

Sistema de calefacción solar para reducir el friaje en viviendas alto andinas¹

Ciro Abelardo Espinoza Montes²

Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú

RESUMEN

La investigación que se realizó es tecnológico y nivel aplicado. Se encuentra dentro de la línea investigación de Energía Solar, con él se pretendió determinar la configuración del Sistema de calefacción solar que influye eficientemente en reducir el friaje en viviendas alto andinas. Para lo cual se diseñó, construyó e instaló Sistemas de Calefacción Solar en los distritos ubicados entre 3600 m.s.n.m. y 4000 m.s.n.m. de las provincias de Chupaca y Concepción de la Región Junín, Perú. Se utilizó el método sistémico y el diseño causal comparativo, para medir la variación de temperatura de la cámara y de la habitación se controló que el aislamiento de la habitación esté en buenas condiciones. Para la prueba de la hipótesis se empleó la regresión lineal y la prueba estadística F de Fisher, para determinar los coeficientes significativos del modelo se utilizó la regresión lineal. Como resultado de la investigación se propone que, la configuración del Sistema de calefacción solar debe tener un menor volumen de la cámara y una mayor área del colector-acumulador, con los cuales elevará la temperatura de las viviendas alto andinas.

Palabras claves: energía solar, calefacción, friaje, eficiencia energética

ABSTRACT

This research is the applied technological kind and has an applied level it's within the Solar Energy Research line, the purpose is to define the configuration of the solar heating system that has an efficient influence to reduce the cold temperature in high Andean homes. To that aim a solar heating systems was designed, built and installed in the districts located between 3600 m.a.s.l. and 4000 m.a.s.l. in the provinces of Chupaca and Concepcion in Junin, Peru. We used the Systemic method and the cause comparative design, to measure temperature variation within the chamber and the room we made sure the isolation of the room was the best possible state. To test the hypothesis, we used the linear regression and the F statistic test of Fisher to determine the significant coefficients of the model. The outcome of the research states that configuration of the solar heating system should have a smaller volume of the chamber with a bigger area of the collector-accumulator, which will increase the temperature in Andean homes.

Keywords: solar energy, heating, Friaje, energy efficiency.

INTRODUCCIÓN

Un total de 409 personas han muerto en Perú por neumonía y enfermedades relacionadas con el frío de enero a julio del 2010. El "friaje" ocasionó defunciones por neumonía en niños menores de cinco años no solo en la región andina, sino también en las regiones selváticas, como en la región Loreto de 23 menores, seis en San Martín y cinco en Ucayali. (Agencia EFE, 2010)

El friaje es un fenómeno natural que se presenta en el Perú en los meses de junio, julio y agosto con reducción de la temperatura ambiente de 10 °C a 20 °C y acompañado de aire seco. Impacta con mayor fuerza en el poblador alto andino y a poblaciones en pobreza.

En los últimos años, las aplicaciones de las energías renovables a sistemas de calefacción, refrigeración y secado han recibido un fuerte impulso en diferentes partes del mundo. (Chamoli, Chauhan, Thakur, & Saini, 1012)

Para resolver esta situación problemática se formuló la interrogante de investigación ¿Cuáles es la configuración del Sistema de calefacción solar que influye eficientemente en reducir el friaje en viviendas alto andinas?, con la finalidad de determinar la configuración del Sistema de calefacción solar que pueda influir eficientemente en reducir el friaje en viviendas alto andinas.

Este trabajo de investigación contribuye con determinar un modelo de dimensionamiento del sistema de calefacción solar para viviendas ubicadas en lugares alto andinas, es decir, viviendas ubicadas entre 3600 m.s.n.m. y 4000 m.s.n.m. de la Cordillera de los Andes, en los distritos de la Región Junín del Perú. Estos distritos, durante los meses de mayo, junio y julio se ven afectadas por el friaje, produciendo enfermedades respiratorias en los niños y ancianos generalmente. La importancia de este trabajo radica en que permitirá determinar las dimensiones óptimas de la configuración que permita almacenar calor durante el día para utilizar durante la noche fría de manera eficiente.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Domancic Herrera (2008) propone un sistema solar de colector solar plano para aire de 60 m² para ser instalado en el techo norte del edificio y un colector tipo Muro Trombe de 14,5 m² ubicado en la fachada norte, que además recibe un aporte adicional de un sistema de calefacción convencional que aporta el 10% de la energía equivalente a 24 kW.

Chávez Oblitas (2009) propone un sistema similar a una terma solar, constituido por la placa plana absorbente y la caja térmica. La placa absorbente es la unidad receptora de la radiación solar que calienta el aceite mediante tuberías en paralelo, un tanque de almacenamiento de calor en aceite y de un intercambiador de calor que calienta el aire de la habitación mediante un serpentín.

¹ La instalación del Sistema de Calefacción Solar se realizó en el contexto del programa Alianza en Energía y Ambiente con la Región Andina (AEA) que se desarrolla a través de una alianza entre el Ministerio de Asuntos Exteriores de Finlandia (MAEF) y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

² Email: ciroespinoza@gmail.com

SENCICO (2009) fue la organización que instaló 17714 Muros Trombe, en viviendas ubicadas sobre los 3.500 msnm en los departamentos de Ayacucho, Apurímac, Arequipa, Pasco, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Junín, Moquegua, Puno y Tacna del Perú, donde los ángulos de los planos de recorrido del sol varía entre 54° y 101° respecto al suelo.

Torres (2010) concluye que el confort térmico influye en gran medida en la salud física y mental de las personas, ya que proporciona una mejor predisposición a realizar las tareas cotidianas.

Olivares Clavel y Torres Flores (2010) propone un sistema de deshidratado formado por un colector solar de 60 m², ductos aislados de transporte de aire caliente, sistema de almacenamiento de calor en una cámara de rocas y cámara de deshidratado.

Nacif Hartley (2011) concluye que “el acumulador estudiado presenta un alto grado de estratificación, bajas pérdidas térmicas, alta capacidad de almacenamiento por unidad de volumen, se puede implementar con un colector solar de aire, tiene un costo económico relativamente bajo y es de fácil construcción e implementación.”

El grupo de apoyo al sector rural de la Pontificia Universidad Católica del Perú, en su revista América Renovable propone la instalación del proyecto Pared Caliente para combatir el friaje en viviendas alto andinas de Cusco, Puno y Huancavelica, esta tecnología utiliza el principio de Muro Trombe (2011).

Sarachitti y otros (2011) concluye que el colector solar hormigón de cemento permite elevar la temperatura de un ambiente en 2.6°C respecto a otro convencional.

Schwarz (, 2013) ha determinado las condiciones ambientales de San José de Quero, el clima es templado y cálido, en invierno hay mucho menos lluvia que en verano, la temperatura media anual es de 6.9 °C. El mes más caluroso del año es enero con un promedio de 7.7 °C, y el mes más frío del año es julio con un promedio de 5.3 °C.

MÉTODOS Y MATERIALES

Tipo y nivel de investigación

La investigación realizada es de tipo tecnológica porque el propósito es aplicar conocimiento sobre la energía solar, almacenamiento de calor y calefacción de viviendas. Según Espinoza (2010, p. 74) la investigación tecnológica tiene como propósito aplicar el conocimiento científico para solucionar los diferentes problemas que benefician a la sociedad.

El nivel de investigación realizado es el aplicado porque el propósito es aplicar conocimientos tecnológicos para diseñar y construir sistemas de calefacción solar para mejorar las condiciones ambientales de las viviendas alto andinas. Una investigación de nivel aplicado tiene como propósito aplicar los resultados de la investigación experimental para diseñar tecnologías de aplicación inmediata en la solución de los problemas de la sociedad (Espinoza, 2010, p. 74).

Método y diseño de la investigación

El método de investigación utilizado es el sistémico con un diseño causal comparativo (Sánchez & Reyes, 2006), ya que se relacionó las variables *Sistema de Calefacción Solar* con la reducción del *Friaje en vivienda alto andinas*, la variable externa que se controló es el aislamiento de la habitación. El esquema utilizado es el siguiente:

Tabla 1: Esquema del diseño de investigación

Viviendas	Mediciones	Variables controladas
H ₁	M ₁	x, y, z
H ₂	M ₂	x, y, z
H ₃	M ₃	x, y, z
H ₄	M ₄	x, y, z
H ₅	M ₅	x, y, z
H ₆	M ₆	x, y, z

Donde M1, M2, M3, M4, M5 y M6 son las viviendas que tienen instaladas el sistema de calefacción solar. O1, O2, O3, O4, O5 y O6 son las mediciones de las variaciones de la temperatura de la cámara y la habitación. Las viviendas se controlaron de acuerdo al aislamiento de la habitación (x), aislamiento de la cámara (y) y altura sobre el nivel del mar de las viviendas (z).

El sistema de calefacción está compuesta de una cámara de almacenamiento de aire caliente, un colector-acumulador y la habitación.

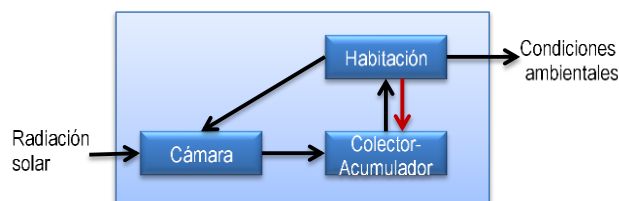


Figura 1: Sistema de calefacción solar

Cada uno de los elementos del sistema de calefacción está aportando con sus funciones particulares para generar una temperatura confortable en la habitación.

Tabla 2: Funciones de elementos del sistema de calefacción solar

Elemento	Función
Cámara	Almacena el aire caliente y aísla al colector-acumulador del medio ambiente.
Colector-Acumulador	Absorbe la radiación solar mediante un cuerpo negro para almacenarla en un almacenador de calor
Habitación	Transfiere la energía captada por el acumulador a la habitación.
Orientación	Permite disponer de una cantidad de horas de sol.

La construcción de los sistemas de calefacción se realizó tomando en cuenta las dimensiones de las viviendas existentes, tratando de maximizar las dimensiones del colector-acumulador. Las mediciones realizadas permitieron determinar el modelo que maximiza el calentamiento de la habitación.

En la figura 2, se tiene el perfil de un Sistema de Calefacción Solar que se instala adosado a la pared de la vivienda cuya cara da hacia el norte. El aire frío de la habitación ingresa por la parte inferior calentándose al

atravesar las piedras calientes y el aire caliente ingresa a la habitación por la parte superior.

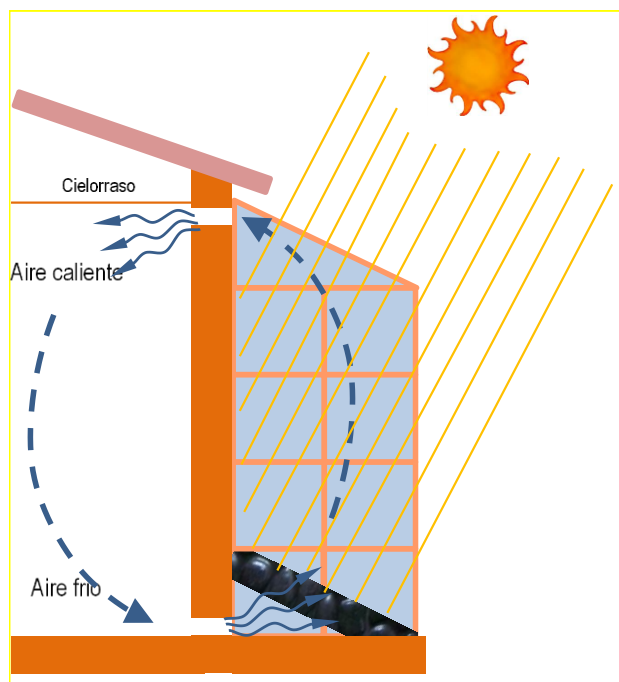


Figura 2: Funcionamiento del Sistema de calefacción solar

Población y muestra

La muestra para la investigación fue seleccionada de acuerdo a las siguientes variables de control:

- X: Aislamiento de la habitación.
- Y: Aislamiento de la cámara.
- Z: Altura sobre el nivel del mar.

Las viviendas con Sistema de Calefacción Solar seleccionados son seis, tres del distrito de San José de Quero y tres del distrito de Yanacancha. Todos ellos tienen una habitación correctamente aislada, la cámara está aislada correctamente, además se encuentra entre 3600 msnm y 4000 msnm (tabla 1).

Tabla 3: Muestra de beneficiaria con el Sistema de Calefacción Solar

No	Lugar	X	Y	Z
1	Huayllacancha	Bueno	Bueno	3834
2	Huayllacancha	Bueno	Bueno	3900
3	Centro	Bueno	Bueno	3803
4	Quishuar	Bueno	Bueno	3652
5	Quishuar	Bueno	Bueno	3714
6	Usibamba	Bueno	Bueno	3624

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se han construido 31 sistemas de calefacción solar y fueron instalados en los distritos de la Región Junín de Perú. De todos ellos, se seleccionaron los seis sistemas de calefacción que cumplen con las variables de control, donde se realizaron las mediciones.



Figura 3: Sistema de calefacción solar

La técnica utilizada es la empírica, de observación directa. Para lo cual se ha utilizado un instrumento que mide a su vez la temperatura y la humedad relativa. El instrumento utilizado en la presente investigación es el termómetro, higrómetro y anemómetro Kestrel® 4200 Pocket Air Flow® Tracker 25.

Técnicas de procesamiento de datos

Los estadísticos descriptivos para cada variable son: número de casos válidos, media y desviación típica.

El estadístico para realizar la prueba de hipótesis es la regresión lineal, con el cual se estima los coeficientes de la ecuación lineal, con las dimensiones de la variable independiente que mejor prediga el valor de la variable dependiente.

Se ha probado dos modelos con la dimensión *variación de la temperatura de la cámara*, con el método por pasos del SPSS. Con este software, en cada paso se introduce aquella dimensión de la variable independiente que no se encuentre ya en la ecuación y que tenga la probabilidad para F más chica, si esa probabilidad es suficientemente pequeña. Las dimensiones ya introducidas en la ecuación de regresión se eliminan de ella si su probabilidad para F llega a ser suficientemente grande. Termina cuando ya no hay más dimensiones a ser incluidas.

RESULTADOS

Descripción de la ubicación de los Sistemas de Calefacción Solar

Las seis viviendas seleccionadas para realizar las mediciones se encuentran ubicadas en los distritos de Yanacancha y San José de Quero, se ubican entre 3600 m.s.n.m. y 4000 m.s.n.m. debido a la altura y a la cercanía de las viviendas las condiciones de temperatura y humedad ambientales son similares. Las horas de sol que recibe el colector varían de acuerdo a la orientación de la vivienda, el cual por estar construida, se utiliza con la orientación existente. El número de horas de sol máximo varía de 6 a 8 horas y depende de la orientación de la vivienda.

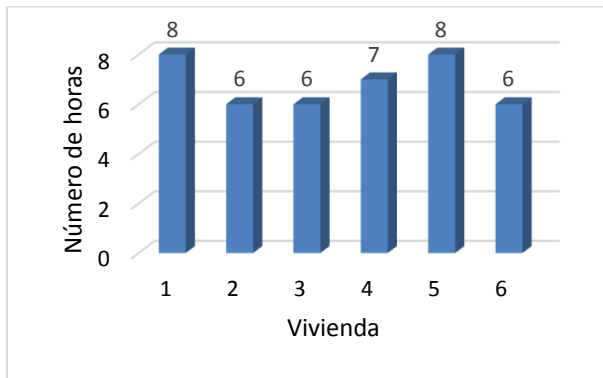


Figura 4: Horas de sol máximo de la muestra

En el distrito de Yanacancha se tiene tres viviendas con el Sistema de Calefacción Solar, pero la orientación en cada vivienda es diversa, por lo que se ha seleccionado la pared donde se logrará tener más horas de sol.

En el distrito de San José de Quero se tiene, también, tres viviendas con el Sistema de Calefacción Solar, pero la orientación en cada vivienda es diversa, por lo que se ha seleccionado la pared donde se logrará tener más horas de sol.

De acuerdo a las mediciones realizadas se puede determinar que los rayos solares tienen el menor ángulo (54°) el 21 de junio y alcanzan el mayor ángulo (101°) el 21 de diciembre (figura 5). También se puede determinar que recién a partir del 21 de marzo se podrá utilizar efectivamente la radiación solar debido a la sombra que produce los techos.

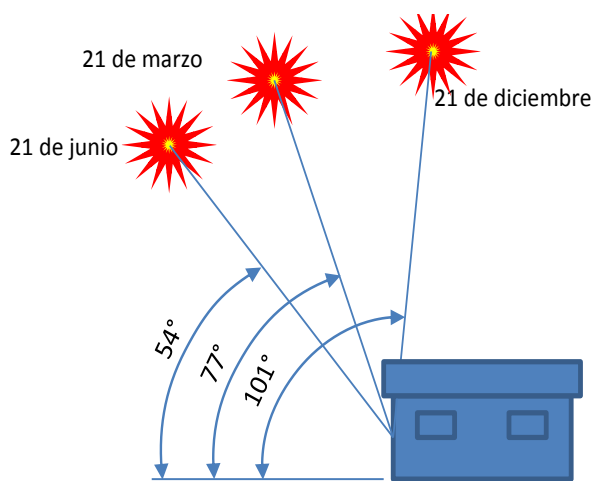


Figura 5: Ángulos de los planos de recorrido del sol

Con la finalidad de determinar el ángulo de inclinación del colector, de acuerdo a los meses de radiación, en la tabla III.4 se registra los cálculos realizados cuando se desea que el colector trabaje de marzo a setiembre o de abril a agosto. Debe considerarse que desde mayo hasta agosto se registran las temperaturas más bajas. Si deseamos aprovechar mejor la radiación solar durante el mes de menor temperatura ambiente, el colector debe tener un Ángulo de inclinación de 36° .

Tabla 4: Elevación y azimut del sol para la Región Junín

meses	elevación	7 meses	5 meses
Marzo	77°	13°	
Abril	66°	24°	24°
Mayo	57°	33°	33°
Junio	54°	36°	36°
Julio	57°	33°	33°
Agosto	66°	24°	24°
Septiembre	77°	13°	
Promedio		25°	30°

Descripción de resultados

La variable Sistema de Calefacción Solar está representado por los datos del Volumen de la Cámara (m^3), Área del Colector-colector (m^2), volumen de la Habitación (m^3) y la orientación representado por el número máximo de horas de sol que puede recibir el sistema en el mes de junio (tabla 5).

Tabla 5: Datos del Sistema de Calefacción Solar

Mue	Dimensiones VI			
	Volumen cámara	Área colector	Volumen habitación	Horas sol
1	6.14	3.84	19.2	8.0
2	5.76	3.6	18.0	6.0
3	8.64	5.4	27.0	6.0
4	6.91	6.84	18.0	7.0
5	11.52	7.2	27.0	8.0
6	4.37	3.36	22.0	6.0

La variable dependiente está representado por la elevación de la temperatura de la cámara respecto a la temperatura ambiente y la elevación de la temperatura de la habitación, también respecto a la temperatura ambiente. La medición de las temperaturas de la cámara, habitación y ambiente se realizó entre las 11:00 h y las 13:00 h, medidos a intervalos de 15 minutos. Durante la medición los ductos de aire estaban abiertas. El promedio de dichas temperaturas y la variación respecto a la temperatura ambiente se registran en la tabla 6.

Tabla 6: Datos de Variación de temperatura

Muestra	Temperatura en $^\circ C$			Variación de temperatura	
	cámara	habitación	ambiente	Cámara	Habitación
1	18.0	15.0	11.0	7.0	4.0
2	16.8	14.5	10.0	6.8	4.5
3	15.8	12.8	10.0	5.8	2.8
4	17.8	16.0	9.8	8.0	6.2
5	14.2	11.2	8.2	6.0	3.0
6	17.2	15.0	11.0	6.2	4.0

En la figura 6 se presenta la variación de las temperaturas en la cámara y en la habitación. El mínimo incremento de temperatura de la cámara, respecto a la temperatura ambiente, llegó a $5.8^\circ C$, registrada en la vivienda número 3, y el máximo incremento de temperatura es de $8^\circ C$ y se produjo en la vivienda número 4. El mínimo incremento de temperatura de la habitación, respecto a la temperatura ambiente, llegó a 2.8 , también registrada en la vivienda número 3; y el máximo incremento de temperatura de la habitación se produjo en la vivienda número 4.

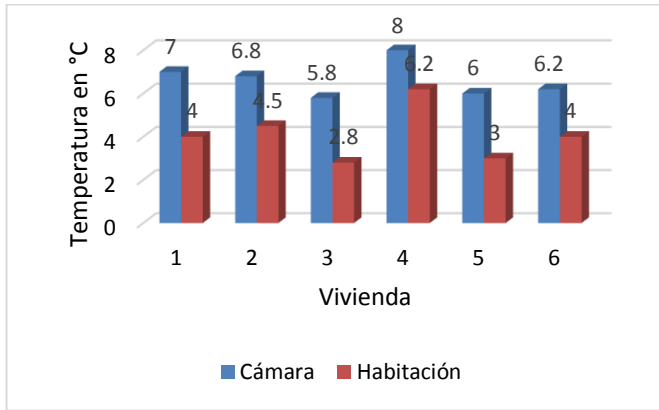


Figura 6: Variación de temperatura de la cámara y de la habitación

Con los datos de las tablas 5 y 6 se elaboró la matriz de datos, el cual sirvió para realizar los procedimientos estadísticos y la prueba de hipótesis (tabla 7).

Tabla 7: Matriz de datos

Mue	Dimensiones VI				Variación temperatura	
	Volumen cámara	Área colector	Volumen habitación	Horas sol	Colector	Habitación
1	6.14	3.84	19.2	8.0	7.0	4.0
2	5.76	3.6	18.0	6.0	6.8	4.5
3	8.64	5.4	27.0	6.0	5.8	2.8
4	6.91	6.84	18.0	7.0	8.0	6.2
5	11.52	7.2	27.0	8.0	6.0	3.0
6	4.37	3.36	22.0	6.0	6.2	4.0

Prueba de hipótesis

La hipótesis que guio la investigación fue:

La configuración del Sistema de calefacción solar con un menor volumen de la cámara, con una mayor área del colector-acumulador, un menor volumen de la habitación y con una orientación hacia el norte que predispone de 9 horas de sol influye eficientemente en reducir el friaje en viviendas alto andinas.

Para formular las hipótesis estadísticas se utilizó el modelo $y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4$ donde:

- Y: Variación de la temperatura en la cámara (friaje)
- X₁: Cámara
- X₂: Colector-acumulador
- X₃: Habitación
- X₄: Orientación
- b_i: Coeficientes

Definición de las hipótesis nula y alterna para la hipótesis de investigación:

H₀: las variables cámara, colector-acumulador, habitación y orientación no influyen en la elevación de la temperatura de la cámara, es decir, todas las constantes son 0 a excepción de b₀.

$$H_0: b_1 = b_2 = b_3 = 0$$

H₁: al menos una de las variables cámara, colector-acumulador, habitación y orientación influye en la elevación

de la temperatura de la cámara, es decir, existe al menos una constante que es diferente de 0, exceptuando a b₀.

$$H_1: \exists b_i \neq 0$$

Análisis de datos con SPSS

El resultado del análisis de datos con el SPSS presenta dos modelos (tabla 8)

Tabla 8: Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	0,841 ^a	0,707	0,633	0,49306
2	0,980 ^b	0,961	0,935	0,20696

a. Variables predictoras: (Constante), VHab

b. Variables predictoras: (Constante), VHab, ACol

El estadístico de contraste de la prueba ANOVA es el estadístico F (modelo 1 = 9,629 y modelo 2 = 37,178), el mismo que se asocia a una significancia empírica de 0,036 para el modelo 1 y 0.008 para el modelo 2.

Tabla 9: ANOVA

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,341	1	2,341	9,629	0,036 ^b
	Residual	0,972	4	0,243		
	Total	3,313	5			
2	Regresión	3,185	2	1,592	37,178	0,008 ^c
	Residual	0,128	3	0,043		
	Total	3,313	5			

a. Variable dependiente: VTCam

b. Variables predictoras: (Constante), VHab

c. Variables predictoras: (Constante), VHab, ACol

El valor p obtenido, en ambos modelos, es menor que la significancia teórica (=0,05), por lo que se rechaza H₀, aceptándose entonces la generalización del modelo propuesto (tabla 9).

En la tabla 10 se presentan los resultados de la regresión lineal realizada con los datos de las variables independientes y como variable dependiente la variación de la temperatura del colector-acumulador.

Tabla 10: Coeficientes del modelo

Modelo		Coeficientes no estandarizados		t	Sig.			
		B	Error típ.					
1	(Constante)	10,165	1,156	8,795	0,001			
	VHab	-0,162	0,052			-0,841	-3,103	0,036
2	(Constante)	9,767	0,493	19,797	0,000			
	VHab	-0,204	0,024			-1,064	-8,556	0,003
	ACol	0,265	0,060			0,552	4,439	0,021

a. Variable dependiente: VTCol

Considerando los coeficientes de los modelos de la tabla 8, estos tienen la siguiente expresión:

$$\text{Modelo 1: } Y = 10,165 - 0,162X_3$$

$$\text{Modelo 2: } Y = 9,767 + 0,265X_2 - 0,204X_3$$

En donde, X_2 es el área del Colector-acumulador y X_3 es el volumen de la habitación.

Entonces, la hipótesis nula se rechaza y se acepta la hipótesis alterna considerando que el factor que influye positivamente en el friaje es el área del colector-acumulador y el factor que influye negativamente es el volumen de la habitación.

Las variables que se excluyen en este análisis son el área del colector acumulador en el modelo 1 y el volumen de la cámara y horas de sol en el modelo 2.

Estas dimensiones o factores son excluidos debido a que su nivel de significación es mayor a 0.05 o tienen una correlación parcial muy elevada. El área del colector-acumulador tiene un nivel de significancia de 0.021 pero una correlación parcial de 0,932.

Tabla 11: Variables excluidas

Modelo	Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticos colinealidad	
					Tolerancia	
1	VCam	0,511 ^b	1,489	0,233	0,652	0,479
	ACol	0,552 ^b	4,439	0,021	0,932	0,837
	HSol	0,252 ^b	0,908	0,431	0,464	0,997
2	VCam	-0,276 ^c	-0,937	0,448	-0,552	0,155
	HSol	0,021 ^c	0,134	0,906	0,094	0,781

a. Variable dependiente: VTCol

b. Variables predictoras en el modelo: (Constante), VHab

c. Variables predictoras en el modelo: (Constante), VHab, ACol

Finalmente, se puede afirmar que el diseño de un sistema de calefacción solar, de acuerdo a las variables predictoras Volumen de la habitación (VHab) y Área del colector-acumulador (ACol), son las que más influyen en la eficiencia del Sistema, convirtiéndose en elementos esenciales.

De acuerdo con el modelo 2, el mayor incremento de temperatura (ΔT_{max}) en el Sistema de Calefacción Solar se logrará con la siguiente ecuación:

$$\Delta T_{max} = 9,767 + 0,265 ACol - 0,204 VHab$$

El Volumen de la habitación (VHab) influye negativamente en el Sistema, es decir, cuanto mayor sea el volumen de la habitación menor será la eficiencia del sistema, por lo tanto la variación de la temperatura en la cámara será menor.

El Área del colector-acumulador (ACol) influye positivamente en el Sistema, es decir, cuanto mayor sea el área del colector-acumulador mayor será la eficiencia del sistema, por tanto la variación de la temperatura en la cámara será mayor.

Los elementos secundarios como la cámara y la orientación también tienen una influencia importante, pero estadísticamente se determina que no son significativos.

El diseño conceptual del Sistema de Calefacción Solar estará definido por la descripción de cada elemento del sistema, considerando los resultados estadísticos y las restricciones que existieron durante la instalación del mismo (tabla 12).

Tabla 12: Diseño conceptual del Sistema de Calefacción Solar

Elemento	Descripción
Cámara	Para almacena el aire caliente y aísla al colector-acumulador del medio ambiente eficientemente, debe tener el menor volumen posible, considerando en sus dimensiones la altura de salida del aire y la facilidad del mantenimiento interno. Debe estar construido con una estructura de madera resistente a las termitas y cubierto por plástico estabilizado resistente al frío, a la granizada y heladas.
Colector-Acumulador	Para absorbe la radiación solar mediante un cuerpo negro para almacenarla en un almacenador de calor eficientemente, debe tener la mayor área posible, considerando la entrada de aire frío de la habitación, el material que mejor almacene calor y la inclinación que permita captar mayor radiación solar.
Habitación	Para mantener una temperatura ideal de confort de la habitación esta debe tener el menor volumen posible con la condición que la habitación debe estar aislada para reducir la pérdida del calor captado.
Orientación	Para disponer de una cantidad de horas de sol, la radiación solar debe llegar al colector-acumulador la mayor cantidad de horas posibles, y esto depende de la orientación de la cara de la vivienda donde se instala la cámara.

DISCUSIÓN

Al comparar los resultados con la hipótesis de investigación, se coincide con la influencia del área del colector-acumulador y el volumen de la habitación; y se excluye el volumen de la cámara y la orientación del sistema.

El área del colector-acumulador influye de manera positiva y el volumen de la habitación influye de manera negativa (tabla 10). Esta influencia se debe a que el colector-acumulador captará la mayor radiación cuanto mayor sea el área del colector y cuando la habitación sea de mayor volumen requerirá de mayor calor para elevar la temperatura del mismo.

Los datos recolectados no brindan evidencia de la acumulación de energía. Ya que la acumulación de la energía no dependería del área del colector acumulador, sino del volumen del material acumulador. La exclusión del volumen de la cámara y de la orientación del sistema se debe a que las mediciones realizadas entre las 11 h y 13 h no han sido suficientes para evaluar el efecto del volumen de la cámara y de las horas de sol.

Entonces, para diseñar el colector-acumulador debe maximizarse el área del colector acumulador para una habitación determinada. Es decir, instalar el colector acumulador en la pared que tenga la longitud más larga, siempre y cuando esta sea perpendicular al norte o nor-este.

Comparando los resultados con los antecedentes, el sistema de calefacción es de tipo activo porque es necesario que el aire fluya a través del área del colector-acumulador para influir de manera positiva en la variación de la temperatura de la habitación. Esto se atribuye a que el acumulador de tipo activo tiene alta capacidad de almacenamiento donde fluye el aire entre el colector y la habitación (Nacif Hartley, 2011)

El colector-acumulador que forma parte del sistema de calefacción solar es de tipo plano. No se propone la

utilización de muro trombe porque los rayos de sol en los distritos de Yanacancha y San José de Quero, se alcanza una elevación en el mes de junio es de 54° y en el mes de diciembre es de 101° ambos medidos al medio día (12:15 h). En cambio Domancic Herrera (2008) propone un sistema solar de colector solar plano para aire para ser instalado en el techo norte del edificio y un colector tipo Muro Trombe ubicado en la fachada norte. Esta propuesta se debe a que los rayos de sol en Santiago de Chile el ángulo más alto de elevación se alcanza a las 11:45 h y es de 33° en el mes de junio y de 80° en el mes de diciembre, lo exige utilizar ambas soluciones porque cualquiera de ellos en forma independiente sería de baja eficiencia.

Los Muros Trombe no han sido una solución para el friaje en el Perú, la evidencia se encuentra en SENCICO (2009) que instaló 17714 Muros Trombe en viviendas ubicadas sobre los 3.500 msnm en los departamentos de Ayacucho, Apurímac, Arequipa, Pasco, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Junín, Moquegua, Puno y Tacna, cuyos resultados son nulos y no se están utilizando.

Luego, el sistema de calefacción solar debe contar con un colector-acumulador con ángulo de inclinación de 30 a 36° con la finalidad de aprovechar mejor la radiación solar y las piedras deben ser de canto rodado, además debe permitir la circulación del aire a través de las piedras (cuerpo negro) que actúa como colector y acumulador.

Se excluyen del modelo el volumen de la cámara y la orientación.

El volumen de la cámara influye negativamente en el sistema, pero estadísticamente se excluye del modelo (tabla 9), porque no se ha medido la influencia de la temperatura del aire de la cámara en la temperatura del colector-acumulador. Luego, los ductos de aire caliente deberán estar ubicados en la parte superior, al nivel del techo, y los ductos de aire frío deben estar ubicados en la parte inferior, al nivel del piso de la habitación. Debido al fenómeno de termosifón el aire caliente se eleva y el aire frío queda abajo (Fernández Barrera, 2010, p. 17)

En cuanto a la orientación, se determina que esta dimensión influye positivamente en el sistema, pero estadísticamente se excluye del modelo (tabla 9), debido a que no se ha realizado la medición de la variación de la temperatura de la cámara durante las 24 horas. Existirá mayor cantidad de horas de sol que irradie la superficie del colector-acumulador cuando la orientación sea hacia el norte.

Conclusiones

El dimensionamiento del Sistema de Calefacción Solar se realizará con la ecuación: $\Delta T_{max} = 9,767 + 0,265 A_{Col} - 0,204 V_{Hab}$. Debe instalarse en la pared que tenga la longitud más larga, siempre y cuando esta sea perpendicular al norte o nor-oeste. La inclinación del colector-acumulador debe ser de 30 a 36° con la finalidad de aprovechar mejor la radiación solar en los meses de friaje y las piedras deben ser de canto rodado para captar la radiación a diversas horas del día y estar separados para permitir la circulación del aire a través de las piedras (cuerpo negro).

El cielorraso debe ubicarse a la menor altura posible, con la finalidad de evitar que el aire caliente se acumule en la parte superior. La cámara debe tener el menor volumen posible, su altura debe ser igual a la altura de la habitación.

Los ductos de aire caliente deberán estar ubicados en la parte superior de la pared donde se instala la cámara, al nivel del techo, y los ductos de aire frío deben estar ubicados en la parte inferior, al nivel del piso de la habitación; para lograr la circulación del aire por el principio de termosifón.

Finalmente, el Sistema de Calefacción Solar debe diseñarse con el colector-acumulador de mayor área posible, acorde a la habitación a anexarla, la habitación debe tener la menor altura posible que permita reducir el volumen del mismo y de la cámara, contar con ductos de circulación de aire que tome el aire frío desde el suelo y alimente de aire caliente desde el techo, y estar orientado hacia el norte.

Recomendaciones

Con la finalidad de mejorar los resultados de la investigación, se recomienda realizar mediciones de temperatura durante las 24 horas con repeticiones durante los meses más fríos de mayo a agosto.

Durante las mediciones debe seguirse el flujo del funcionamiento del Sistema de calefacción solar. La medición de la temperatura de la cámara debe realizarse cerrando los ductos de aire desde las 6:00 horas hasta las 18:00 horas. La medición de la temperatura de la habitación debe realizarse a partir de las 18:00 horas hasta, durante toda la noche, hasta las 6:00 horas. Ambas mediciones se realiza en tres puntos: en la parte superior (altura de ducto de aire caliente) en la parte inferior (altura de ducto de aire frío) y a un metro del nivel del piso.

Para el correcto funcionamiento del Sistema de Calefacción solar, es necesario que la habitación debe estar correctamente aislada: cielorraso, puertas, ventanas y paredes.

Referencias Bibliográficas

- AEA. (16 de febrero de 2014). *Alianza en Energía y Ambiente con la Región Andina*. Obtenido de <http://www.energiayambienteandina.net/Conocenos/Quienes-Somos.aspx>
- Agencia EFE. (20 de julio de 2010). Un total de 409 personas han muerto en Perú por neumonías y frío este año. Recuperado el 29 de abril de 2013, de http://www.google.com/hostednews/epa/article/ALeqM5jus22HKnvh_1b0zvsWLHjAU348cA
- Chávez Oblitas, G. (2009). *Almacenamiento de energía solar térmica para diferentes aplicaciones (calefacción de vivienda rural)*. Investigación, Universidad Nacional San Agustín, Instituto de Energía, Petróleo y Gas, Arequipa.
- Domancic Herrera, P. (2008). *Diseño de un sistema de calefacción solar para un edificio público*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Mecánica. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Espinoza Montes, C. A. (2010). *Metodología de investigación tecnológica. Pensando en sistemas*. Huancayo, Perú: Imagen Gráfica SAC.
- GRUPO PUCP. (noviembre de 2011). Casa caliente limpia: K'oñichuyawasi. *America Renovable*, 5(14), 60-62. Recuperado el 14 de mayo de 2013,

de
http://issuu.com/b.alayza/docs/revista_america_renovable_14_2011/61?e=0

- Meinel, A., & Meinel, M. (1982). *Aplicaciones de la Energía Solar*. Barcelona, España: Editorial Reverté.
- Nacif Hartley, J. (2011). *Acumulación térmica para un sistema solar de calefacción activo*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Olivares Clavel, A., & Torres Flores, G. (2010). *Caracterización de un sistema de calentamiento de aire por medio de energía solar con almacenamiento energético*. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Ingeniería Mecánica. El Salvador: Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.
- Schwarz, T. (12 de 05 de 2013). *Climate-Data*. Obtenido de <http://es.climate-data.org/location/771599/>
- SENCICO. (15 de agosto de 2009). Calefactores solares SENCICO. *Suplementos Especiales de Construcción & Vivienda, III(31)*, 3-7. Recuperado el 20 de mayo de 2013, de <file:///D:/Biblioteca/Energ%C3%ADa/Energ%C3%ADa%20solar/Termica/SENCICO%20EL%20MURO%20TROMBE%20135.pdf>
- Torres, J. (2010). *Climatización considerando el ahorro de energía y el confort térmico de las personas en ambientes dedicados a tareas de oficina*. Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ingeniería. Santa Fe: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional.
- Vázquez Martínez, O. A., Del Valle Cárdenas, B., Lino Linares, M. Á., & López Saldivar, F. J. (2008). *Manual de instalaciones para el calentamiento de agua mediante el aprovechamiento de la energía solar*. Ciudad de México: Secretaría del Medio Ambiente.