**PROYECTO:** IMPLEMENTACION E IMPLEMENTACION DE CALEFACCION EN EL SECTOR ANDINO DEL ECUADOR.  
**ELABORADO POR:** DANIEL LOAIZA  
**UBICACION:** LLAKTA WAYCU

MANO DE OBRA DEL PROYECTO			
#	DESCRIPCION	CATEGORIA	HORAS TO
1	PEON	CATEGORIA E1	83.52
2	ALBANIL	CATEGORIA D2	20.70
3	MAESTRO DE OBRA	CATEGORIA C2	0.96
4	INSPECTOR	CATEGORIA B3	3.16
5	CHOFER LICENCIA "C"	CHOFER LICENCIA "C"	0.18
6	CARPINTERO	CATEGORIA D2	5.10
7	AYUDANTE DE ALBANIL	CATEGORIA E2	10.86

FUENTE: AUTORIA PROPIA

### 3.5.3 Equipos

#### UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECU,

PROYECTO: IMPLEMENTACION E IMPLEMENTACION DE CALEFACCION EN EL SECTOR ANDINO DEL ECUADOR.

ELABORADO POR: DANIEL LOAIZA

UBICACION: LAKTA WAYCU

EQUIPO DEL PROYECTO

#	DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO	COM
1	HERRAMIENTA MENOR	HORA	1.00	
2	CAMIONETA 2000CC DOBLE TRACCION	HORA	5.00	
3	ANDAMIO	HORA	0.25	
4	EQUIPO DE PROTECCION INDUSTRIAL	HORA	0.10	

### 3.5.4 Materiales

#### UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

PROYECTO: IMPLEMENTACION E IMPLEMENTACION DE CALEFACCION EN EL SECTOR ANDINO DEL ECUADOR.

ELABORADO POR: DANIEL LOAIZA

UBICACION: LLAKTA WAYCU

#### MATERIALES DEL PROYECTO

#	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
1	TABLA DE MINTE ANCHO 25 CM	m	12.00
2	AGUA	m3	0.00
3	LIJA	hoja	28.80
4	ALAMBRE GALBANIZADO NO.12	kg	0.41
5	ARCILLA ARENOSA	m3	6.21
6	CANA GUADUA L= 7M	m	32.91
7	CLAVOS	kg	0.26
8	COLA BLANCA DE CARPINTERO	gl	0.24
9	PALA PARAMO	kg	49.99
10	PINGOS D=10CM	m	26.91

### 3.5.5 Cronograma

#### UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

PROYECTO: IMPLEMENTACION E IMPLEMENTACION DE CALEFACCION EN EL SECTOR ANDINO DEL ECUADOR.

ELABORADO POR: DANIEL LOAIZA

UBICACION: LLAKTA WAYCU

#### CRONOGRAMA VALORADO DEL PROYECTO

#	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL	SEMANA 1	SEMANA 2	SE
	PARED DE COB				492.92			
1	ESTRUCTURA CANA GUADUA	m2	20.70	3.64	75.41	20.70	75.41	100.00
2	TRASPORTE DE MATERIAL ARCILLA ARENOSA	m3	6.00	5.76	34.56		6.00	34.56
							100.00	
3	REVOCADO Y COLOCADO DE COB	m2	20.70	18.50	382.95		10.35	191.48
							191.48	50.00
	MURO TROMBE				94.61			
4	ESTRUCTURA DE MADERA PARA MURO TROMBE	m2	4.80	16.39	78.67			
5	PINTURA DE CACHO TIPO LATEX	m2	4.80	3.32	15.94			

MONTO PARCIAL 75.41 226.04

% PARCIAL 12.84 38.47

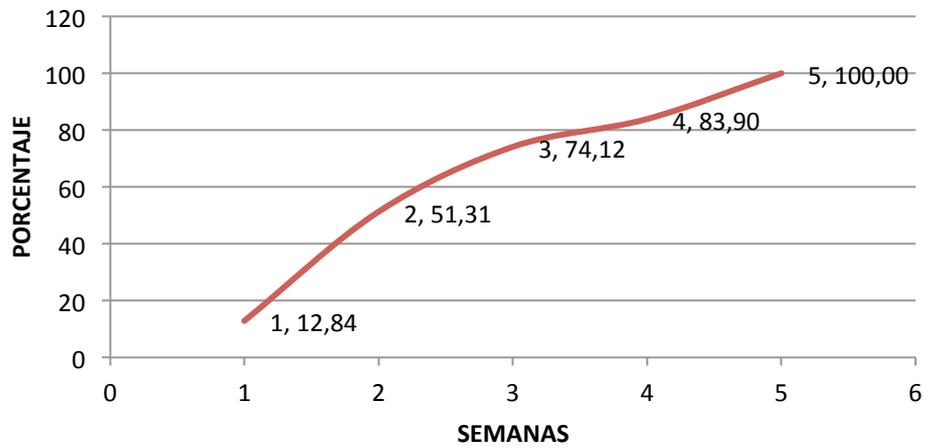
MONTO ACUMULADO 75.41 301.45

PROYECTO: IMPLEMENTACION E IMPLEMENTACION DE CALEFACCION EN EL SECTOR ANDINO DEL ECUADOR

13.04

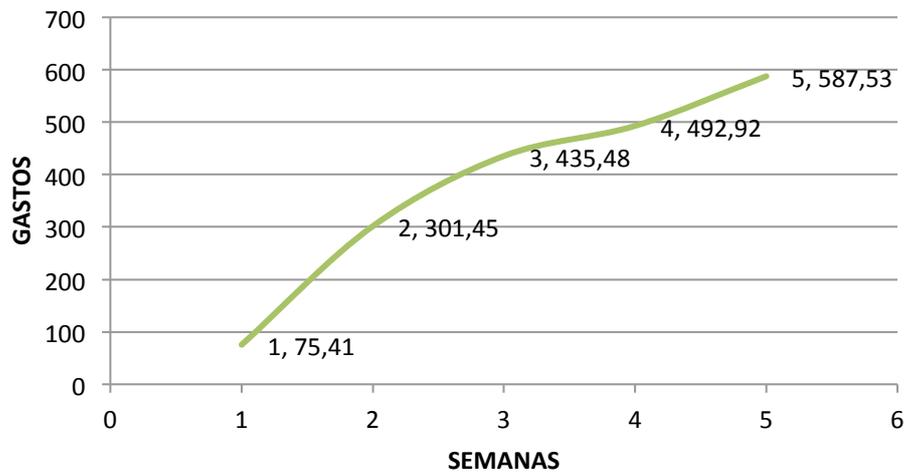
13.04

## CRONOGRAMA DE AVANCE DEL PROYECTO



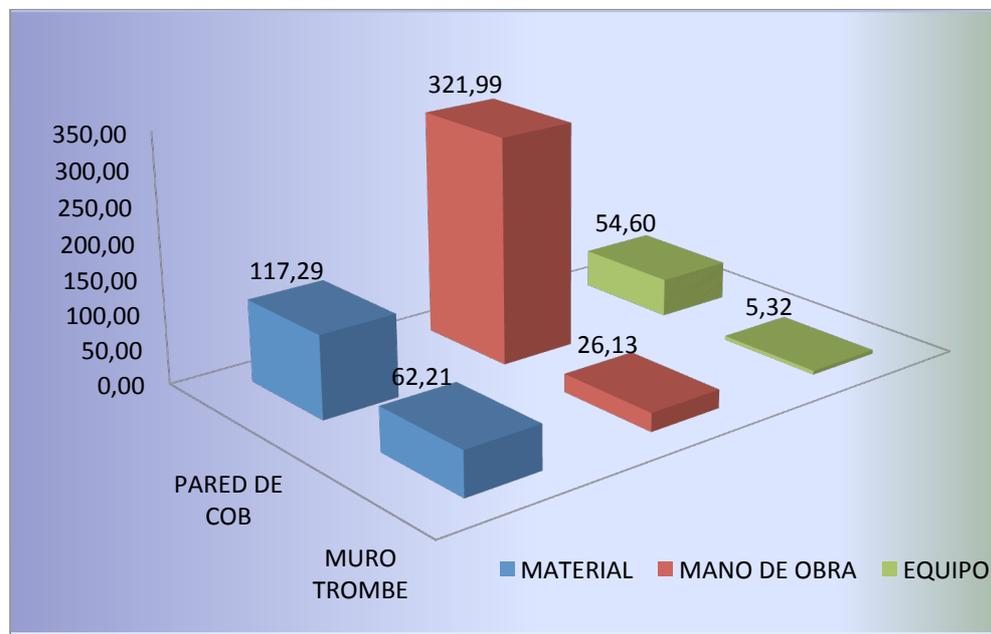
Fuente: AUTORIA PROPIA.

## CRONOGRAMA DE GASTOS DEL PROYECTO



Fuente: AUTORIA PROPIA.

### 3.5.6 Gastos de Pared de COB vs Muro Trombe



Fuente: AUTORIA PROPIA.

- Es importante señalar que el costo más alto es la mano de obra en la pared de COB, sin embargo si es el caso de un proyecto comunitario los costos bajan a cero, porque la población contribuye esta actividad sin un costo, pero si se realiza el proyecto por medio de una empresa pública o privada se tiene que considerar los valores establecidos en el análisis de precios.

### 3.5.6 Costos por m2

#### UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL I

PROYECTO: IMPLEMENTACION E IMPLEMENTACION DE CALEFACCION EN EL SECTOR ANDINO DEL I  
ELABORADO POR: DANIEL LOAIZA  
UBICACION: LLAKTA WAYCU

TABLA DE COSTOS POR m2

#	DESCRIPCION	UNIDAD
1	PARED DE COB	m2
2	MURO TROMBE	m2

Es importante establecer que el costo de \$19.51 por metro cuadrado de un sistema de calefacción sustentable llamado "MURO TROMBE" es económicamente accesible para las personas de escasos recursos como es el caso del sector de LLAKTA WAYCU.

### **3.5.7 Financiamiento**

Internacionalmente existen organizaciones que ayudan con el financiamiento de proyectos con energías renovables no convencionales. Estas organizaciones promueven el cuidado del medioambiente. Incluso ciertas instituciones otorgan créditos no reembolsables en países en vías de desarrollo que deseen desarrollar proyectos de energía alternativa

A continuación se detallan algunos de estos organismos:

- El Programa de Pequeñas Donaciones
- Environmental Enterprises Assistance Fund
- Renewable Energy and Energy Efficiency Fund - REEF
- Solar Development Group – SDG
- Terra Capital Investors Limited
- Corporación Financiera Internacional
- Prototype CarbonFund PCF
- Corporación Andina de Fomento CAF

## **CAPITULO IV**

### **4.1 Conclusiones**

- La falta de servicios básicos en las viviendas, su nivel de pobreza, su aislamiento y la desinformación respecto a cómo lograr concretar un proyecto que pueda proveerle de energía, arrojó la necesidad de elaborar un sistema de calefacción interna. El muro Trombe resultó ser económico, eficiente y renovable para la calefacción de las viviendas en las zonas andinas del Ecuador.
- Los costos de los materiales de construcción del muro Trombe y mano de obra son precios reales, necesario para realizar un presupuesto acorde a la comunidad de Llakta Waycu, el costo elevado de los materiales se incrementa principalmente por la falta de materiales en la comuna. El costo por metro cuadrado de construir una pared de COB es de \$23.86 y el costo de un muro Trombe en el sector de Cañar y sectores aledaños es de \$19.51
- El Ecuador tiene una excelente ubicación geográfica así como una variedad de recursos humanos que nos permitieron desarrollar nuestro proyecto sobre todo porque la radiación solar es perpendicular en todo el año, factor esencial para el funcionamiento del muro Trombe.
- Los materiales y el espesor de la pared están llevados de la mano en un muro Trombe ya que para aumentar la

conductividad es necesario incrementar el espesor. Es conveniente determinar el punto de equilibrio entre el espesor y la capacidad de transmitir calor; el momento que el muro transmita calor rápidamente nos determinara que no va a cumplir la necesidad que según el estudio que se necesario calentar en las horas de la noche, en el proyecto el espesor utilizado y adecuado fue de 30 cm el cual trabajo de la mejor manera durante todo el proceso de estudio.

- Se han analizado las condiciones pertinentes, tanto al análisis experimental como a las simulaciones numéricas, identificándose las correspondientes limitaciones de la zona. Ambas se han particularizado para el estudio de muro Trombe, cuyas dimensiones, composición se describen y que la característica peculiar es la técnica del COB.
- Se ha observado a lo largo del desarrollo de este trabajo, el comportamiento térmico de la vivienda en el sector, mismo que refleja un orden típico regular, tanto en el análisis horario mensual, como en el análisis horario diario, permaneciendo constantes.
- Se cumplió satisfactoriamente con los objetivos del trabajo de generar energía, natural, limpia, barata y a corto plazo, con la información obtenida en las diferentes etapas de la investigación, fue posible analizar que es una solución inmediata.

- El muro Trombe podrían servir de instrumento que permita valorar la idoneidad de utilizar la técnica del COB, estimando las condiciones climatológicas. Como además podrían servir a otras comunidades del país.
- La aplicación de este tipo de Muros puede constituirse en una solución para sectores aislados donde no es posible el acceso de las redes eléctrica sola instalación de otro tipo de generación.
- En el análisis de los cálculos se determinó que no se pudo llegar al confort esperado de 21°C pero se pudo mejorar la calidad de vida teniendo una temperatura promedio en el interior de la vivienda de 16.77°C respecto a 12.28°C que se tenía sin el muro Trombe, las causas principales para no llegar a una confort en la vivienda fue la falta aislante térmico, provocando pérdidas de temperaturas.
- El beneficio respecto al costo de construir un muro Trombe para mejorar la calidad de vida de la población del sector andino del Ecuador no se encuentra dentro de los valores aceptables ya que incrementa la temperatura 4.49°C a un costo \$19.51 por metro cuadrado en un muro estimado de 4.8 metros cuadrados.
- Se probó que los cálculos y el diseño realizado cumplen de forma satisfactoria los resultados de las pruebas experimentales; con un porcentaje de error del 15% aproximadamente.

- En resumen, a partir de los cálculos numérico y desarrollo experimental realizados, se ha llegado a un entendimiento más claro sobre cómo es el funcionamiento del muro Trombe, así como implementar técnicas de simulaciones para la caracterización de este tipo de construcciones en el sector andino del Ecuador.

#### **4.2 Recomendaciones**

- El muro Trombe es un sistema de calefacción solar alternativa de tipo pasivo, muy poco conocido y sobretodo no desarrollado. Es necesario proponer el proyecto a organismos internacionales que ayuden a fomentar el desarrollo rural del sector indígena del Ecuador, capacitando a los sectores más necesitados de este tipo de sistema.
- Crear pequeñas empresas distribuidoras de materiales de construcción para evitar los gastos de movilización de los constructores de muro Trombe.
- El gran aporte del sol por encontrarse perpendicular todo el año en el Ecuador, fomenta a que este tipo de sistemas sustentables sea una alternativa para los sectores que tengan un nivel de pobreza alta, los cuales se encuentran con sueldos inferiores al establecido por el Gobierno interino.
- Es importante establecer que los materiales a utilizarse en el muro sean de características con una alta absorción y lentos para transmitir el calor.

- Exponer este sistema de calefacción sustentable al gobierno para que ayude con financiamiento, becas para que los profesionales se preparen en el extranjero ya que en nuestro país no existe suficiente conocimiento sobre energías alternativas.
- Se encontró puntos sensibles en la cubierta que carecían de aislamiento el cual genero pérdidas significativas de calor, es recomendable tomar muy en cuenta estos puntos ya que el viento afecta directamente en estos sitios.

### 4.3 Bibliografía

- FUNDACIÓN NATURA.TEXTOS DE CONSULTA: "ENERGÍAS RENOVABLES: CONCEPTOS Y APLICACIONES", QUITO, JUNIO,2003.
- STEADMAN.2000. ENERGÍA, MEDIO AMBIENTE. MADRID- ESPAÑA. EDITORIAL H. BLUME. PÁG.
- JOSÉ MARÍA FERNÁNDEZ. 2011. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y TERMOELÉCTRICA.
- QIANG FU, UNIVERSITY OF WASHINGTON, SEATTLE, WA, USA 2003 ELSEVIER SCIENCE LTD.
- JOHN A. DUFFIE.1980.SOLAR ENGERINEERING OF THERMAL PROCESSES. UNITED STATES OF AMERICA. EDIT WILEY – INTERSCIENCE PUBLICATION.
- LIBRO COMPENDIO DE ENERGÍA SOLAR. JOSÉ MARÍA SALGADO.2010.
- CONVENIO MIDUVI- CÁMARA DE LA CONSTRUCCIÓN DE QUITO.2011.NORMAS ECUATORIANAS DE CONSTRUCCIÓN CAPÍTULO 13 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA CONSTRUCCIÓN EN ECUADOR.
- MAZRIA, EDWARD. EL LIBRO DE LA ENERGÍA SOLAR PASIVA. EDICIONES G. GILI.
- CALEFACCIÓN SOLAR PARA REGIONES FRÍAS. JEAN FRANCOIS ROZIS - ALAIN GUINEBAULT. ITDG – PERÚ. 1997.
- ARQUITECTURA Y MEDIO AMBIENTE E TSA UNIVERSIDAD DE SEVILLA PROF. J. PÉREZ DE LAMA 2008/2009.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR SONNENENERGIE DGS, TECNOLOGÍA SOLAR DE ALEMANIA. ENERGÍA

SOLARTÉRMICA Y CENTRALES SOLARTÉRMICAS, R. E. WUEST; QUITO, JUNIO 2009.

- TOMAS PERALES BENITO. 2008. INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES TÉRMICOS. MÉXICO. EDITORIAL ALFA OMEGA.
- DANIEL K. REIF. 1983. RECONVERSIÓN SOLAR AÑADA ENERGÍA SOLAR A SU CASA. BARCELONA- ESPAÑA. EDICIONES G. GILI, S.A.
- IGNACIO ZABALZA BRIBIAN, SERGIO DÍAZ DE GARAIÓ Y EVA LLERA SASTRESA. 2010. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES Y EQUIPAMIENTO DE EDIFICIOS. ESPAÑA. EDITORIAL UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA.
- COMPENDIO DE ENERGÍA SOLAR: FOTOVOLTAICA, TÉRMICA Y TERMO ELECTRÓNICA JOSE M FERNANDEZ SALGADO MUNDI-PRENSA LIBROS, S.A., 2010.
- LOS BIOCOMBUSTIBLES (2ª EDICION) MANUEL CAMPS MICHELENA MUNDI-PRENSA LIBROS, S.A., 2008.
- OLADE, DEPARTAMENTO TÉCNICO; METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN AMÉRICA LATINA; GRUPO DE TRABAJO SEPTIEMBRE 17-22, 1979
- MANUAL DE ENERGÍA EÓLICA (2ª ED.) JOSE MARIA ESCUDERO LOPEZ. MUNDI-PRENSA LIBROS, S.A., 2008.
- LA BIOMASA: FUNDAMENTOS, TECNOLOGÍAS Y APLICACIONES .ALAIN DAMIEN. MUNDI-PRENSA LIBROS, S.A., 2010.
- CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN ENERGÉTICA, ESTUDIO REALIZADO PARA EL H. CONSEJO PROVINCIAL DE LOS RÍOS; PROYECTO PARA LA UTILIZACIÓN DE BIOMASA RESIDUAL EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA,

FASE1: INVESTIGACIÓN SOBRE EL RECURSO; QUITO, MAYO 2005.

- ENERGÍA HIDROELÉCTRICA. JOSE FRANCISCO SANZ OSORIO.PRENSAS UNIVERSITARIAS DE ZARAGOZA, 2008.
- INECEL; DIRECCIÓN DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN, INVENTARIO DE PROYECTOS; CATALOGO DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS DE PEQUEÑA CAPACIDAD (PI<5MW); PUBLICACIÓN INECEL- CFN, NOVIEMBRE DE 1997.
- LA ENERGIA .VV.AA. PARRAMON, 2009.PAG.44
- STEADMAN.2000. ENERGÍA, MEDIO AMBIENTE. MADRID- ESPAÑA. EDITORIAL H. BLUME.
- ENERGIA RENOVABLE PRÁCTICA.SEBASTIAN URKIA LUS.PAMIELA, 2003.
- REPORTED2008RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORKFORTHE21ST CENTURY,REN21
- CONELEC; Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano, Primer Semestre del año 2008.
- INSTITUTO NACIONAL DE ENERGÍA; FRANKLIN CARRASCO, JEAN PAUL DURAND, FERNANDO GONZÁLEZ; ESTUDIO DEL POTENCIAL SOLAR Y EÓLICO DEL ECUADOR; 1981.
- (J.F. ROBERT, J.L. PEUBE Y F. TROMBE, "EXPERIMENTAL STUDY OF PASSIVE AIR-COOLED FLAT-PLATE SOLAR COLLECTORS: CHARACTERISTICS AND WORKING BALANCE IN THE OBEILLO SOLAR HOUSES", ENERGY CONVERSION IN HEATING AND COOLING AND VENTILATION BUILDINGS, HEMISPHERE, WASHINGTON, VOL. 2, PP. 761-782, 1978).

- DAVID WRIGHT. (2008). THE PASSIVE SOLAR PRIMER. SUSTAINABLE ARCHITECTURE. EDIT SCHIFFER. ATGLEN.
- UNIVERSIDAD DE INGENIERIA DE ANTIOQUIA, FRANCISCO JAIME MEJÍA GARCÉS, IC, 2009
- REVISTA INTERNACIONAL DE MÉTODOS NUMÉRICOS PARA CÁLCULO Y DISEÑO DE INGENIERÍA. BLAS ZAMORA, LUIS MOLINA-NINIROLA Y ANTONIO VIEDMA. VOL 18 2, 2,227-242(2002).
- MAZRIA, BAKER Y WESLING, PREDICTING THE PERFORMANCE OF PASSIVE SOLAR HEATED BUILDINGS. MAZRIA, EDWARD. EL LIBRO DE LA ENERGÍA SOLAR PASIVA. EDICIONES G. GILI, S.A., MÉXICO 1983.

INSTALACION DE PANELES SOLARES TERMICOS.TOMAS PERALES BENITO . CREACIONES COPYRIGHT.2007.

**INTERNET:**

<http://www.energia.org.ec>

<http://www.solarviews.com>

<http://passivesolar.sustainableSources.com>

<http://www.instalacionenergiasolar.com>

<http://www.enerclub.es>

<http://www.energia-solarfotovoltaica.com>

<http://www.unesco.org>