

# Design of a Heating System for High Andean Homes Using Residual Energy from Kitchens

Jorge Alarcón-Mauricio, Student<sup>1</sup>, Gabriel Fabian-Quispe, Student<sup>1</sup>, Brayan Baca-Ccoscco, Student<sup>1</sup>, Luis Flores-Vega, Student<sup>1</sup>, Gustavo Ordoñez-Cárdenas, Doctor<sup>1</sup>, Herbert Grados-Espinoza, Master<sup>1</sup>, Carlos Canales-Escalante, Master<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Callao, Perú, jsalarconm@unac.edu.pe, gifabianq@unac.edu.pe, bacaccoscobrayan@gmail.com, luisfernandofloresvega98@gmail.com, gordonezc@unac.edu.pe, hjgradose@unac.edu.pe, cacanalese@unac.edu.pe

*Abstract— Peru is made up of three natural geographic regions. The high Andean areas of our country experience low temperatures every year, known as frosts. On the coast, low temperatures are combined with high humidity. The direct effects are reflected in the respiratory system, also affecting the state of comfort. The purpose of this research is to provide a heating proposal in high Andean homes to achieve thermal comfort and to propose an alternative to the current global energy crisis, through a heating system, using residual energy from a kitchen to assist the social problem of extreme cold, all this with low cost and minimal environmental impact. Cold air will be captured from the house, through a duct, which will circulate through the kitchen. The heat emitted by the flame of the stoves will be used through the process of heat transfer by radiation and convection to heat the air flow. This will generate a temperature gradient, giving way to the thermosyphon phenomenon; producing a continuous flow of hot air that is finally stored in a thermally insulated container and released to achieve thermal comfort in the house.*

*Keywords—radiation, convection, thermosyphon, heating, waste energy.*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Diseño de un Sistema de Calefacción para Viviendas Altoandinas Utilizando Energías Residuales de Cocinas

Jorge Alarcón-Mauricio, Student<sup>1</sup>, Gabriel Fabian-Quispe, Student<sup>1</sup>, Brayan Baca-Ccoscco, Student<sup>1</sup>, Luis Flores-Vega, Student<sup>1</sup>, Gustavo Ordoñez-Cárdenas, Doctor<sup>1</sup>, Herbert Grados-Espinoza, Master<sup>1</sup>, Carlos Canales-Escalante, Master<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Callao, Perú, jsalarconm@unac.edu.pe, gifabianq@unac.edu.pe, bacaccosccobrayan@gmail.com, luisfernandofloresvega98@gmail.com, gordonezc@unac.edu.pe, hjgradose@unac.edu.pe, cacanalase@unac.edu.pe

*Abstract— El Perú está conformado por tres regiones geográficas naturales. Las zonas alto andinas de nuestro país viven cada año bajas temperaturas, conocidas como heladas. En la costa, las bajas temperaturas están unidas a la alta humedad. Los efectos directos son reflejados en el sistema respiratorio, asimismo, afecta el estado de confort. El propósito de esta investigación es brindar una propuesta de calefacción en viviendas alto andinas para lograr el confort térmico y plantear una alternativa a la actual crisis mundial energética, mediante un sistema de calefacción, utilizando energía residual de una cocina para asistir la problemática social del frío extremo, todo esto con bajo costo y mínimo impacto ambiental. Se captará el aire frío de la vivienda, a través de un conducto, el cual circulará por la cocina. Se utilizará el calor que emite la llama de las hornillas mediante el proceso de transferencia de calor por radiación y convección para calentar el flujo de aire. Esto generará un gradiente de temperatura, dando paso al fenómeno de termosifón; produciendo un flujo de aire caliente continuo que, finalmente, se almacena en un recipiente aislado térmicamente y se libera para lograr el confort térmico en la vivienda.*

*Keywords—radiación, convección, termosifón, calefacción, energías residuales.*

## I. INTRODUCCIÓN

Según el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), un sistema oficial de gestión de riesgo de desastres del gobierno, en los últimos años, la cantidad de personas afectadas por las bajas temperaturas ha ido en aumento en Perú. Este fenómeno es provocado por las heladas y el frío, que causan graves daños a la población, cultivos y animales. En Perú se estima que alrededor de 7 024 177 personas están expuestas a heladas, y los departamentos comúnmente afectados son Áncash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Huancavelica, Cusco, Lima, Junín, Moquegua, Pasco, Puno y Tacna. Mientras que el fenómeno del friaje se presentan en los departamentos de Amazonas, Cusco, Huánuco, Loreto, Madre de Dios Junín, Pasco, San Martín, Puno y Ucayali [1].

Estos fenómenos meteorológicos pueden aumentar el riesgo de infecciones respiratorias agudas y neumonías, afectando principalmente a niños y ancianos. Las personas de las zonas altoandinas en situación de pobreza o pobreza extrema son más susceptibles a estas enfermedades, porque no tienen

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

acceso a sistemas de calefacción adecuados [1].

21<sup>st</sup> LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Leadership in Education and Innovation in Engineering in the Framework of Global Transformations: Integration and Alliances for Integral Development”, Hybrid Event, Buenos Aires - ARGENTINA, July 17 - 21, 2023.

Esta investigación está dirigida a mejorar la calidad de vida de las personas que viven en condiciones de frío extremo en el Perú.

Para combatir este problema se desea proponer un nuevo método de calefacción en viviendas altoandinas para aprovechar la energía residual de una cocina. Este sistema de calefacción funciona por convección natural que, a diferencia de otros, no utiliza la energía mecánica como fuente para impulsar el aire. La convección natural aprovecha la diferencia de densidades para transportar el aire caliente desde la parte inferior hacia la parte superior de la vivienda venciendo las fuerzas de fricción entre ambos fluidos (caliente y frío) y estableciendo una recirculación del aire [2].

Este sistema de calefacción tiene la capacidad de funcionar durante la noche, cuando las temperaturas son bajo 0 °C, en la cual se libera el flujo de aire caliente.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se centra en el estudio de las viviendas situadas en las zonas altoandinas con una altitud mayor a los 3000 msnm. La vivienda seleccionada se encuentra situada una altura de 3500 msnm y presión de 0,6569 bar (0.6484 atm), la cual consta de una habitación (sala-dormitorio) de 24 m<sup>2</sup> con un volumen de 60 m<sup>3</sup>.

A. *Cálculo del calor suministrado por la combustión ( $Q_{comb}$ ):*

$$Q_{comb} = P_c m_{comb} \quad (1)$$

Hallaremos el calor residual restando el calor suministrado menos el calor necesario para la cocción de alimentos ( $Q_{comb}$ ). Consideramos dos tiempos para la cocción:

Entonces el tiempo promedio de ebullición del agua:

$$Q_1 = C_p m_{agua} \Delta T \quad (2)$$

Y el tiempo adicional para lograr la cocción (calor latente):

$$Q_2 = h_{fg} m_{gas} \quad (3)$$

Tomaremos la temperatura del agua a temperatura ambiente 1° C. El tiempo de cocción de alimentos promedio será de 2 horas y 40 min. (desayuno, almuerzo y cena).

B. *Cálculo del calor residual ( $\dot{Q}_{res}$ ):*

$$\dot{Q}_{res} = \frac{Q_{comb}}{t_1 + t_2} - \left( \frac{Q_1}{t_1} + \frac{Q_2}{t_2} \right) \quad (4)$$

C. *Cantidad de calor que pierde el sistema:*

$$\dot{Q}_{C.Trans.} = \dot{Q}_{pared\ ext.} + \dot{Q}_{pared\ int.} + \dot{Q}_{cubierta} + \dot{Q}_{orificios} \quad (5)$$

D. *Pérdida de calor por transporte*

1) *Ductos de traslado de aire caliente al dormitorio:*

Parte de la energía disponible se pierde por convección y radiación. La cantidad de calor perdido en el ducto:

$$\dot{Q}_p = \dot{m} C_p (T_{ent} - T_{sal}) \quad (6)$$

Para el cálculo flujo másico  $\dot{m}$ , se tuvo en cuenta la densidad del aire, la temperatura de trabajo y el área transversal del ducto.

$$\dot{m} = \rho v A \quad (7)$$

E. *Carga térmica total ( $\dot{Q}_{salida}$ ):*

$$\dot{Q}_{salida} = \dot{Q}_{C.Trans.} + \dot{Q}_p \quad (8)$$

Para empezar las iteraciones debemos tener en cuenta la ec.(9) pues la cocina debe almacenar el calor del ambiente por 8 horas de calefacción, calentando el aire del ambiente.

$$\dot{Q}_{trans} = 2.25(\dot{Q}_{salida}) + \dot{Q}_n + \dot{Q}_{n2} \quad (9)$$

$$\dot{Q}_n = \frac{C_p m_{aire} \Delta T}{t} \quad (10)$$

$$\dot{Q}_{n2} = \frac{C_p m_{aire} \Delta T}{t} \quad (11)$$

$$\Delta T = T_{sat} - 0^\circ C \quad (12)$$

F. *Cálculo del calor transmitido por la cocina para calefacción:*

$$\dot{Q}_{trans} = \dot{Q}_{conv} = \dot{Q}_{cond} = \dot{Q}_{rad} \quad (13)$$

En la Fig. 1 se tienen tres procesos: Radiación (de 1 a 2); conducción (de 2 a 3); convección (de 3 a 4).

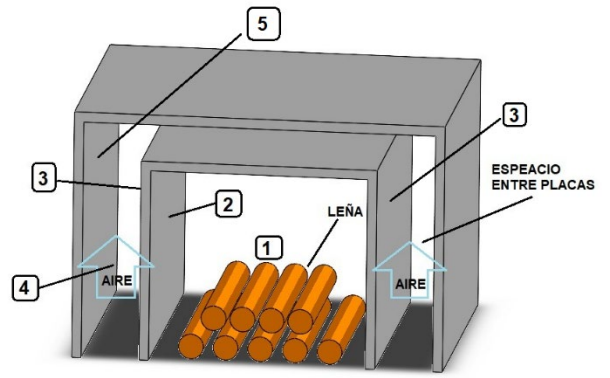


Fig. 1 Cámara de combustión

1) *Convección*

Con el principio de convección natural para generar un flujo de calor desde placa externa 3 al aire contenido en su interior, conjuntamente, con la placa 5 y, consecuentemente, un flujo másico de aire por diferencia de temperaturas (*termosifón*).

2) *Convección para paredes verticales*

$$\dot{Q}_{conv,1} = h_{conv,1} A_1 (T_3 - T_4) \quad (14)$$

Obtenemos los datos  $\beta, \nu, Pr, k$  de las tablas de propiedades del aire a la temperatura  $T_{film}$  que es el promedio de  $T_3$  y  $T_4$  [2].

Posteriormente, reemplazamos los datos en las siguientes ecuaciones:

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_3 - T_4)Lc^3}{\nu^2} Pr \quad (15)$$

$$\beta = \frac{1}{T_{film}} \quad (16)$$

Para convección natural de paredes verticales:

$$Nu = \left[ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{\left( 1 + \left( \frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right)^{8/27}} \right] \quad (17)$$

Finalmente:

$$h_{conv} = \frac{Nu k}{Lc} \quad (18)$$

3) *Convección para el techo de la cámara:*

$$\dot{Q}_{conv,2} = h_{conv,2} A_2 (T_3 - T_4) \quad (19)$$

$A_2$ : Área del techo de la cámara

Se utilizan el mismo procedimiento para  $\dot{Q}_{conv,2}$  y (15), (16) y (18). Consideramos el  $Lc$  y  $Nu$  para este tipo de geometrías.

Finalmente:

$$\dot{Q}_{conv} = \dot{Q}_{conv,1} + \dot{Q}_{conv,2} \quad (20)$$

#### 4) Conducción

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{k A}{L} (T_2 - T_3) \quad (21)$$

Obtenemos la temperatura para cada pared externa de la cámara de la cocina y debido a que no presenta una variación considerable entre paredes se considera que la temperatura está distribuida uniformemente y con magnitudes iguales para todas las superficies de las paredes internas.

#### 5) Radiación

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon F_{5' \rightarrow n'} A_n \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (22)$$

Se analiza la radiación que emite la base de la cocina, donde se encuentra el combustible, con cada pared (tres laterales y una superior). Se considera que la temperatura  $T_2$  está distribuida uniformemente y con magnitudes iguales para todas las superficies de las paredes internas, debido a que no presenta una variación considerable para la geometría de la cámara como muestra la Fig. 2.

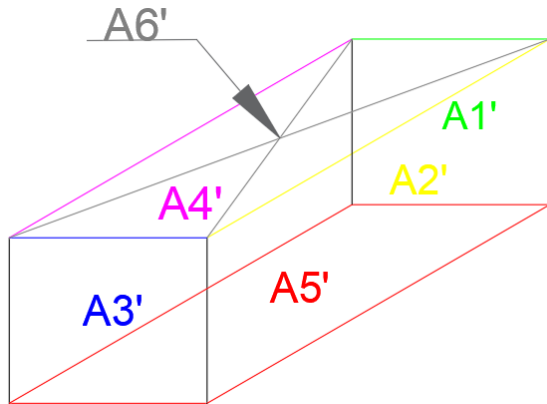


Fig. 2 Superficies interiores de la cámara de combustión para radiación

Donde:

$\varepsilon$ : Emisividad del material

$F_{5' \rightarrow n'}$ : Factor de forma desde 5' a cada pared n'

$A_n$ : Área de cada pared n'

$\sigma$ : Constante de Boltzmann

$T_1$ : Temperatura de la llama

$n'$ : Refiere a cada pared interna, pues los factores de forma cambian debido a la geometría.

Finalmente, analizamos la radiación térmica desde la base hacia cada pared, independientemente, y sumamos los valores de  $\dot{Q}_n$

$$\dot{Q}_{rad} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4 + \dot{Q}_5 \quad (23)$$

#### 6) Balance de energía del ambiente

Al aplicar el balance de energía al sistema, tenemos:

$$\Delta H_{ambiente} = \dot{Q}_{entrada} - \dot{Q}_{salida} \quad (24)$$

#### 7) Cantidad de energía a suministrar al interior del sistema

$$\dot{Q}_{entrada} = \dot{Q}_{trans} \quad (25)$$

$$\dot{Q}_{trans} = \text{Ganancia de calor por cocina} \quad (26)$$

$$\Delta E_{ambiente} = \dot{Q}_{entrada} - \dot{Q}_{salida} \quad (27)$$

#### 8) Cálculo de caudal de aire suministrado al interior del sistema

Lo analizamos por la fórmula adimensional empírica

$$G = \frac{\dot{m}}{\rho v (Gr)} \quad (28)$$

Obtenemos Gr de (ecuación anterior) y hallamos G [10].

#### G. Cálculo de almacén de aire caliente para suministrar al sistema en las noches

Llamaremos un sistema continuo de suministro de potencia, de la cocina a la vivienda, mientras esta se encuentre funcionando. En la noche utilizaremos un almacén de aire caliente que debe contener la energía suficiente para suministrar la potencia necesaria como la de un sistema continuo. Sabemos el alto poder de almacenamiento de calor de las piedras, las cuales serán utilizadas dentro del almacén para optimizar su capacidad de absorber calor, entonces procedemos a hacer un balance de calor para llegar a la temperatura de confort  $T_e = 23^\circ\text{C}$  por las noches.

Suponemos un aislamiento térmico de las viviendas adecuado para retener el calor suministrado, entonces:

$$Q_{a.viv.} + Q_{carga\ térmica\ (en\ 8\ horas)} + Q_{a.atm.} + Q_{piedras} = 0 \quad (29)$$

$$Q_{aire\ vivienda} = m_{a.v} C_p \Delta T \quad (30)$$

$$Q_{aire\ almacenado} = m_{a.a} C_p \Delta T \quad (31)$$

$$Q_{\text{piedras}} = m_{\text{pie}} C_{\text{pie}} \Delta T \quad (32)$$

Donde:

$T_c = T$  de almacén de piedras y aire

$T_{\text{aire}} = T$  de la casa sin calefacción (0°C)

Las dimensiones del almacén son tomadas como 14.8m<sup>3</sup> (2 x 3.7 x 2m) establecido por criterios de espacio de la parcela y arquitectura de la vivienda.

$$m_p = \left(\frac{4}{3}\pi R^3\right) \rho_p \# \text{piedras} \quad (33)$$

Donde:

$R$ : Radio de las piedras

$\rho_{\text{pie}}$ : Densidad de piedras

Con un proceso iterativo se obtiene el número de piedras al igualar el calor almacenado en el almacén con el calor emitido hacia este. Todo esto en el tiempo de uso de la cocina 2 horas y 40 min.

$$\frac{Q_{a.a} + Q_{\text{pie}}}{t} = \dot{Q}_{\text{emitido al almacén}} \quad (34)$$

Por el ducto se dividirán los flujos para calefaccionar y a la vez almacenar mientras se cocina, entonces:

$$\dot{Q}_{\text{emitido al almacén}} + \dot{Q}_{\text{emitido a la vivienda}} = \dot{Q}_{\text{trans}} \quad (35)$$

Reemplazamos en la (36) la (6) y (30), despejamos:

$$\dot{Q}_e \text{ al alm.} = \dot{Q}_{\text{trans}} - \left(\dot{Q}_{\text{salida}} + \frac{Q_{a.v}}{t} + \frac{Q_p}{t}\right) \quad (36)$$

La Ecuación (34) y (36) deben ser iguales. Variando el #piedras mediante un proceso iterativo podemos llegar a igualar los  $\dot{Q}_{\text{emitido al almacén}}$ .

### III. RESULTADOS

En la Tabla I, se aprecia los datos del material usado como combustible.

TABLA I  
DATOS DEL COMBUSTIBLE SÓLIDO (EUCALIPTO)

Combustible vegetal sólido ( $P_c$ )	18.605 MJ/Kg
Masa promedio combustible ( $m_{\text{comb}}$ )	6 kg
Calor total de la combustión	106684.2 KJ
Calor promedio en 2.40'' combustión	11.099 KW

El poder calorífico del eucalipto se extrajo de las evaluaciones experimentales con 8,44% de humedad relativa y por su alto poder calorífico 18605 J/g [6].

Luego, se halló el tiempo de ebullición del agua con los siguientes datos a 50°C, tal como muestra la Tabla II.

TABLA II  
PROPIEDADES DEL AGUA A 50°C

$C_p$	4181 J/Kg.K
$m_{\text{agua}}$	45 Kg
$\Delta T$	(100-1) °C
$h_{fg}$	2257000
$m_{\text{gas}}$	1 Kg

Reemplazamos en (2):

$$Q_1 = 4181 \times 45 \times 99 = 18.63MJ$$

Reemplazamos en (3):

$$Q_2 = 2257000 \times 1 = 2.257MJ$$

La suma de  $Q_1$  y  $Q_2$  es la energía que se consume para cocinar durante el día. Estos datos se obtuvieron mediante pruebas experimentales y una encuesta realizada a una población de 100 habitantes de zonas altoandinas se tomó como promedio que el tiempo para cocinar sus alimentos al día es de 2 horas 40 min, al que llamamos tiempo promedio de cocción de alimentos.

Hallamos la potencia requerida para cocinar, de (4):

$$\left(\frac{Q_1}{t_1} + \frac{Q_2}{t_2}\right) = \frac{18.63 \text{ MJ}}{2 \text{ horas}} + \frac{2.257 \text{ MJ}}{40 \text{ minutos}} = 2.9 \text{ KW}$$

Calculamos el calor residual generado por la cocina, de (4):

$$\dot{Q}_{\text{res}} = \frac{106684.2 \text{ KJ}}{2.67 \times 60 \times 60} - 2.9 \text{ KW} = 8.220 \text{ KW}$$

El calor que no se aprovecha de una cocina es alrededor de 8.220 KW.

A. Cantidad de calor que pierde el sistema

De (5):

$$\dot{Q}_{C.Trans.} = 419.54W + 0W + 989.7W + 257.6W = 1666.84W$$

B. Pérdida de calor por transporte

Reemplazando la (7) en la (6) se obtiene:

$$\dot{Q}_p = \rho v A C_p (T_{\text{entrada}} - T_{\text{salida}})$$

Donde:

TABLA III  
DATOS DEL DUCTO Y EL AIRE A MÁS DE 300K

( $C_p$ ) Aire a más de 300K	1010.9 J/kg.K
( $\rho_{\text{aire}}$ ) Entrada del ducto	0.58kg/m <sup>3</sup>
(A) Área transversal ducto	0.0254m <sup>2</sup>
(v) Velocidad promedio del aire	0.10m/s

Finalmente:

$$\dot{Q}_p = 0.58 \times 0.10 \times 0.0254 \times 1010.9 \times (393 - 313) = 119.14W$$

C. *Carga térmica total:*

De (8):

$$\dot{Q}_{salida} = 1666.84W + 118.88W = 1785.72W$$

Hallamos el calor que se debe transferir de la cocina a la vivienda, entonces, de (9):

$$\dot{Q}_{trans} = 2.25(1785.72) + 116.13 + 138.5 = 4272.5W$$

Mientras estamos cocinando la energía necesaria para almacenar y calefaccionar al mismo tiempo se obtuvo con (9). De (10) y (11):

$$\dot{Q}_n = \frac{1006.3 \times 48.229 \times (23 - 0)}{2.67 \times 60 \times 60} = 116.13W$$

$$\dot{Q}_{n2} = \frac{1007 \times 11.11 \times (119 - 0)}{2.67 \times 60 \times 60} = 138.5W$$

D. *Cálculo del calor transmitido por la cocina para calefaccionar*

Para los siguientes cálculos empezamos a iterar desde el punto 4 hacia el punto 1 de la Fig. 1.

1) *Cálculo de la transferencia de calor por convección para paredes verticales:*

Desarrollamos todas las caras laterales y obtenemos una placa de  $A_1 = 2.5 \times 0.3m$ . De la secuencia de pasos, tenemos:

$$T_4 = \frac{119 + 0}{2} = 59.5^\circ C$$

Después de varias iteraciones, se obtiene el valor correcto de  $T_3 = 413.7^\circ C$ , se presenta directamente este valor para reducir la parte operativa iterativa en el presente trabajo de investigación. Luego, obtenemos el  $T_{film}$ :

$$T_{film} = \frac{59.5 + 413.7}{2} = 236.6^\circ C$$

A una temperatura tenemos los siguientes datos en el aire.

TABLA IV

PROPIEDADES DEL AIRE A  $T_{FILM} = 236.6^\circ C$

(g) Gravedad	9.81 m/s <sup>2</sup>
(ρ) Densidad	0.4469 Kg/m <sup>3</sup>
(ν) Viscosidad cinemática	6.046x10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s
(k) Conductividad del aire	0.040169 W/m.K
(Pr) Número de Prandtl	0.69535

(Lc) Vertical/Horizontal

0.3/0.11786 m

De (15), (16), (17) y (18) tenemos:

$$\beta = \frac{1}{273 + 236.6}$$

$$Ra_L = 35013563.18 = 3.501 \times 10^7$$

$$Nu = 44.67$$

$$h_{conv,1} = \frac{44.67 \times 0.040169}{0.3} = 5.9814 \frac{W}{m^2.K}$$

Finalmente, hallamos la transferencia de calor por las paredes verticales. De (14), obtenemos:

$$\dot{Q}_{conv,1} = h_{conv,1} A_1 (T_3 - T_4) = 3453.35W$$

$Ra_L = 3.501 \times 10^7$  indica que tendremos un flujo laminar de aire para en fenómeno de termosifón y habrá pocas líneas de corriente elípticas y parabólicas.

2) *Cálculo de la transferencia de calor por convección para el techo de la cámara horizontal*

Seguiremos los mismos pasos y datos (tabla 4) que las paredes verticales a excepción de Lc y Nu. El  $A_2 = 1.1 \times 0.3m$ , entonces:

$$\dot{Q}_{conv,2} = 7.025 \times 0.3 \times 1.1 \times (413.7 - 59.5) = 821.16W$$

Luego:

$$\dot{Q}_{conv} = 3453.35 + 821.16 = 4274.5W$$

En las superficies laterales se le ha sumado 0.88m<sup>2</sup> de área de superficie debido a que se le incorporarán aletas para mejorar la transferencia de calor. Se obtiene  $\dot{Q}_{conv} \approx \dot{Q}_{trans}$  luego de un proceso iterativo, si no se llegara a la aproximación, en el proceso iterativo, se tendrá que corregir a valores más cercanos el área interna y la temperatura  $T_3 = 413.7^\circ C$ .

3) *Cálculo de la transferencia de calor por conducción:*

En la Fig. 3 se aprecia el flujo de calor simulado para la cocina, y en la Tabla V se muestra los datos del combustible.

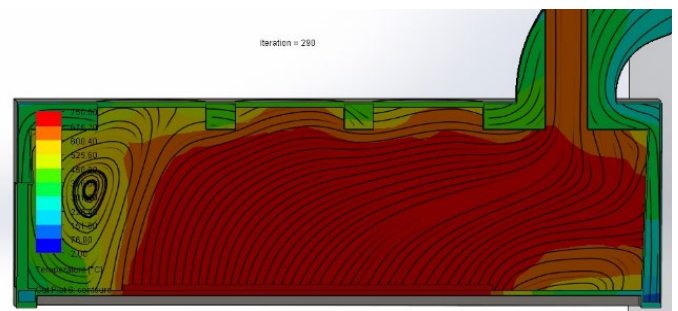


Fig. 3 Distribución de temperaturas en la cocina y líneas de corriente del aire

TABLA V  
DATOS DEL COMBUSTIBLE SÓLIDO (EUCALIPTO)

Área	1.1x0.3 m <sup>2</sup>
Espesor	0.001 m
Conductividad	14.9 W/m.K

Reordenando (21), tenemos:

$$T_2 = \frac{4274.5 \times 0.001}{14.9 \times 1.1 \times 0.3} + 413.7 = 414.57^\circ\text{C}$$

4) *Cálculo de la transferencia de calor por radiación:*

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon F_{5' \rightarrow n'} A_{n'} \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

Obtenemos los factores de forma para dos rectángulos perpendiculares con una arista común y entre dos rectángulos paralelos alineados de igual tamaño [3].

$$F_{5' \rightarrow 1'} = 0.07; F_{5' \rightarrow 2'} = F_{5' \rightarrow 3'} = 0.26; F_{5' \rightarrow 6'} = 0.34$$

$$A_{2'} = A_{3'} = A_{5'} = A_{6'} = 0.33\text{m}^2$$

Teniendo como datos para el cálculo de la radiación:

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8}; \varepsilon = \frac{0.62 + 0.7}{2} = 0.66$$

$$T_1 = 700^\circ\text{C} = 973\text{K}; T_2 = 414.57^\circ\text{C} = 687.57\text{K}$$

Procedemos a calcular el calor por radiación a través de la superficie de las paredes

$$\dot{Q}_{5' \rightarrow 1'} = 881.2\text{W}; \dot{Q}_{5' \rightarrow 2'} = 3273.1\text{W}$$

$$\dot{Q}_{5' \rightarrow 3'} = 3273.1\text{W}; \dot{Q}_{5' \rightarrow 6'} = 4280.2\text{W}$$

A (22) le restamos el calor requerido para cocinar:

$$\dot{Q}_{rad} = 0.66 \times (881.2 + 3273.1 + 4280.2)\text{W} - 2900\text{W}$$

$$= 4358.68\text{W}$$

Como  $\dot{Q}_{rad} \approx \dot{Q}_{trans}$  podemos decir que las dimensiones de las superficies internas de la cámara es la óptima para calefaccionar. Si no se diera el caso se itera variando la longitud de las superficies internas.

5) *Cálculo de la cantidad de energía a suministrar al interior del sistema*

De (25) y (27), tenemos:

$$\Delta E_{ambiente} = 4272.5 - 1785.72 = 2486.78\text{W}$$

$\Delta E_{ambiente} > 0$  es la energía que se suministra al ambiente (vivienda y almacenamiento) para elevar la temperatura de 0°C a una T de confort térmico (23°C) tanto para el día (sistema continuo) como en la noche (sistema con almacenamiento).

6) *Cálculo de caudal de aire suministrado al sistema*  
Obtenemos el caudal de nuestra cocina mediante los gráficos empíricos

Para  $Ra_L = 3.501 \times 10^7$  flujo laminar, tenemos:  $G=0.000055$ .

Obtenemos los datos del aire (Tabla IV) y reemplazamos en (26).

$$\dot{m} = 0.000055 \times 0.4469 \times 6.046 \times 10^{-5} (50.36 \times 10^6)$$

$$= 0.00748388 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$$

Donde m es la longitud transversal del desarrollo lateral de la cocina, en este caso  $m = 2.5\text{m}$ , entonces:

$$\dot{m} = 0.002994 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

En flujo volumétrico tendremos:

$$\text{Caudal} = 0.002994 \times \frac{1}{0.4469} = 6.69 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Es un caudal que ayudará a recircular el aire en la vivienda y el almacenamiento. Nos permite renovar dichos ambientes con aire caliente y extraer el aire frío.

7) *Cálculo de almacén de aire caliente para suministrar al sistema en horario nocturno*

De (27) y (31), tenemos que:

$$60 \times 0.809657 \times 1007 \times (23 - 0) + (300 \times 60 \times 8)$$

$$= 14.8 \times 0.68666 \times 1007 \times (T_c - 23)$$

$$+ \left(\frac{4}{3}\pi \times 0.05^3\right) \times 2700(\#pedras) \times (T_c - 23)$$

De (32), tenemos:

$$\frac{14.8 \times 0.68666 \times 1007 \times (T_c - 23)}{2 \text{ horas y } 40 \text{ min}}$$

$$+ \frac{\left(\frac{4}{3}\pi \times 0.05^3\right) \times 2700(\#pedras) \times (T_c - 23)}{2 \text{ horas y } 40 \text{ min}}$$

De (34), tenemos:

$$\dot{Q}_e \text{ al atm.}$$

$$= 4272.5 - (1785.72 + \frac{60 \times 0.809657 \times 1007 \times (23 - 0)}{2 \text{ horas y } 40 \text{ min}})$$

$$+ \frac{\left(\frac{4}{3}\pi \times 0.05^3\right) \times 2700(\#pedras) \times (T_c - 23)}{2 \text{ horas y } 40 \text{ min}}$$

Tenemos las tres últimas ecuaciones con incógnitas  $T_c$  y  $\#pedras$  (hemos tomado la dimensión estándar de la piedra de radio de 5cm). Iterando hasta que los  $\dot{Q}_{emitido \text{ al almacén}}$  se igualen, finalmente:

$$T_c = 41.17^\circ\text{C} ; \# \text{piedras} = 300$$

Donde  $T_c$  es la temperatura a la cual se debe almacenar el aire y las piedras del almacén para llegar a una temperatura de equilibrio (confort) por las noches de  $23^\circ\text{C}$  y pueda mantenerse constante por 8 horas. La imagen con el flujo de aire caliente y frío se muestra en la Fig. 4.

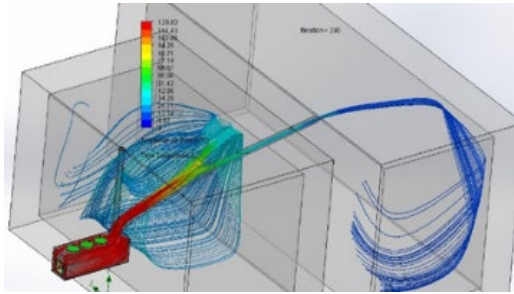


Fig. 4 Flujo de aire caliente desde la cocina hacia el almacén y vivienda

#### IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El diseño de la cocina es un paralelepípedo con dimensiones  $1.1 \times 0.3 \times 0.3 \text{m}$  (cámara de combustión). Las placas exteriores e interiores tienen una separación de  $0.1 \text{m}$ , por donde fluiría el aire caliente. Para obtener una mayor entrada de aire se optó por darle un ángulo de inclinación de  $2^\circ$  a las placas interiores, con respecto a la vertical. Para el transporte del flujo de aire se considera un área transversal de  $0.0254 \text{m}^2$  con material de plancha galvanizada.

La cantidad de calor que se requiere transferir desde el interior de la cámara de combustión a las partes externas 3 y 4 (Fig. 1), para lograr el confort térmico, es de  $\dot{Q}_{trans} = 4272.5 \text{W}$ . Esta cantidad de calor se transfiere por radiación desde el interior, además se ha diseñado la salida del aire caliente recalentada por los gases de combustión como se muestra en la Fig. 4. Lo que nos da como resultado una temperatura de salida del aire, según cálculos presentados y simulaciones en el software SOLIDWORKS, de  $T_{salida} = 119^\circ\text{C}$ .

Se logró llegar a una temperatura de equilibrio (Confort) por las noches de  $23^\circ\text{C}$ , mediante un sistema continuo de suministro en el día (mientras se usa la cocina), ver Fig. 4, y un sistema de almacenamiento en la noche (cuando se usa el calor almacenado en las piedras y el aire caliente del almacén).

Se determinó que la cantidad máxima de energía que se tiene que suministrar al interior del sistema es de  $2486.78 \text{W}$ , para elevar la temperatura de  $0^\circ\text{C}$  a una  $T$  de confort térmico ( $23^\circ\text{C}$ ) tanto para el día (sistema continuo) como en la noche (sistema con almacenamiento).

Se calculó la temperatura a la cual se debe almacenar el aire  $T_c = 41.17^\circ\text{C}$ , gracias a la propiedad de la absorptividad de 300 piedras de color negro, esto permitirá el flujo continuo de aire caliente a la habitación por un periodo de 8 horas.

#### IV. RECOMENDACIONES

Tanto para la vivienda, el almacenamiento y el sistema de transporte se recomienda aislarlos térmicamente para que las pérdidas de calor por conducción de las paredes sean mínimas.

Considerar el uso de las aletas, correctamente dimensionadas, en la parte externa de la cámara de combustión para que no se genere un cuello de botella y un sobrecalentamiento de la placa. Las aletas ayudarán a emitir más calor desde el interior de la cámara de combustión hacia el aire externo mediante la convección natural.

Se recomienda usar como aislamiento térmico la lana de los camélidos, ya que estas, en su interior, tienen intersticios de aire entre cada partícula de lana. Para mejorar la absorptividad de las piedras se sugiere pintarlas de color negro.

#### REFERENCIAS

- [1] A. P. Flores, «El friaje y las heladas: Diagnóstico de la problemática en el Perú y legislación comparada,» Departamento de Investigación y Documentación Parlamentaria, Lima, 2018.
- [2] Y. CENGEL y A. GHAJAR, Transferencia de calor y masa, Mexico: Mc Graw Hill, 2004.
- [3] Y. A. Çengel y Afshin J. Ghajar, Transferencia de calor y masa, México: Mc Graw Hill, 2011.
- [4] A. Holguino Huarza, L. Olivera Marocho y K. U. Escobar Copa, «Confort térmico en una habitación de adobe con sistema de almacenamiento de calor en los andes del Perú.,» Revista de Investigaciones Altoandinas, Puno, 2018.
- [5] F. Incropera P. y D. Dewitt P., Fundamento de Transferencia de Calor, México: PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA, S.A., 1999.
- [6] F. Sierra, C. Guerrero, F. Mejía «Determinación de la eficiencia de la cocción con leña en las veredas de Usme, Bogotá,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2014.
- [7] C. J. Mendoza Ruiz, «Diseño, construcción y pruebas de termococinas a leña y bosta para sectores rurales y urbano-marginales,» Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2007.
- [8] A. J. C. Román, «DISEÑO DE UN SISTEMA SOSTENIBLE DE CALEFACCIÓN PARA UNA VIVIENDA MEDIANTE ENERGÍA DE BIOMASA,» UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VÁLENCIA, MADRID - ESPAÑA, 2020.
- [9] C. Rubio Ramírez, J. Bermúdez Santaella, G. Martheyn Lizarazo y E. Vera Duarte, «Determinación de la emisividad de llama y el calor de radiación,» Universidad Francisco de Paula Santander, cucuta, 2016.
- [10] B. Zamora, L. Molina-Niñirola y A. Viedma, «Estudio numérico del flujo inducido por convección natural en una pared trombe,» Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y diseño en Ingeniería, vol. 18, 2002.