



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

Análisis y rediseño para mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal para la quema de ladrillos en el distrito de San Pedro de Lloc, Provincia de Pacasmayo – La Libertad.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Espinoza Amaya, Edgar Miguel (orcid.org/0000-0002-6031-1041)

ASESOR :

Mg. Julca Verastegui, Luis Alberto (orcid.org/0000-0001-5158-2686)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

TRUJILLO – PERÚ

2022

DEDICATORIA

Principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme seguir adelante para poder lograr ser un profesional.

A mis padres y seres queridos por ser el motivo más importante para salir adelante y por demostrarme siempre su apoyo incondicional.

A mi esposa e hijo por brindarme el aliento necesario para seguir adelante en el proceso de mi formación profesional.

A mis docentes, quienes me apoyaron y brindaron sus conocimientos para poder consolidarme como un profesional.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a Dios, quien con su bendición ilumina mi camino para seguir adelante, a toda mi familia por estar siempre presentes en las buenas y malas.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades, docentes y compañeros de la Universidad César Vallejo, quienes con sus valiosos conocimientos aportaron a mi crecimiento personal y profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO:.....	4
III. METODOLOGÍA.....	17
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	17
3.2. Variables y operacionalización.....	18
3.3. Muestra y Población.....	20
3.4. Instrumentos y técnicas para la recolección de datos.....	20
3.5. Procedimiento.....	20
3.6. Método de Análisis de datos.....	22
3.7. Aspectos éticos.....	22
VI. RESULTADOS.....	23
V. DISCUSIÓN.....	48
VI. CONCLUSIONES.....	51
VII. RECOMENDACIONES.....	53
REFERENCIAS.....	54
ANEXOS.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de resistencia con distintas mezclas.....	10
Tabla 2: Valores tradicionales de Coeficientes de convección.....	13
Tabla 3: Eficiencia de combustión en combustibles típicos.....	17
Tabla 4: Poderes caloríficos en Kj/Kg de algunos combustibles utilizados en hornos ladrilleros.....	18
Tabla 5. Contaminantes generados por el proceso productivos de las ladrilleras.	19
Tabla 6: Etapas del proceso de cocción de ladrillo.....	20
Tabla 7: Operacionalización de variables.....	22
Tabla 8: Instrumentos y técnicas de la investigación.....	23
Tabla 9: Características técnicas actuales del horno.....	26
Tabla 10: Características de operación actuales del horno	26
Tabla 11: Dimensiones del horno, ladrillo y briquetas de carbón.....	26
Tabla 12: Matriz de selección.....	39
Tabla 13: Evaluación de calificación ponderada.....	39
Tabla 14: Matriz morfológica.....	40
Tabla 15: Comparativo de matriz morfológica.....	41
Tabla 16: Costo referencial de materiales.....	48
Tabla 17: Costo referencial de herramientas.....	48
Tabla 18: Costo referencial de mano de obra.....	48
Tabla 19: Costos por mantenimiento y operación.....	49
Tabla 20: Costos administrativos.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de los mecanismos de transferencia de calor.....	11
Figura 2. Esquema que muestra la dirección del flujo de calor.....	12
Figura 3. Volumen elemental para analizar la conducción de calor unidimensional.....	12
Figura 4. Procesos de Convección.....	13
Figura 5. Modelado 3D del actual horno artesanal.....	27
Figura 6. Distribución actual de los ladrillos dentro del horno.....	27
Figura 7. Propuesta preliminar 1.....	37
Figura 8. Propuesta preliminar 2.....	37
Figura 9. Propuesta preliminar 3.....	38
Figura 10: Diseño de techo para el horno artesanal.....	42
Figura 11: Montaje de techo en el horno artesanal.....	42
Figura 12: Distribución de temperaturas dentro del horno actual.....	44
Figura 13: Distribución de temperaturas en los sólidos (ladrillos) dentro del horno actual.....	44
Figura 14: Distribución de temperaturas dentro del horno mejorado.....	45
Figura 15: Distribución de temperaturas en los sólidos (ladrillos) dentro del horno mejorado.....	45
Figura 16: Distribución de velocidades en el interior del horno mejorado.....	46
Figura 17: Figura 15: Ventilador modelo CMA-324-2T	47

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo el análisis y rediseño de un horno artesanal que obrará en la quema de ladrillos en la ciudad de San Pedro de Lloc, provincia de Pacasmayo – La Libertad; para así conseguir mejorar su eficiencia energética.

Actualmente el horno artesanal produce 35000 ladrillos, con una merma del 9%, para el cuál requiere de 5.5 toneladas de Combustible (Briquetas de Carbón). Para el propósito de esta investigación se realizó un diagnóstico actual del horno artesanal, logrando obtener sus características técnicas y de operación del horno.

Luego de ello se realizó el análisis energético del horno con los datos obtenidos anteriormente, con temperatura máx del horno 1000°C, PCI del Carbón 2600 Kj/Kg, tbm se realizarón los cálculos necesarios para hallar el calor útil de $1,58 * 10^5$ Kcal/h y un calor Absorbido por el horno de 260057,26 Kcal/h, con flujos de aire y combustible de 0,1199 Kg/s y $9.09 * 10^{-3}$ Kg/s respectivamente, con estos datos se calculó la eficiencia de dicho horno dando como resultado una eficiencia del 61%.

Seguidamente se elaboraron propuestas preliminares de mejora para el diseño del horno artesanal, las cuales, de acuerdo a la metodología del Diseño Conceptual se analizaron y se seleccionó la mejor propuesta de mejora (Diseño de Techo en forma de cúpula), para luego modelar y simular en el Software SolidWorks dicha propuesta y verificar la distribución de temperaturas en el interior del horno y en los ladrillos.

También se sugirió la implementación de un ventilador centrífugo modelo CMA-324-2T. para mantener un flujo de aire constante en la combustión.

Así mismo se realizó el análisis económico detallando la inversión inicial de S/. 9985 con un Beneficio neto de S/. 35615 (año), a una tasa de interés anual de 26,94%

Obteniendo un VAN de S/. 18071 y TIR de 257% > 26,94 % (RENTABLE).

Palabras clave: Horno artesanal, Eficiencia energética, Carbón, Ladrillos.

ABSTRACT

The objective of this research is the analysis and redesign of an artisanal oven that will work in the burning of bricks in the city of San Pedro de Lloc, province of Pacasmayo – La Libertad; in order to improve its energy efficiency.

Currently the artisanal kiln produces 35,000 bricks, with a decrease of 9%, for which it requires 5.5 tons of fuel (coal briquettes). For the purpose of this research, a current diagnosis of the artisanal oven was made, managing to obtain its technical and operating characteristics of the oven.

After that, the energy analysis of the furnace was carried out with the data obtained previously, with maximum temperature of the furnace 1000 ° C, PCI of the Coal 2600 Kj / Kg, from the necessary calculations were made to find the useful heat of $1.58 * 10^5$ Kcal / h and a heat absorbed by the furnace of 260057.26 Kcal / h, with air and fuel flows of 0.1199 Kg / s and $9.09 * 10^{(-3)}$ Kg / s respectively, With these data, the efficiency of this furnace was calculated, resulting in an efficiency of 61%.

Next, preliminary improvement proposals were prepared for the design of the artisanal oven, which, according to the methodology of the Conceptual Design, were analyzed and the best improvement proposal was selected (Dome-shaped Roof Design), to then model and simulate in the SolidWorks Software said proposal and verify the distribution of temperatures inside the kiln and in the bricks.

The implementation of a centrifugal fan model CMA-324-2T was also suggested. to maintain a constant airflow in combustion.

Likewise, the economic analysis was carried out detailing the initial investment of S /. 9985 with a net profit of S /. 35615 (year), at an annual interest rate of 26.94%

Obtaining a NPV of S /. 18071 and IRR of 257% > 26.94% (PROFITABLE).

Keywords: Artisanal oven, Energy efficiency, Coal, Brick

I. INTRODUCCIÓN

La etapa de producción manual de ladrillos es una técnica realizada desde hace varios miles de años, su gran apogeo en el ámbito de la construcción y en la actualidad aún está en uso.

El desarrollo de este proyecto es fundamental ya que tal se menciona anteriormente la industria del ladrillo sigue teniendo un gran apogeo en la construcción civil, al ser un material que aún sigue siendo utilizado en cualquier tipo de proyecto habitacional, desde viviendas unifamiliares, multifamiliares, hasta grandes conjuntos residenciales. Las personas que trabajan en la elaboración de este producto tienen bajas ganancias, por lo que no considera poder mejorar el proceso de fabricación sin afectar la economía, en nuestro país existen más de 2000 pequeñas empresas enfocadas en la fabricación del ladrillo artesanal. (Ministerio de la Producción y el Prog. Regional de Aire Limpio).

El proceso de producción se realiza en hornos inferiores, utilizando tecnología antigua e inapropiada, por lo que requiere mayor uso de combustible, aumentando los costos de producción. Los combustibles mayormente empleados son: madera, carbón, llantas en desuso, estiércol de oveja, aserrín, etc.

Evidentemente, estos materiales no son propios para ser usados como tal porque aumentan la transmisión de CO₂ e infringen las exigencias ambientales, pero su uso se debe básicamente al bajo coste de adquisición.

Cuando estos materiales se utilizan en el proceso de quemado, los cambios de tiempo y temple dentro de estos hornos son notables, ya que no es posible obtener un poder calorífico estándar debido a los diferentes tipos de combustible utilizados. Al final de la fase, se produce un enfriamiento de manera lenta, y mediante procedimientos empíricos, el fabricante decide dejarlo enfriar por un tiempo de 6 a 7 días, Otro efecto negativo es la velocidad de combustión lenta, se necesitan 21 días para producir 35000 ladrillos (Entrevista personal, 16 de Junio de 2022). Actualmente, de los 35 000 ladrillos que ingresan al horno, un promedio de 1200 ladrillos están vitrificados (recalentados), 1000 no están procesados (amarillos) y 800 están rotos, lo que da como resultado un promedio de 3000 ladrillos totales perdidos (solo durante la etapa de quemado). , que representa pérdida de masa del 9 % el cual debe abordarse.

En relación a la quema de ladrillos, cuándo éste está a un temple entre 150 - 200°C, el agua se esfuma por completo, cuándo está a 500 °C se queman las materias orgánicas; posterior a ello, al llegar a los 700-800 °C se crea una aleación de múltiples silicatos; a partir de los 800 a 1000 °C su cocción está al 100% (enlace de óxidos de hierro con alúmina y sílice). Resulta fundamental aludir en relación al color del ladrillo, que de por sí, es variable (amarillo rosado, blanco rojizo, rojo oscuro y rojo brillante). El rojo, generado por el óxido férrico; el color amarillo rojizo dado a que este compuesto por cal, selenita o magnesio; y el color amarillo formado debido al óxido de hierro (Barranzuela Lescano, J.; 2014).

Las emisiones contaminantes de los hornos rústicos son muy altas, sin embargo a los fabricantes no les es de mucha importancia invertir en recursos para cambiar su método de cocción, ya que consideran que sus ingresos se verían afectados.

De manera similar existen investigaciones donde proponen la mejora de los hornos pero en estos casos proponen el uso industrial, esto conlleva a una inversión económica que los propietarios no quieren invertir.

Por lo antes mencionado, para realizar un proyecto de manera correcta se planteó la incógnita siguiente ¿Cuál será el diseño óptimo para mejorar la eficiencia energética de un horno artesanal para la quema de ladrillos en el distrito de San Pedro de Lloc, provincia de Pacasmayo – La Libertad?

El presente proyecto de investigación se **justifica**, desde la perspectiva económica, porque permitirá sumar la rentabilidad económica del horno artesanal, gracias a la mejora de la eficiencia energética respecto al tiempo de cocción, y reducir las pérdidas por convección, radiación y conductividad, y la temperatura a cuál emana en la actividad de cocción. Desde la perspectiva social, la mejora de la eficiencia energética del horno artesanal permite a los trabajadores de la pequeña empresa ladrillera mejorar las condiciones de trabajo y evitar el riesgo al exponer los gases a alta temperatura que con el tiempo logran causar molestias y graves daños orgánicos, tanto al medio ambiente como a la salud de los hombres.

Respondiendo a tal cuestión se trazó como **Objetivo General** lo siguiente: Evaluar y Rediseñar un horno artesanal que obrará en la quema de ladrillos en la ciudad de San Pedro de Lloc, provincia de Pacasmayo – La Libertad; para así conseguir mejorar su eficiencia energética.

A fin de llegar a lograr lo anteriormente propuesto se trazó como **objetivos específicos** lo siguiente: (1) Evaluar la configuración y producción del horno con el que se cuenta actualmente para definir sus características y condiciones de operación. (2) Determinar la eficiencia energética actual del horno con el que se cuenta. (3) Elaborar propuestas de la nueva configuración del horno artesanal. (4) Analizar y seleccionar mediante el uso del diseño conceptual la mejor propuesta de mejora para el horno artesanal. (5) Simular y evaluar con ayuda del Software SolidWorks, la propuesta de la nueva configuración del horno artesanal. (6) Evaluar económicamente la propuesta de mejora del horno artesanal.

II. MARCO TEÓRICO:

La base científica del Análisis y rediseño para mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal para la quema de ladrillos del distrito de San Pedro de Lloc, Provincia de Pacasmayo – La Libertad, son trabajos previos internacionales, nacionales y locales, que están relacionados con el tema tratado:

Hoy en día la invención de tecnologías nuevas es un tema de mucha relevancia, el Banco Mundial es uno de los entes que apoya a dicha creación con la implementación de hornos nuevos que produzcan, en comparación a otros hornos un índice menor de contaminación y a su vez tengan mayor eficiencia. Tecnologías como las HHK, los cuales se fabricaron en Alemania, para luego, ser importadas a Bangladesh no sin antes haber sido mejorada en China, actualmente ha sido rediseñada para acoplarla a los niveles de humedad, el clima local y las condiciones del suelo. Éste hace uso de una mezcla de arcilla y carbón en polvo para darle una mejor calidad y lograr una adecuada quema para los ladrillos. Aparte de ello, el calor sobrante de los hornos es rescatado y reutilizado para el secado de los ladrillos húmedos previo a que ingresen a los hornos. A causa de éstas innovaciones, los hornos híbridos Hoffman usan tan solo la mitad de la cantidad de carbón a diferencia de los hornos de chimenea fija, y detienen las partículas de carbón en el interior del ladrillo para evitar que logren transformarse en cenizas que se transportan por el aire. (Grupo Banco Mundial, 2016).

La producción de ladrillos es primordial en la industria en todo el mundo, ya que es necesaria para distintos trabajos infraestructurales, por tal motivo el “Programa de Eficacia Energética en Ladrilleras de América Latina” (Programa EELA), posee un plan para la mejora de las emisiones producidas en dicho proceso de producción; en el que COSUDE (cooperación suiza), es partícipe en el mencionado proyecto de mejora energética en ladrilleras artesanales, reduciendo así la contaminación atmosférica, por lo tanto es de mucha importancia la invención de tecnologías nuevas considerando los hornos que causen menor contaminación y tengan mayor eficiencia, como son los Hornos Holfazman, en los que se emplea una mezcla de arcilla y carbón pulverizado para así, perfeccionar la quema propia de los ladrillos y la calidad de los mismos. En tal, la se reduce las emisiones en las ladrilleras aproximadamente en un 30% y incrementa sus ganancias en un 10% (Programa EELA, 2016).

En La Libertad se hallan un promedio de 37 ladrilleras artesanales , situadas en las diferentes zonas de La Esperanza, Huanchaco, Trujillo, Laredo, El Porvenir, Florencia y Víctor Larco, de las cuáles, en Trujillo hay aproximadamente 11 ladrilleras artesanales. (Programa Regional de Aire Limpio; Ministerio de Producción, 2020)

Guerrero, Espinel y Sánchez (2017) realizaron una investigación con título “Análisis de temperaturas en el proceso de cocción (quemado) de ladrillos firmes y sus características finales “nos dicen que los bloques que son horneados a una temperatura mayor a 1000 ° C tienen un módulo de rotura mayor (1,54 MPa); a pesar de ello, se pudo encontrar que los bloques horneados a menor temperatura presentaron la mayor medida inicial de absorción (0.37gr/cm²/min) asimismo presentaron una mayor resistencia a la compresión (7.28MPa). Finalmente, dado que la temperatura y el tiempo no se controlan durante el proceso de horneado, es difícil que las propiedades sean las más adecuadas.

Marcos Luján y Daniel Guzmán (2015) realizaron una tesis titulada “Modelación, Evaluación y construcción de un Horno (MK3) para el quemado de Ladrillos Artesanales” nos dicen que los hornos volcán son ventajosos para el productor artesanal debido a su reducida inversión para su construcción; ya que un horno con capacidad de 80 a 100 millares llega a costar entre 1.500 y 2.000 US\$, se construyen de adobe, en forma de base rectangular y las dimensiones habituales son 6 x 7 x 4,5 m. En contrapartida a esta baja inversión, las principales falencias de este tipo de horno son sus elevadas emisiones de contaminantes, principalmente material particulado (MP) y monóxido de carbono (CO) y su elevado consumo de energía; el consumo específico de estos hornos es de unos 4 a 6 MJ/kg de ladrillo cocido. La baja eficiencia de estos hornos implica fuertes emisiones de Gases a Efecto Invernadero (GEI), sobre todo en forma de CO_2 .

Rivera García Jherson Carlos (2021), realizó una tesis titulada “Mejoramiento de la eficiencia térmica de un horno artesanal de ladrillos de una microempresa del distrito de Florencia de Mora, Provincia de Trujillo – La Libertad..”, donde realizó el análisis y diagnóstico de un horno artesanal logrando obtener sus datos de operación (magnitudes, consumo de combustibles, consumo de energía, flujo másico, etc), También hizo un estudio de probables variaciones a la configuración

de la repartición de los gases de combustión del horno con el que se cuenta actualmente, resolviendo que el acondicionamiento de conductos colocados en la parte inferior y superior del horno, facilitó la mejora en la repartición del calor y a su vez, logró una disminución del tiempo previsto de quemado, con lo que se lograría una mejora en la calidad del ladrillo cocido y reducir la cantidad de ladrillos en mal estado.

Manuel Arévalo y Julio Cumbe (2021) realizaron un proyecto técnico titulado “Propuesta de mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal en la ciudad de Cuenca, Ecuador – Cámara de cocción y combustión”, donde realizaron el análisis de las condiciones actuales del horno artesanal y el proceso de producción establecido para desarrollar un modelo de simulación mediante software especializado en el que se determinó las eficiencias, así como las zonas más críticas donde el calor generado presenta gradiente de temperaturas más elevados.

La presente investigación se basa en el rediseño de un horno artesanal para la cocción de ladrillos, lo cual nos permitirá aumentar la eficiencia energética de dicho horno, para ello se utilizarán las siguientes:

Teorías relacionadas al tema:

La Norma Técnica Peruana 331.017 (2003) señala al ladrillo un material de construcción producida con esquistos arcillosos, sustancias terrosas o arcilla parecidas de ocurrencia natural, constituida a través de extrusión, moldeo o prensado y sujeta a un procedimiento con calor a altas temperaturas (quema), dicha norma describe que los ladrillos serán libres de tratamientos superficiales y fallas incorporando recubrimientos, que interfieran en la correcta ubicación del ladrillo o dañen de forma significativa el desempeño o la resistencia de la construcción.

Respecto al ladrillo, se dice que es una versión perfeccionada del adobe, fruto del quemado a elevadas temperaturas (mayor a 350°C). En Arequipa, puede ser de un 30 por ciento el total de arcilla en la mezcla, en el Cuzco se estima hasta el 70%. A diferencia de ello, en Piura se han hecho pruebas en las que se introdujo en dicha mezcla, las cenizas de la cáscara de arroz y aserrín de madera, obteniendo de ello los siguientes resultados:

Tabla 1: Valores de resistencia con distintas mezclas.

Clase de ladrillo	Tipo de mezcla	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)	Densidad (g/cm ³)
King kong tradicional	Con arena	75,5	1,61
King kong tradicional	Con aserrín	42,5	1,32
King kong tradicional	Con ceniza	50,5	1,45
King kong extruido	Con arena	169,0	1,47
King kong extruido	Con ceniza	160,5	1,35

Fuente: Programa de Energía de ITDG-Perú, Uso de cascarilla de arroz como fuente energética en

Las condiciones del quemado, basado en obtener, por medio de las consecutivas capas horizontales de ladrillos que el fuego ascienda homogéneamente, logrando encender las capas correspondientes de cisco de carbón logrando que se agoten en los mantos superiores, así se completaría en toda la carga el proceso de cocción. El transcurso del quemado en los hornos característicos de la ciudad Arequipeña tiene una duración de 7 a 20 días dependiendo de las dimensiones de dicho horno, y se produce con carbón de piedra. En hornos Piuranos, el proceso del quemado de ladrillo dura una semana. A diferencia de ello, en Cuzco dura solamente 24 horas.

El proceso de cocción da inicio al encender por completo las briquetas de la segunda capa del malecón de encendido, es ahí donde junto a esas briquetas también ya ha encendido el cisco de carbón; en dicho instante se comienza a tapar el horno sellando principalmente las ventanas y mirillas que se encuentran en sentido opuesto en relación al viento, disminuyendo la dimensión de las ventanas que se encuentran en dirección al viento y por último tapando las aberturas de la última fila de ladrillos de la parte superior del horno, dejando así reducidas ranuras en las esquinas del techo que servirán para poder ver el proceso. A partir de dicho instante se mantiene encendido en fuego hasta que logre llegar a la parte de arriba del horno.

Transferir calor, es una ciencia que intenta pronosticar la transferencia de energía que podría darse entre cuerpos materiales, ésto, producto de una desigualdad de temperatura. La termodinámica explica que dicha transferencia de energía es definida como calor. La ciencia de transferir calor, aparte de señalar cómo puede transferirse la energía calorífica, también predice la velocidad a la que se hará este cambio bajo ciertas condiciones especificadas.

En el estudio se toma en cuenta las pérdidas por conducción en el suelo de la cámara de combustión, igualmente en sus paredes, cuya parte externa tiene contacto con el suelo; pérdidas por convección y conducción en las paredes donde la superficie externa de las mismas tiene contacto con el medio ambiente, pérdidas por radiación en las aberturas del horno; etc.



Figura 1 Esquema de los mecanismos de transferencia de calor.

Transferencia de calor por conducción

Estudios han manifestado que al haber un gradiente de temperatura en cierto cuerpo, existe transmisión de energía de la región con elevada temperatura a la que está a temperatura baja. Se dice que la energía se transfiere por conducción y que la velocidad de transmisión de energía por unid. de área es proporcional al gradiente normal de temperatura:

$$\frac{q}{A} \approx \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

Al incluirse la constante de proporcionalidad, $q = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$ (1.1) en el cual:

- q = velocidad para transferir el calor
- $\frac{\partial T}{\partial x}$ = gradiente de temperatura en sentido del flujo de calor
- k = conductividad térmica del material, el signo menos (-) es insertado para satisfacer el segundo principio de la termodinámica, o sea, el calor fluye para abajo en la escala de temperatura, como está ubicado en el sist. de coordenadas.

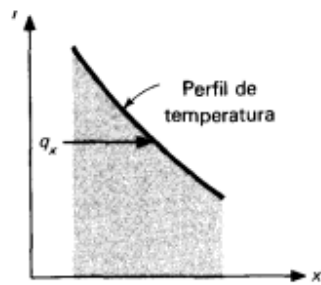


Fig.2 Esquema que muestra la dirección del flujo de calor

Dichas cantidades de energía son dadas de la forma siguiente:

$$\text{Energía (cara izquierda)} = q_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1.2)$$

$$\text{Energía producida en el interior del elemento} = \dot{q}A dx \quad (2)$$

$$\text{Cambio en la energía interna} = \rho c A \frac{\partial T}{\partial x} dx \quad (3)$$

$$\text{Energía hacia fuera de la cara derecha} = q_{x+dx} = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x+dx} \quad (4)$$

Donde: \dot{q} = Energía producida por unid. de vol.

c = Calor específico del material

ρ = Densidad

La mezcla de las distintas partes expresadas anteriormente nos resulta:

$$-kA \frac{\partial T}{\partial x} + \dot{q}A dx = \rho c A \frac{\partial T}{\partial x} dx - A \left[k \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \right] \quad (5)$$

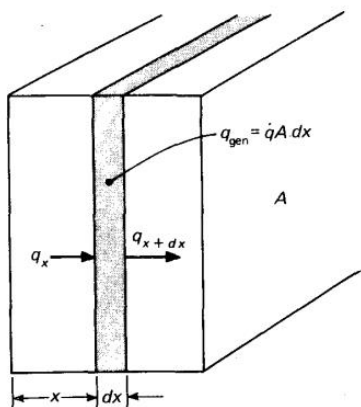


Fig. 3 Volumen elemental para analizar la conducción de calor unidimensional.

Transferencia de calor por convección

Mecanismo que transfiere calor por actividad de circulación o masa en el interior de la sustancia. Se puede dar naturalmente, dada solo por la desigualdad de consistencia de la materia; también puede ser forzada, que se produce cuando se obliga a la materia a circular de cierto sitio a otro; por ejm., el agua con una bomba o el aire con un ventilador. Ésto es producido en líquidos o gases donde las moléculas y átomos pueden moverse en el medio con libertad.

Un diseño de transferencia de calor H por convección, nombrado también ley de enfriamiento de Newton, es la que sigue:

$$H = hA(T_A - T) \quad (6)$$

Donde: h = coeficiente de convección, en $\frac{W}{(m^2K)}$

A = Superficie que da calor con cierta temperatura (T_A) al fluido adyacente,

El cual está a una temperatura T

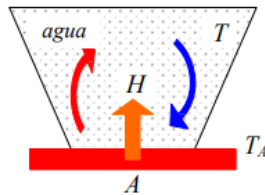


Fig. 4. Procesos de Convección.

El flujo de calor por convección será positivo ($H > 0$) si se transfiere el calor al fluido desde la superficie de área A ($T_A > T$) y si se transfiere el calor a la superficie hacia el fluido será negativo ($T_A < T$).

Tabla 2: Valores tradicionales de Coeficientes de convección

Proceso	h (W/m^2K)
Convección libre	
Gases	2 - 25
Líquidos	50 - 1000
Convección forzada	
Gases	25 - 250
Líquidos	50 - 20000

Fuente: Programa de energía de ITDG PERÚ

Transferencia de calor por radiación

Es energía producida por materia, la cual se halla a una determinada temperatura, en dirección hacia afuera en diversos sentidos, originada desde la fuente. En la presente situación, la radiación electromagnética es el mecanismo. Se limitará nuestro estudio en la radiación electromagnética, la cual se propaga como producto de una desigualdad de temperaturas; esto es nombrado radiación térmica. Consideraciones termodinámicas indican que un radiador idóneo, o cuerpo negro, emite energía a una velocidad proporcional a la cuarta potencia de la temperatura total del cuerpo. Cuando dos cuerpos cambian radiación por calor, el intercambio de calor neto entonces es acorde a las diferencias en T^4 . De la siguiente manera:

$$q = \sigma A(T_1^4 - T_2^4) \quad (7)$$

donde σ es denominada constante de Stefan Boltzmann, siendo la constante de proporcionalidad y que toma el siguiente valor: $5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$. A dicha ecuación se le denomina “ley de radiación térmica de Stefan-Boltzmann”, es producida tan sólo en los cuerpos térmicos. Es relevante ver que dicha ecuación solo se aceptada para la radiación térmica; ya que no se puede tratar de manera tan simple a otros tipos de radiación electromagnética.

Se mencionó que un cuerpo negro propaga energía en relación con la ley T^4 . A dichos cuerpos los denominamos negros ya que, las superficies negras, como un trozo de metal cubierto con carbón negro, se acercan a esta clase de conducta. Otras clases de superficies, como es, una placa de metal pulida o una brillante superficie pintada, a diferencia de un cuerpo negro, no irradian tanta energía; no obstante, el total de radiación expulsada por los cuerpos mencionados, comúnmente, sigue la proporcionalidad de T^4 . Para considerar la naturaleza “gris” de las superficies mencionadas, en la anterior ecuación insertamos otro factor, denominado emisividad (E), el cual vincula la radiación del espacio “gris” con la de una superficie negra ideal. También, se consideró que el total de las radiaciones que dejan una superficie no lograrán alcanzar la otra superficie, puesto que la radiación electromagnética va en línea directa y se perderán algunas en los alrededores. En consecuencia, para considerar ambas posiciones, designamos dos factores nuevos:

$$q = F_e F_G \sigma A(T_1^4 - T_2^4) \quad (8)$$

Donde: F_e es la función de emisividad y F_G es la función geométrica de “factor de vista”.

Procedimiento de tiempo y temperatura de transferencia de calor para la transformación: Los diversos materiales que sufren la acción de la cocción pasan por diversos estados mientras el paso de la misma; cuando al material logra alcanzar una temperatura de 150 grados centígrados a 200 grados centígrados, desaparece el agua en su totalidad iniciando la descomposición de los hidratos de silicio de hierro y de los silicatos de alúmina. A 500 grados centígrados se descompone la arcilla pura, se queman las materias orgánicas; ya en los 700 y 800 grados centígrados se crea una pasta, un cruce de alúmina, sílice, óxido de calcio, de magnesio y de hierro y distintos silicatos; desde 800 a 1000 grados centígrados, y para ciertas arcillas hasta los 1200 grados centígrados tiene lugar la quema, en otras palabras, que los óxidos de hierro se enlazan con los de alúmina y con la sílice, lográndose formar un tipo de vitrificación y la cocción total tiene lugar cuando la alumina se ha convertido en silicatos; o sea, la quema de ladrillo tiene como objetivo endurecer los mismos, haciendo de éstos resistentes y vitrificándolos para así, mantengan su forma continuamente.

En el trascurso de la quema, los materiales adoptan una coloración que es cambiante, dependiendo de los elementos de la arcilla, y va de amarillo rosado, blanco rojizo, rojo oscuro y rojo brillante. El rojo, proporcionado por el óxido férrico; si el hierro que tiene en su contenido las arcillas es unido con cal, selenita o magnesio, el color será amarillo rojizo; el amarillo se origina debido a la presencia de sal común que ataca al óxido de hierro originando en toda la superficie un color amarillo pajizo.

- Precalentamiento: Al tener el horno listo, encendimos la leña y se hizo un precalentamiento, el cual tuvo una duración de 4 a 6 horas para que así, el agua contenida en el ladrillo se evapore poco a poco, no debemos iniciar el quemado propiamente con el ventilador, puesto que, los ladrillos reventarían ya que el agua se evaporaría demasiado rápido.
- Montaje del ventilador: Al instalar el ventilador en el horno, debemos hacer uso de un tubo de PVC de 4”, el cual va en la red principal (dos tubos que salen del ventilador y se ubican a ambos lados del horno). Posterior a ello, debemos instalar

tubos de PVC de 2'' a 3'' a la altura de cada tronera, que surjan ala tronera desde la red principal, aproximadamente de medio metro y tubo de fierro de 80 cm a 1 metro, el cual se introducirá en cada tronera. • Los tubos de fierro que se introducen en las troneras tendrán que estar a 1 cm de nivel con el suelo del horno, para así, el aire logre ingresar sin chocar con algún obstáculo.

- Manejo del ventilador: Se debe cerciorar de poseer igual flujo de aire en cada una de las troneras. El aire estará en dirección a la base de la llama de fuego, estando a la altura del piso. Al hacer funcionar el ventilador en las primeras horas, se tiene que usar a un 25% de su potencia total cuando la tierra del ladrillo es suave. Para tierras de ladrillo que son fuertes, el ventilador, en principio ser trabajado a un 50% del total de su potencial. Al lograrse alcanzar dentro el horno una temperatura de entre 500 a 800 grados centígrados se usa el ventilador del 80% al 100% del total de su potencia, los productores deben conocer muy bien esta etapa, ya que el ladrillo en la parte inferior del horno se halla con una coloración rojo vivo y en la parte superior el techo comienza a bajar. Por tal, se recomienda el uso de termocuplas, que sirve como medidor de temperatura en la parte interna del horno, para ejecutar de una mejor forma la quema.
- Alimentación de la leña: Al hacer uso del ventilador, en las troneras se redujo el volumen de alimentación de leña, se debe colocar la leña en la boca del horno y sólo colocarla de a pocos, ya que el ventilador consigue que el aire lleve el calor hasta lo más hondo del horno, de tal manera no se tendrá que llenar leña hasta el fondo como se hacía antes, cuando no se usaba ventilador. Dicha sugerencia es de vital importancia, ya que si se continúa alimentando de leña como se hacía antes (llenada total y taconear en la entrada), ocasionará que los ladrillos que se encuentran en la parte inferior se fundan.
- Término de la quema: Al haber logrado tener una temperatura mayor a 1000 grados centígrados en el interior del horno, se agregó un poco de leña a las troneras y se procedió a apagar el ventilador, después procedimos a sellar las troneras y el techo con barro para que el calor logre distribuirse uniformemente en el interior del horno.

El combustible brinda una combustión eficiente y es importante para lograr tener una eficacia térmica buena, lo cual involucra dar provecho de la energía útil en el combustible al máximo. Una combustión ineficaz se produce mayormente por un

elevado contenido de CO, Oxígeno(O₂) y hollín en el gas de chimenea, también inconsistencia en el encendido y en el quemado.

Por ser menos contaminantes, los combustibles factibles de usar son:

- Gas Natural (GN) o Licuado (GLP)
- Combustibles líquidos con reducido contenido de azufre: Diesel, Residual, Bunker
- Carbón de Piedra
- Leña seca en pedazos
- Aserrín de madera
- Cáscara de arroz
- Cáscara de café

El Gas; combustible más puro y económico; de estar disponible en la zona de fabricación sería la mejor opción de uso. A diferencia de ello, los hidrocarburos líquidos no son tan limpios y generan mayor gasto económico.

Los combustibles sólidos también son buena opción; las cáscaras de vegetales, el aserrín de madera, son grandes alternativas puesto que son residuos de otros procesos. El carbón de piedra; combustible que genera poca contaminación, de costo factible, fácil de transportar y almacenar, es una de las mejores alternativas donde no está disponible el gas.

Tabla 3: Eficiencia de combustión en combustibles típicos.

Combustible	Eficiencia
Carbón Antracita	89.36 %
Carbón bituminoso	87.42 %
Residual N°6	85.95 %
Diesel N°2	84.95 %
Propano	83.45 %
Gas Natural	81.30 %
Metano	81.20 %

Fuente: Guía de Buenas Prácticas para Calderas Industriales, preparada por PA Consulting para el Ministerio de la Producción, PRODUCE

Tabla 4: Poderes caloríficos en Kj/Kg de algunos combustibles utilizados en hornos ladrilleros.

Cáscara de arroz	13 300
Algarrobo	15 500
Eucalipto	18 000
Carbón bituminoso	17 000
Carbón antracítico	26 000

Fuente: Guía de Buenas Prácticas para Calderas Industriales, preparada por PA Consulting para el Ministerio de la Producción, PRODUCE

En el impacto ambiental, la principal causa de contaminación es la quema de combustible en el cual el proceso de producción de ladrillos crea efectos sobre la calidad del aire la morfología del terreno. En el primer caso a causa principalmente de las emisiones de humo originadas de los hornos en el proceso de quemado que producen efectos directos e indirectos sobre la salubridad de la humanidad, la fauna, vegetación, y apoyan al cambio climático. El segundo caso dado a que la aprovechamiento de las canteras causa excavaciones que no solo perjudican el paisaje, sino también la configuración del terreno provocando tala de árboles, erosión, y también reducción de la membrana productiva del suelo. Ésta actividad no produce efluentes de proceso, sin embargo, produce residuos sólidos inertes formados por escombros cerámicos originados de los diversos productos echados por rotura o deficiente cocción (“bayos” y “recochos”), que conforme el Diagnóstico Ambiental del subsector Cerámica y Ladrillos están por debajo del 5%, pero que en los ladrilleros artesanales llegan a estar entre 5% y 15% si no se consigue una buena quema.

Polución (Contaminación)

Tabla 5: Contaminantes generados por el proceso productivos de las ladrilleras.

Etapas	Actividades que Generan Contaminantes	Tipo de Contaminantes
Extracción de Arcilla y tierras	<ul style="list-style-type: none"> Extracción con herramientas manuales Extracción con maquinaria pesada 	<ul style="list-style-type: none"> Escasas Partículas en suspensión Abundantes Partículas en suspensión Cambios en la morfología del terreno
Mezclado	<ul style="list-style-type: none"> Tamizado y selección Mezcla de arcillas con agua y arena 	<ul style="list-style-type: none"> Partículas en suspensión
Moldeado	<ul style="list-style-type: none"> No generan contaminantes 	<ul style="list-style-type: none"> Ninguno
Secado	<ul style="list-style-type: none"> Durante el secado de los moldes al aire libre solo se desprende vapor de agua, el cual es en principio inocuo para la salud. Los moldes defectuosos son reciclados a la etapa de moldeado 	<ul style="list-style-type: none"> Ninguno
Carga del horno	<ul style="list-style-type: none"> No genera contaminantes 	<ul style="list-style-type: none"> Ninguno
Cocción	<ul style="list-style-type: none"> Uso de combustibles en la cocción de ladrillos y tejas: Llantas, aceite usado, aserrín de madera, cáscara de café, ramas y leña de eucalipto, carbón de piedra 	<ul style="list-style-type: none"> Partículas en suspensión Dióxido de azufre Dióxido de nitrógeno Compuestos orgánicos volátiles
Clasificación	<ul style="list-style-type: none"> Descarte de productos rotos, mal cocidos, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> Residuos sólidos inertes
Despacho	<ul style="list-style-type: none"> Descarte de productos rotos 	<ul style="list-style-type: none"> Residuos sólidos inertes

Fuente: Guía de Buenas Prácticas para Calderas Industriales, preparada por PA Consulting para el Ministerio de la Producción, PRODUCE

Fabricación de Ladrillo Artesanal

La fabricación de ladrillos se lleva a cabo en varias etapas, desde la extracción de los materiales, mezcla de los mismos, elaboración del ladrillo, cocción del producto, almacenamiento y transporte para su comercialización. Una de las etapas fundamentales del proceso de fabricación del ladrillo es la cocción, etapa durante la cual se utilizan diversos materiales combustibles (leña, combustóleo, aceites residuales, chapopote, residuos sólidos municipales, gas LP, entre otros para abastecer el calor suficiente para poder llevar a cabo esta etapa del proceso (Blanc, 2008).

Para transformar el adobe (ladrillo crudo) a ladrillo cocido se requiere elevar su temperatura. A este proceso le llamamos proceso de cocción de ladrillo. La etapa de cocción del ladrillo se puede dividir en las siguientes subetapas: **1. Evaporación** de agua o deshidratación. Esta subetapa se presenta hasta aproximadamente 120 °C en donde se elimina el contenido de agua o humedad

de la pieza. **2. La descomposición**, donde se elimina la materia vegetal. Se presenta entre 120 °C y 350 °C. **3. El cambio a cerámica** inicia cuando se elimina por completo el agua de la estructura cristalina; el cambio es irreversible y comienza entre los 350 °C y 450°C. Presenta una etapa máxima entre los 600 °C y 700 °C. **4. El carbón y el sulfuro presentes se queman por oxidación** formando monóxido y bióxido de carbono, y monóxido, bióxido y trióxido de azufre. Esta etapa llega a su máximo a los 800 °C. 5. La vitrificación ocurre a partir de los 800 °C. En esta etapa se fortalecen los ladrillos debido a que las partículas de arcilla forman oxido. (Martínez, et al., 2002)

Tabla 6: Etapas del proceso de cocción de ladrillo.

ETAPA	TEMPERATURA
Evaporación (secado)	120°C
Descomposición	120°C – 350°C hasta 600°C
Cambio a cerámica	600°C – 700°C
Oxidación	700°C – 800°C
Vitrificación	800°C a 1000°C

Fuente: (Martínez, et al., 2002).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es Aplicada, según (Ramos, 2017) explica: “Son investigaciones basadas en el estudio de una problemática específica o particularmente, para contribuir con el desarrollo del conocimiento tecnológico”. De lo anterior, se puede decir que la investigación desarrollada en el presente informe es aplicada, puesto que está basada en aplicar conocimientos de transferencia de calor para lograr la mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal.

El diseño de esta investigación es no experimental, Según (Baptista, Hernandez y Fernandez, 2012) explica: “La investigación no experimental es la que se ejecuta sin uso deliberado de variables. Es decir es una investigación donde no realizamos variaciones intencionales de las variables independientes.”

En la investigación no experimental se logra observar fenómenos tal cual se producen en su contexto natural, para luego estudiarlos. Como señala “Kerlinger (1979, p. 116).”, El estudio busca tomar datos existentes y realizar un estudio para la mejora de su eficiencia energética y contribuir a una mejor producción con sus parámetros ya mejorados y establecidos en su función de ladrillera existente en San Pedro de Lloc .

3.2. Variables y operacionalización

Variable independiente: Eficiencia térmica del horno artesanal.

Variable dependiente: Configuración del horno artesanal para la producción de ladrillos

Tabla 7: Operacionalización de variables

Variable	Tipo	Def. conceptual	Def. Operacional	Indicador	Escala de medición
Eficiencia energética del horno artesanal.	Variable Dependiente.	Refiere al óptimo empleo de fuentes de energía, pero sin cambiar la productividad de la industria de los ladrillos, queriendo así, indagar múltiples alternativas para la disminución del gasto de energía que, también crea mejoras a nivel ambiental y económico. (Jr, ValençaSchwob, & Rodrigues, 2015)	La eficiencia se determina de manera indirecta en función del calor disponible (de combustión) y el calor utilizado o útil en la quema de ladrillo.	Calor de combustión.	De Razón
				Flujo másico de combustible.	De Razón
				Flujo másico de aire.	
				Perdidas de Calor	
				Calor útil en la cocción del ladrillo.	
Temperatura el ladrillo.					
Configuración del horno artesanal para la producción de ladrillos	Variable independiente	Modificación y adaptación de una parte del aparato, maquinaria o equipo que tienda a modificar su modelo original y que, a su vez mantenga su funcionamiento primordial, produciendo con esto un buen impacto económico en la producción de ladrillo.	La configuración del horno artesanal se determina identificando las pérdidas de calor, distribución de temperaturas, flujo calorífico, chimeneas, techos, etc; con las cuales se establecen las dimensiones y ubicación del horno artesanal.	Dimensiones del horno actual.	De Razón
				Sistema de combustión actual.	
				Propuestas de modificación.	
				Análisis de costos unitarios.	

Fuente: Elaborado por el autor

3.3. Muestra y Población

Población: Conformado por los hornos artesanales para la producción de ladrillos en el departamento La Libertad.

Muestra: Horno artesanal para fabricación de ladrillos, en una ladrillera de la ciudad de San Pedro de Lloc.

Muestreo: El muestreo es intencionado, por elección del investigador.

3.4. Instrumentos y técnicas para la recolección de datos

Tabla 8: Instrumentos y técnicas de la investigación

Técnica	Instrumento
Análisis documental	Fichas de Registro
Entrevista	Cuestionario
Observación	Ficha de Observación

Fuente: Elaborado por el autor

3.5. Procedimiento

Para el desarrollo del presente proyecto, en primer lugar, se solicitó el debido permiso al dueño del horno artesanal, para así, nos pueda brindar información a través de una entrevista a su persona, la cual es necesaria para conocer sobre las condiciones en las que opera la ladrillera actualmente.

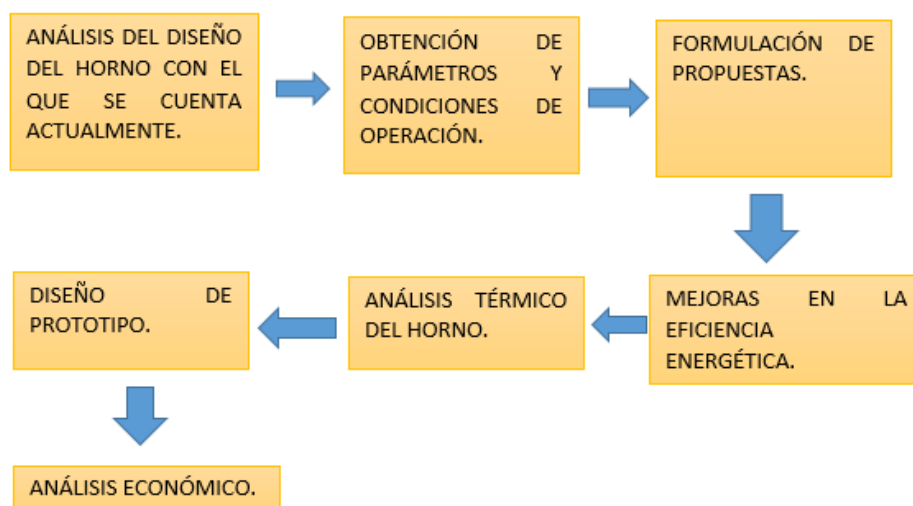
Posteriormente, con la ayuda de una ficha de observación y la entrevista personal realizada al operador del horno artesanal se determinó las características y condiciones de operación actuales del horno, conociendo estos datos y en relación a balances energéticos se calculó la cantidad de calor necesario para lograr la cocción de ladrillos al mismo tiempo se calculó las pérdidas generadas en dicho horno, para así poder hallar la eficiencia actual del horno artesanal.

Luego de ello se brindó propuestas de mejora más eficientes en el diseño del horno artesanal, buscando así, mejorar los flujos de calor, distribución de temperatura y flujos máxicos de aire y gases de combustión los cuales hacen posible coccionar a la mayor parte de los ladrillos, teniendo así menos merma de ladrillos.

Teniendo como base el diseño conceptual se seleccionó la mejor propuesta de mejora para aumentar la eficiencia del horno.

Con los datos obtenidos y seleccionada la mejor propuesta de mejora, se procedió a realizar la simulación con ayuda del software SOLIDWORKS donde se pudo observar la distribución de temperaturas y calor alrededor de los ladrillos, lo que a su vez permitió observar las trayectorias de los gases de aire y de combustión y verificar los flujos de calor adecuados, también se modificó la configuración Geométrica del horno con la que se obtuvo una mejoría en la distribución del calor, con estos datos se validó que la propuesta de mejora seleccionada aumenta la eficiencia energética del horno artesanal, finalmente con la propuesta brindada se evaluó si es factible económicamente dicha solución

Diagrama de flujo



3.6. Método de Análisis de datos

Los datos obtenidos mediante los instrumentos de recolección serán procesados mediante gráficos y tablas y estadística descriptiva, debidamente interpretados, para el análisis del rediseño del horno se realizaron los cálculos necesarios, a la vez, haciendo uso del Software SolidWorks se simuló la distribución de calor sobre los ladrillos en el interior del horno artesanal.

3.7. Aspectos éticos

El autor del presente proyecto de investigación accede a trabajar con ética, utilizando datos legítimos para el desarrollo del mismo, citando siempre a las fuentes originales y utilizando la información de manera confidencial y respetuosa.

VI. RESULTADOS

1. Evaluar la configuración y producción del horno con el que se cuenta actualmente para definir sus características y condiciones de operación.

PARÁMETROS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN

Tabla 9: Características técnicas actuales del horno

TIPO DE HORNO	RECTANGULAR
Capacidad del horno	35000 ladrillos
Material de horno	Adobe (barro)
Cantidad de filas de ladrillos	25
Cantidad de ladrillos por fila	1200 (22 x 60)

Fuente: Ficha de Observación

Tabla 10: Características de operación actuales del horno

Temperatura de quema	900°C – 1000°C
Tiempo de quema	24 horas
Tiempo de cocción	7 días
Tiempo de enfriamiento	14 días
Cantidad de briquetas de carbón	5.5 Toneladas

FUENTE: ENTREVISTA PERSONAL

Tabla 11: Dimensiones del horno, ladrillo y briquetas de carbón

	ANCHO	LARGO	ALTURA
HORNO	Ext: 7.80 m <u>Int: 6.60 m</u>	Ext: 5.70 m <u>Int: 4.50 m</u>	3.60 m
LADRILLO	13,5 cm	22,5 cm	8,5 cm
BRIQUETA	11 cm		11 cm

Fuente: Elaboración propia.

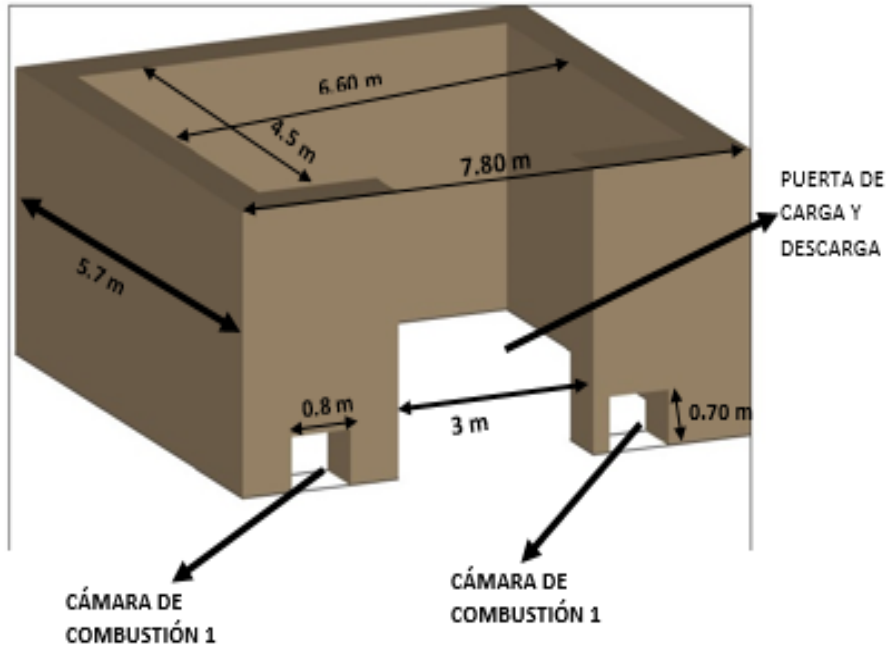


Figura 5: Modelado 3D del actual horno artesanal.

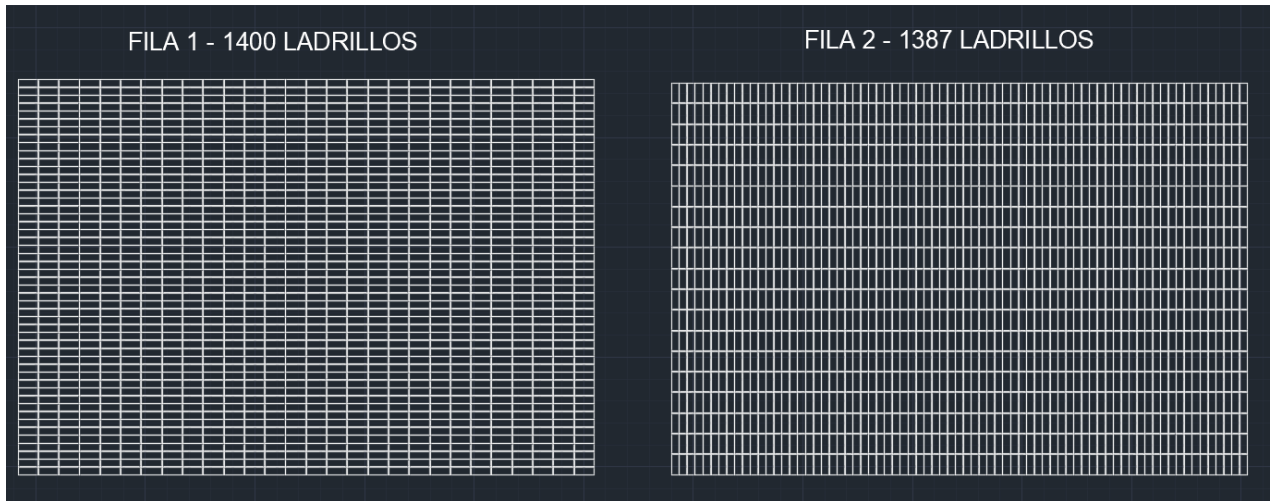


Figura 6: Distribución actual de los ladrillos dentro del horno.

2. Determinar la eficiencia energética actual del horno con el que se cuenta.

La eficiencia del horno esta dada por la siguiente expresión:

(Incropera & De Witt, 2006)

$$\epsilon = \frac{Q_{COCCIÓN}}{Q_{suministrado}} \dots\dots(2.1)$$

Donde:

$Q_{COCCIÓN}$: Calor necesario para lograr a cocción del ladrillo.

$$Q_{suministrado} = Q_{Tperdidas} + Q_{entrada} \dots(2.2)$$

$$Q_{ent} = PC_c * mc \dots\dots\dots (2.3)$$

2.1. Hallando $Q_{cocción}$:

$$\rightarrow Q_{COCCIÓN} = m_L * Cp_L(T_{máx} - T_{inicial}) \dots\dots\dots(2.1.1)$$

Donde:

m_L : Masa del ladrillo (Se estima 2,1 Kg) = 2.1 * 35000 = 73500 Kg = 73.5 * 10⁵ g

Cp_L : Calor específico de la arcilla. (0.37 $\frac{Cal}{g^{\circ}C}$)..

(Fuente. Tablas Cengel 4ta ed).

$$T_{máx} = 1000 \text{ }^{\circ}C; T_{inicial} = 20^{\circ}C$$

$$\rightarrow Q_{COCCIÓN} = (73.5 * 10^5)(g) * (0.37 \frac{Cal}{g^{\circ}C}) (1000 - 20)(^{\circ}C)$$

$$Q_{COCCIÓN} = 2.67 * 10^7 \text{ Kcal}$$

Como la cocción se da en 7 días, correspondiente a 168 horas:

$$Q_{COCCIÓN} = \frac{2.67 * 10^7 \text{ Kcal}}{168 \text{ h}} = 1,58 * 10^5 \text{ Kcal/h}$$

Hallando $Q_{Tperdidas}$:

Las pérdidas de calor dadas en las paredes del horno es uno de los factores más importantes a considerar respecto a las pérdidas, en el caso del presente horno contamos con paredes de espesor 0,60 m.

$$Q_{\text{pérdidas}} = q_{PC} + q_{Pr} \quad \dots(2.2.1)$$

$$q_{PC} = \frac{Th - Tamb}{\frac{1}{hi} + \frac{x}{k} + \frac{1}{he}} (At) \dots(2.2.2) \quad ;$$

$$q_{Pr} = \varphi \varepsilon At (T_{we}^4 - T_{amb}^4) \quad \dots(2.2.3)$$

Th: Temperatura de quema de horno. (1000°C)

Tamb: Temperatura ambiente. (20°C)

At: Área total del horno.

hi: Coeficiente de convección de la pared en el interior del horno.

he: Coeficiente de convección de la pared en el exterior del horno.

K: Conductividad térmica del material.

φ : Constante de Stefann – Boltzmann (4.92×10^{-8}) – Tablas Cengel 4ta –Edic.

ε : Emisividad del ladrillo 0.75 – Tablas Cengel 4ta –Edic.

T_{we} : Temperatura exterior de la pared.

Las correlaciones empíricas para flujos de calor por convección libre son de forma:
(Incropera & De Witt, 2006)

$$hi = \frac{Nu(i)*K}{L} \quad \dots(2.2.4) \quad y \quad he = \frac{Nu(e)*K}{L} \quad \dots(2.2.5)$$

donde:

Nu: Número de Nusselt; K: Conductividad térmica W/m°K; L: Longitud de la pared (3.60 m)

$$Nu = 0.021 (Ra)^{2/5} \quad \dots(2.2.6)$$

Donde: Ra: Número de Raleigh.

$$Ra = Gr * Pr \quad \dots(2.2.7)$$

La convección se torna natural para eso tomamos las siguientes ecuaciones considerando la pared del horno una placa vertical para el numero de Grashof

Donde: Gr: Número de Grasshoff; Pr: Número de Prandtl

$$Gr = \frac{\beta g \rho^2}{\mu^2} L^3 \Delta T \quad \dots\dots(2.2.8)v$$

Gr = Número de Grasshoff

β = Coeficiente de dilatación, °K

g = Aceleración de la gravedad, 9,81 m/s².

ρ = Densidad, Kg/m³

μ = Viscosidad dinámica, Kg/ms

L = Longitud de la pared. (3.60 m)

ΔT = Diferencia de temperaturas.

$$\rightarrow \beta = \frac{1}{T_{pi-e}} \quad \dots\dots(2.2.9)$$

Donde, T_{pi-e} : Temperatura de la película en el interior-exterior de la pared:

$$T_{pi} = \frac{T_h + T_{wi}}{2} \quad \dots\dots(2.2.10)$$

$$T_{pe} = \frac{T_{amb} + T_{we}}{2} \quad \dots\dots(2.2.11)$$

$$T_{wi} = T_h - \Delta T \quad \dots\dots(2.2.12) \quad \& \quad T_{we} = T_{amb} + \Delta T \quad \dots\dots(2.2.13)$$

Donde: ΔT : Diferencia de temperaturas:

$$\rightarrow \Delta T = \frac{\frac{1}{h_i}}{\frac{1}{h_i} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_e}} (T_h - T_{amb}) \quad \dots\dots(2.2.14)$$

K = Conductividad Térmica

X = Espesor de la pared (0.60 m)

Para hallar los coeficientes de convección tanto interiores como exteriores se utilizaron tablas (Cengel 4ta edic.)

Material	k (W/m °C)
Ladrillo común	0,39-0,67 [10]
Concreto aligerado	0,11-0,25 [11]
Morteros de cemento	0,88-0,94 [11]
Ladrillos para exteriores	0,77 [12]
Ladrillos para interiores	0,56 [12]
Bloques de arcilla	0,391 [13]
Ladrillo macizo	0,7141 [14]

$$h_i = 0.56 \text{ W/m}^\circ\text{C} \approx 0.48 \text{ Kcal/hm}^\circ\text{C}$$

$$h_e = 0.77 \text{ W/m}^\circ\text{C} \approx 0.66 \text{ Kcal/hm}^\circ\text{C}$$

MATERIAL	Conductividad térmica
Adobe (densidad: 750 kg/m ³)	0.25 W/m°C
Bloque de tierra compactada típico	0.34 W/m°C
Ladrillo	0.85 W/m°C
Hormigón en masa	1.50 W/m°C

$$K = 0.25 \text{ w/m}^\circ\text{C} \approx 0.21 \text{ Kcal/hm}^\circ\text{C}$$

→ Hallando diferencia de temperaturas:

Reemplazamos datos en la Ec 2.2.14:

$$\Delta T = \frac{\frac{1}{10}}{\frac{1}{10} + \frac{0.60}{0.25} + \frac{1}{5}} (1000 - 20)$$

$$\Delta T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

→ Hallando temperatura en la parte interna y externa de la pared del horno.

Reemplazamos datos en la Ec. 2.2.12 y 2.2.13:

$$T_{wi} = 1000 - 30 = 969 \text{ }^\circ\text{C} \quad T_{we} = 20 + 30 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

→ Hallando temperatura de la película en el interior y exterior de la pared.

Reemplazamos datos en la Ec. 2.2.10 y 2.2.11:

$$T_{pi} = \frac{1000 + 969}{2} = 984,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{pe} = \frac{20 + 50}{2} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

→ Hallando coeficiente de dilatación (interno y externo).

Reemplazamos datos en la Ec. 2.2.9:

$$\beta_i = \frac{1}{984,5 + 273} = 7.95 (10^{-4}) \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\beta_e = \frac{1}{35 + 273} = 3.25 (10^{-3}) \text{ }^\circ\text{K}$$

→ Hallando Número de Grasshoff (para el interior y exterior del horno).

Reemplazamos datos en Ec. 2.2.8:

$$Gr = \frac{\beta g \rho^2}{\mu^2} L^3 \Delta T$$

➤ Hallamos características del aire a $T_{pi} = 984,5 \text{ °C}$ (Interior del horno)

T	ρ	C_p	k	μ
900	0.3008	1169	0.07465	4.600×10^{-5}
984.5	ρ_{aire}	$C_{p_{aire}}$	k_{aire}	μ_{aire}
1000	0.2772	1184	0.07868	4.826×10^{-5}

→ Interpolación:

$$\frac{984.5 - 900}{1000 - 900} = \frac{\rho_{aire} - 0.3008}{0.2772 - 0.3008}$$

$$\rho_{aire} = 0.280858 \text{ Kg/m}^3$$

$$C_{p_{aire}} = 1181,675 \frac{J}{Kg^{\circ}K}$$

$$K_{aire} = 0.0780352 \frac{W}{m^{\circ}K}$$

$$\mu_{aire} = 4.78984 (10^{-5}) \frac{Kg}{ms}$$

➤ Hallamos características del aire a $T_{pe} = 35^{\circ}C$ (Exterior del horno)

Por tablas:

T	ρ	C_p	k	μ
30	1.164	1007	0.02588	1.872×10^{-5}
35	1.145	1007	0.02625	1.895×10^{-5}

→ Reemplazamos datos:

$$Gri = \frac{(7.95 \cdot 10^{-4})(9.81)(0.280858)^2}{4.78984 (10^{-5})^2} (3.60)^3 ((1000+273)+(20+273))$$

$$Gri = 1.23 \cdot 10^{10}$$

$$Gre = \frac{(3.25 \cdot 10^{-3})(9.81)(1.145)^2}{1.895 (10^{-5})^2} (3.60)^3 ((35+273)+(20+273))$$

$$Gre = 6.18 \cdot 10^{10}$$

→ Hallando número de Prandtl:

$$Pr = \frac{Cp * \mu}{K}$$

Reemplazamos con datos de Tpi y Tpe:

$$Pri = \frac{1181,675 * 4.78984 (10^{-5})}{0.0780352} = \mathbf{0.725}$$

$$Pre = \frac{1007 * 1,895 (10^{-5})}{0.02625} = \mathbf{0.727}$$

→ Hallando número de Raleigh:

Reemplazamos datos en la Ec. 2.2.7 (Para el interior y exterior del horno).

$$Rai = (1.23 * 10^{10})(0.725) = \mathbf{8.9 * 10^9}$$

$$Rae = (6.18 * 10^{10})(0.727) = \mathbf{4.49 * 10^{10}}$$

→ Hallando número de Nusselt :

Reemplazamos datos en la Ec. 2.2.6 (Para el interior y exterior del horno).

$$Nui = 0.021 (8.9 * 10^9)^{2/5} = \mathbf{200,44}$$

$$Nue = 0.021 (4.49 * 10^{10})^{2/5} = \mathbf{382,93}$$

→ Hallando coeficiente de convección interno y externo del horno:

Reemplazamos datos en las Ec. 2.2.4 y 2.2.5

$$hi = \frac{200,44 * 0.0780352}{3.6} = 4,345 \text{ W/m}^2\text{K} * 0.86 \approx 3.7367 \text{ Kcal/hm}^2\text{C}$$

$$he = \frac{382,93 * 0.02625}{3.6} = 2,792 \text{ W/m}^2\text{K} * 0.86 \approx 2.401 \text{ Kcal/hm}^2\text{C}$$

→ Hallando pérdidas por radiación:

Reemplazamos datos en la Ec. 2.2.3

$$q_{Pr} = \varphi \varepsilon A t (T_{we}^4 - T_{amb}^4)$$

	ANCHO	LARGO	ALTURA
HORNO	Ext: 7.80 m Int: 6.60 m	Ext: 5.70 m Int: 4.50 m	3.60 m
LADRILLO	13,5 cm	22,5 cm	8,5 cm
BRIQUETA	11 cm		11 cm

a = Largo

b = Altura

c = Ancho

$$At = 2ab + 2bc + 2ac$$

$$At = 2(4.5 \cdot 3.6) + 2(3.6 \cdot 6.6) + 2(4.5 \cdot 6.6)$$

$$At = 139.32 \text{ m}^3$$

Reemplazando:

$$\checkmark q_{Pr} = (4.92 \times 10^{-8})(0.75)(139.32)((50 + 273)^4 - (20 + 273)^4)$$

$$q_{Pr} = 18067.67 \text{ Kcal/h}$$

→ Hallando pérdidas por convección:

Reemplazamos datos en la Ec. 2.2.2

$$q_{Pc} = \frac{1000 - 20}{\frac{1}{3.7367} + \frac{0.60}{0.21} + \frac{1}{2.401}} (139.32)$$

$$q_{Pc} = 38555.18 \text{ Kcal/h}$$

→ Hallando calor total perdido:

Reemplazamos datos en la Ec. 2.2.1

$$Q_{\text{pérdidas}} = 18067.67 + 38555.18$$

$$Q_{\text{pérdidas}} = 56622.85 \text{ Kcal/h}$$

→ Hallando calor de entrada:

Reemplazamos datos en la Ec. 2.3:

Cáscara de arroz	13 300
Algarrobo	15 500
Eucalipto	18 000
Carbón bituminoso	17 000
Carbón antracítico	26 000

$$Q_{ent} = 26000 \text{ Kj/Kg} * 5500 \text{ Kg}$$

$Q_{ent} = 143 * 10^6 \text{ Kj}$; como quema se da en 168 horas:

$$\mathbf{Q_{ent} = 851190 \text{ Kj/h (0.239) } \approx \mathbf{203434.41 \text{ Kcal/h}}$$

→ Hallando calor suministrado:

Reemplazamos datos en la Ec. 2.2:

$$Q_{suministrado} = 56622.85 + 203434.41 \text{ (Kcal/h)}$$

$$Q_{suministrado} = \mathbf{260057.26 \text{ Kcal/h}}$$

→ Hallando la eficiencia actual del horno:

Reemplazamos datos en la Ec. 2.1:

$$\epsilon = \frac{1,58 * 10^5}{260057.26} = \mathbf{0,61}$$

3. Elaborar propuestas de la nueva configuración del horno artesanal.

Para poder determinar las propuestas de solución, primeramente, se elabora la lista de exigencias:

LISTA DE EXIGENCIAS		
PROYECTO: Análisis y rediseño para mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal para la quema de ladrillos en el distrito de San Pedro de Lloc, Provincia de Pacasmayo – La Libertad.		
ITEM	DESEO O EXIGENCIA	DESCRIPCIÓN
1	E	FUNCIÓN PRINCIPAL: Aumentar la eficiencia energética del horno artesanal.
2	E	GEOMETRÍAS: Adaptable al horno artesanal con el que se cuenta.
3	E	MATERIAL: Fácil de hallar en la industria y seguras, así mismo con propiedades de transferencia de calor óptimas.
4	E	FLUJO DE CALOR: Mantener el flujo de calor dentro de la cámara de cocción por el mayor tiempo posible.
5	E	MONTAJE: Rápida instalación y de fácil comprensión para los operarios.
6	D	FABRICACIÓN: De ser necesario, los procesos de manufactura se realizarán en un taller.
7	E	SEGURIDAD: El diseño no pondrá en peligro, bajo ninguna circunstancia a los trabajadores que laboran en el horno artesanal.
8	D	ERGONOMÍA: De acuerdo al modelo, color, etc.
9	E	MANTENIMIENTO: Factible y sin complicaciones para los operarios.
10	D	DURABILIDAD: Selección de materiales para lograr un óptimo tiempo de vida del diseño.
11	E	IMPACTO AMBIENTAL: Disminuir la emisión de gases al medio ambiente.
12	D	COSTO: Precio accesible.

Teniendo en cuenta la lista de exigencias, elaboramos las propuestas de solución preliminares.

PROPUESTA PRELIMINAR 01:

Diseñar un techo al horno con 2 chimeneas, para permitir la salida del aire caliente y gases de combustión, a la vez seleccionar un ventilador para mejorar la combustión en el hogar.

Al ser un horno cerrado aprovechamos por mayor tiempo el flujo másico de aire caliente y gases de combustión, lo que reduciría el tiempo de cocción y por ende menos cantidad de combustible.

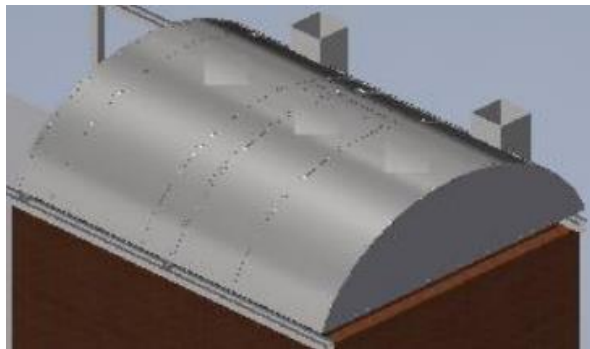


Figura 7: Propuesta Preliminar 1

PROPUESTA PRELIMINAR 02:

Colocar una capa de ladrillos refractarios pegado a las paredes del horno, dichos ladrillos soportan temperaturas extremadamente altas y sus propiedades de transferencia disminuirían las pérdidas de calor que mayormente se dan en dichas paredes y aumentarían su tiempo de vida del horno.



Figura 8: Propuesta Preliminar 2

PROPUESTA PRELIMINAR 03

Mejorar la cámara de combustión colocando ductos por donde se traslade el aire caliente y los gases de combustión hacia el interior del horno.

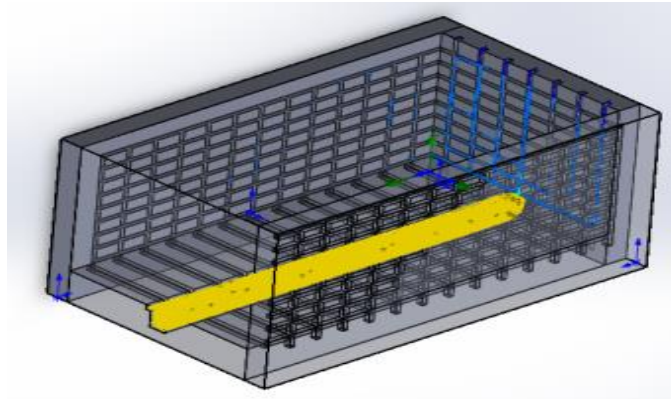


Figura 9: Propuesta Preliminar 3

4. Analizar y seleccionar mediante el uso del diseño conceptual la mejor propuesta de mejora para el horno artesanal.

Se presenta la evaluación de las propuestas preliminares, usando matriz de selección en dos tablas, una evaluando únicamente los criterios de selección y otra con los promedios ponderados.

Para ello se tomará en cuenta las siguientes consideraciones:

1 = No satisface; 2 = Casi aceptable; 3 = Aceptable; 4 = Bueno; 5 = Ideal

TABLA 12: MATRIZ DE SELECCIÓN

		CRITERIOS DE EVALUACIÓN								TOTAL
		COSTO	MONTAJE	MANTENIMIENTO	CONFIABILIDAD	ERGONOMÍA	DURABILIDAD	FLUJO DE CALOR	IMPACTO AMBIENTAL	
P R O P U E S T A S	DISEÑO DE TECHO CON CHIMENEAS Y VENTILADOR EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN	3	3	4	5	5	4	5	4	33
	PARED DE LADRILLOS REFRACTORIOS, ADOSADOS A LA PARED EXISTENTE DEL HORNO	1	4	3	5	4	4	1	2	24
	REDISEÑO DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN, CON DUCTOS QUE TRASLADAN EL AIRE CALIENTE	1	3	3	5	5	4	3	2	26

Fuente: Elaborado por el autor.

Para la Matriz EVALUACIÓN DE CALIFICACIÓN PONDERADA se tomará en cuenta las siguientes consideraciones:

TABLA 13: EVALUACIÓN DE CALIFICACIÓN PONDERADA

		ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN					
		PROPUESTA PRELIMINAR 01		PROPUESTA PRELIMINAR 02		PROPUESTA PRELIMINAR 03	
CRITERIO	IMPORTANCIA (PONDERADO)%	CLASIFICACIÓN	PONDERADO	CLASIFICACIÓN	PONDERADO	CLASIFICACIÓN	PONDERADO
COSTO	0.2	3	0.6	1	0.2	1	0.2
MONTAJE	0.15	3	0.45	4	0.6	3	0.45
MANTENIMIENTO	0.1	4	0.4	3	0.3	3	0.3
DURABILIDAD	0.1	4	0.4	4	0.4	4	0.4
FLUJO DE CALOR	0.3	5	1.5	1	0.3	3	0.9
IMPACTO AMBIENTAL	0.15	4	0.6	2	0.3	2	0.3
TOTAL	1	23	3.95	15	2.1	16	2.55

Fuente: Elaborado por el autor.

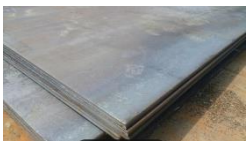

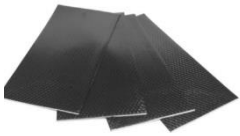
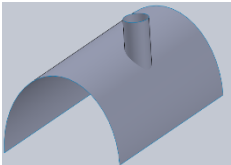
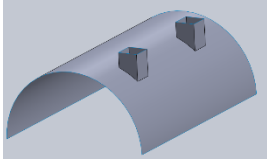
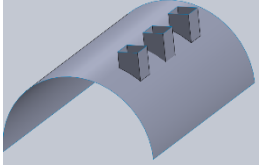
Teniendo en cuenta el análisis de la matriz de selección y la evaluación de calificación ponderada se selecciona la propuesta de solución con mayor puntaje - **PROPUESTA PRELIMINAR 01: DISEÑO DE TECHO CON CHIMENEAS Y VENTILADOR EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN.**

Se procede al análisis de dicha propuesta mediante la Matriz Morfológica.

4.4. Matriz Morfológica

La matriz morfológica sirve para presentar distintas opciones de diseño de acuerdo a las funciones del proyecto, para luego seleccionar un diseño conceptual final, teniendo en cuenta los objetivos de dicho proyecto.

TABLA 14: MATRIZ MORFOLÓGICA

	ALTERNATIVAS		
MEDIOS	1	2	3
MATERIAL	<p>ACERO</p> 	<p>ALUMINIO</p> 	<p>FIBRA DE CARBONO</p> 
N° DE CHIMENEAS	<p>1</p> 	<p>2</p> 	<p>3</p> 

Fuente: Elaborado por el autor.

Se realiza el cuadro comparativo para cada uno de los medios considerados en la matriz morfológica:

TABLA 15: COMPARATIVO DE MATRIZ MORFOLÓGICA

MATERIAL	ACERO	ALUMINIO	FIBRA DE CARBONO
PRECIO	S./ 60 - S./ 100	S./40 - S./ 80	S./ 80 - S./ 120
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	45 W/°Km	250 W/°Km	100 W/°Km
RESISTENCIA A LA CORROSION	BUENA	EXCELENTE	EXCELENTE
N° DE CHIMENEAS	1	2	3
FLUJO DE CALOR	INSUFICIENTE	BUENO	EXCESIVO

Fuente: Elaborado por el autor.

5. Simular y evaluar con ayuda del Software SolidWorks, la propuesta de la nueva configuración del horno artesanal.

- Teniendo en cuenta la Matriz Morfológica y la lista de exigencias se determina usar para el diseño de la propuesta seleccionada:

Diseño de techo en forma de cúpula.

Material: ACERO ASMT A 36 (Comercial)

N° de chimeneas: 2 Chimeneas (Diseño a criterio)

- Se considera para aislar el calor en el acero, una pared de manta de fibra de cerámica adosada en el techo.

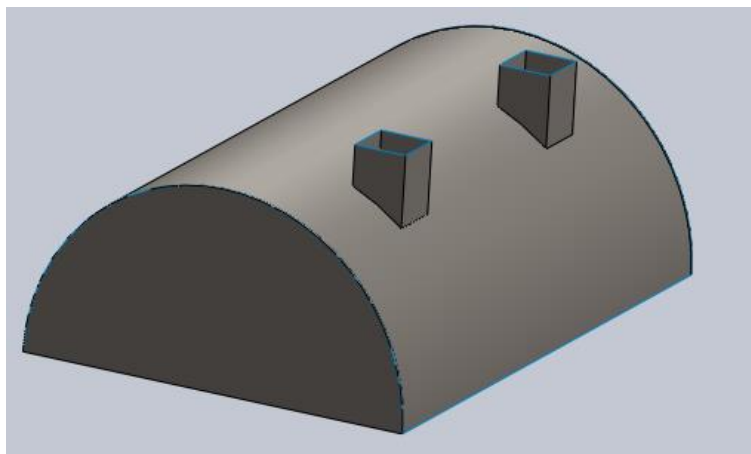


Figura 10: Diseño de techo para el horno artesanal.

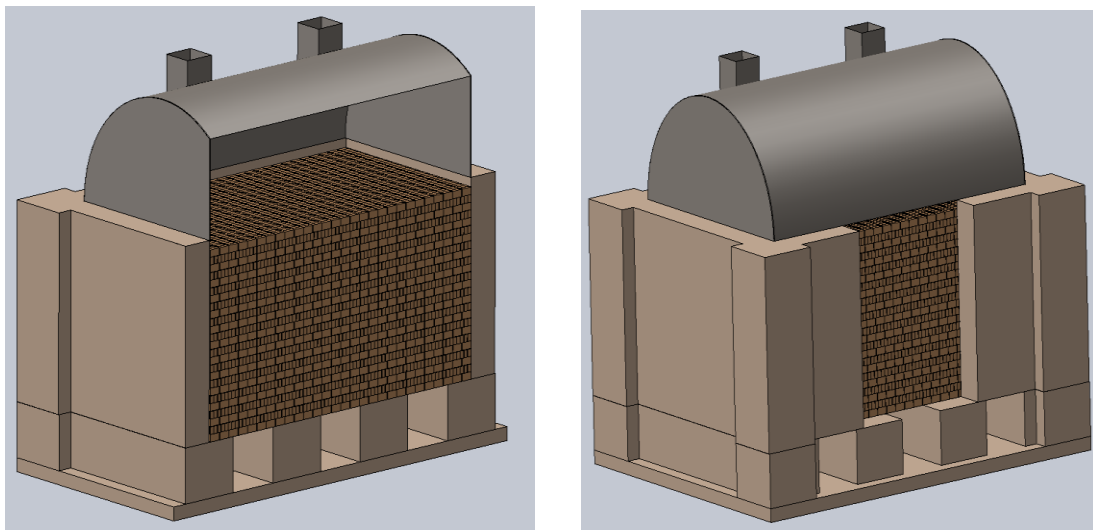


Figura 11: Montaje de techo en el horno artesanal.

Para el análisis y simulación de la mejora del horno artesanal en el Software SolidWorks, se requiere del flujo másico de aire:

$$\dot{m}_{aire} = \dot{m}_{comb} * AC = \dot{m}_{comb} * ACT * (1 + e) \dots \text{Ec. 5.1}$$

Donde:

\dot{m}_{aire} = Flujo másico de aire

\dot{m}_{comb} = Flujo másico de combustible (Carbón)

AC = Relación Aire Combustible

ACT = Relación Aire Combustible Teórico

e = Exceso de aire (entre 25% y 30%)

➤ Hallando Flujo másico de combustible:

$$\dot{m}_{comb} = \frac{m_{comb}}{t} \dots \text{Ec. 5.2}$$

Donde: m_{comb} = 5.5 Ton; t = 168 h (7días)

Reemplazando en Ec. 5.2:

$$\dot{m}_{comb} = \frac{5500 \text{ Kg}}{168 \text{ h}} = 32,7 \text{ Kg/h} \approx 9.09 * 10^{-3} \text{ Kg/s}$$

➤ Hallando Relación Aire Combustible Teórico

La relación ACT se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$ACT = 11.53 * C + 34.5 * (H - \frac{O}{8}) + 4.3 * S \dots \text{Ec. 5.3}$$

Donde: C = 0.7; O = 0.06; H = 0.04; S = 0.03

Reemplazando datos en la Ec. 5.3:

$$ACT = 11.53 * 0.7 + 34.5 * (0.04 - \frac{0.06}{8}) + 4.3 * 0.03$$

$$ACT = 9.32$$

Reemplazamos datos en la Ec. 5.1:

$$\dot{m}_{aire} = 9.09 * 10^{-3} * 9.32 * (1 + 0.3)$$

$$\dot{m}_{aire} = 0.1199 \text{ Kg/s} \approx 431,81 \text{ Kg/h}$$

Con los datos obtenidos se realiza la simulación en software Solidworks.

➤ Primeramente evaluamos el horno artesanal actual.

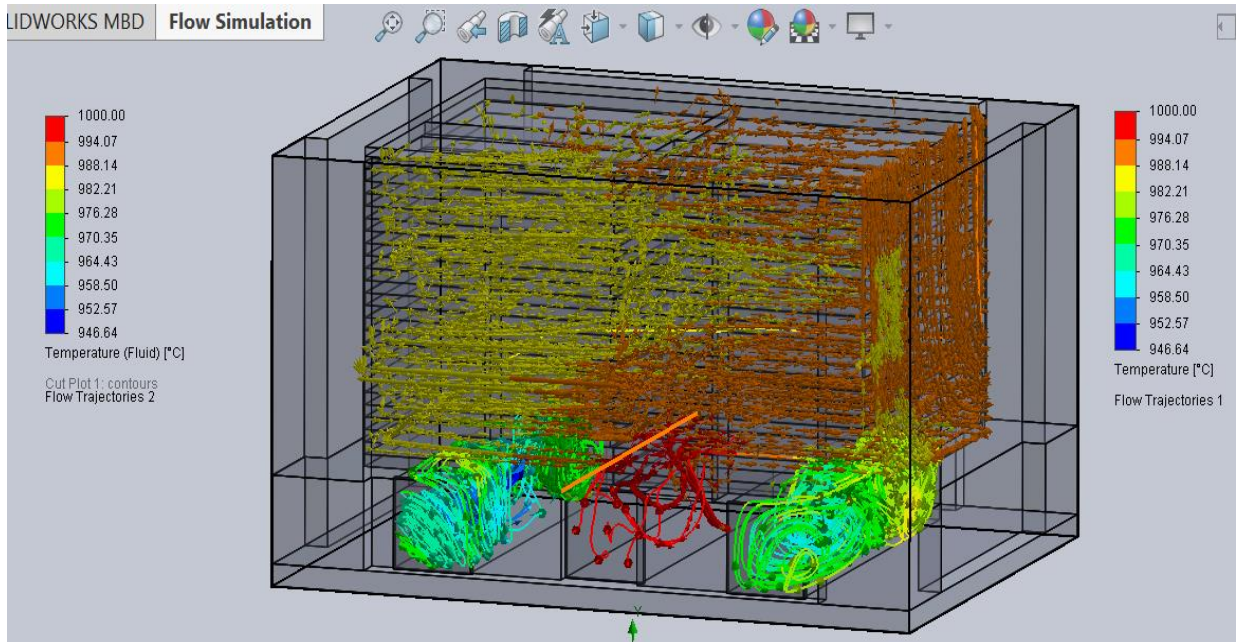


Figura 12: Distribución de temperaturas dentro del horno actual.

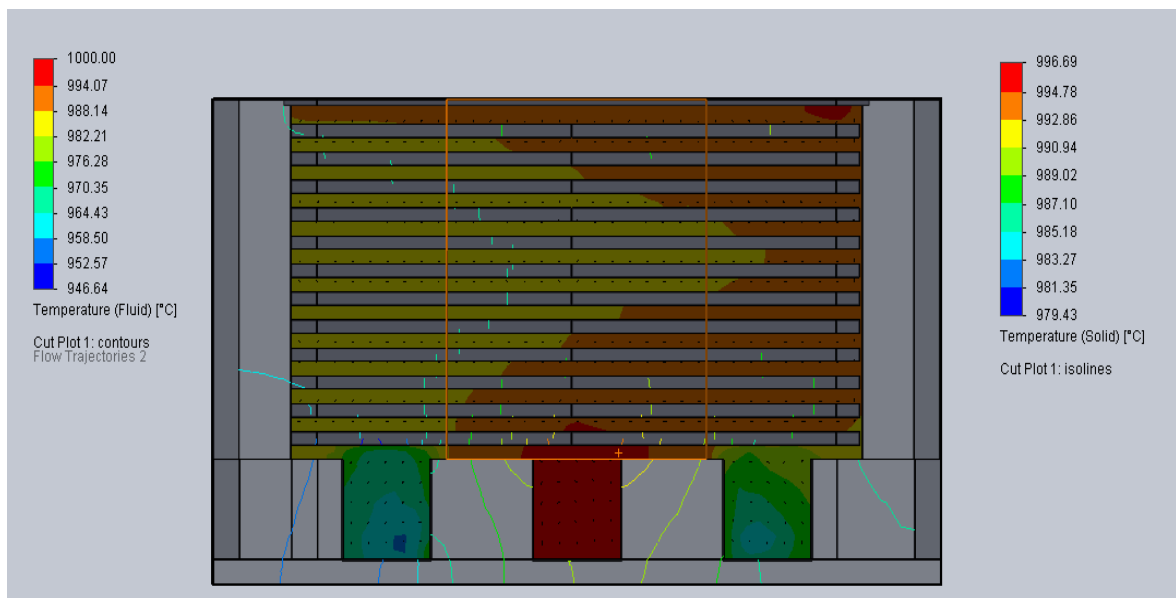


Figura 13: Distribución de temperaturas en los solidos(ladrillos) dentro del horno actual.

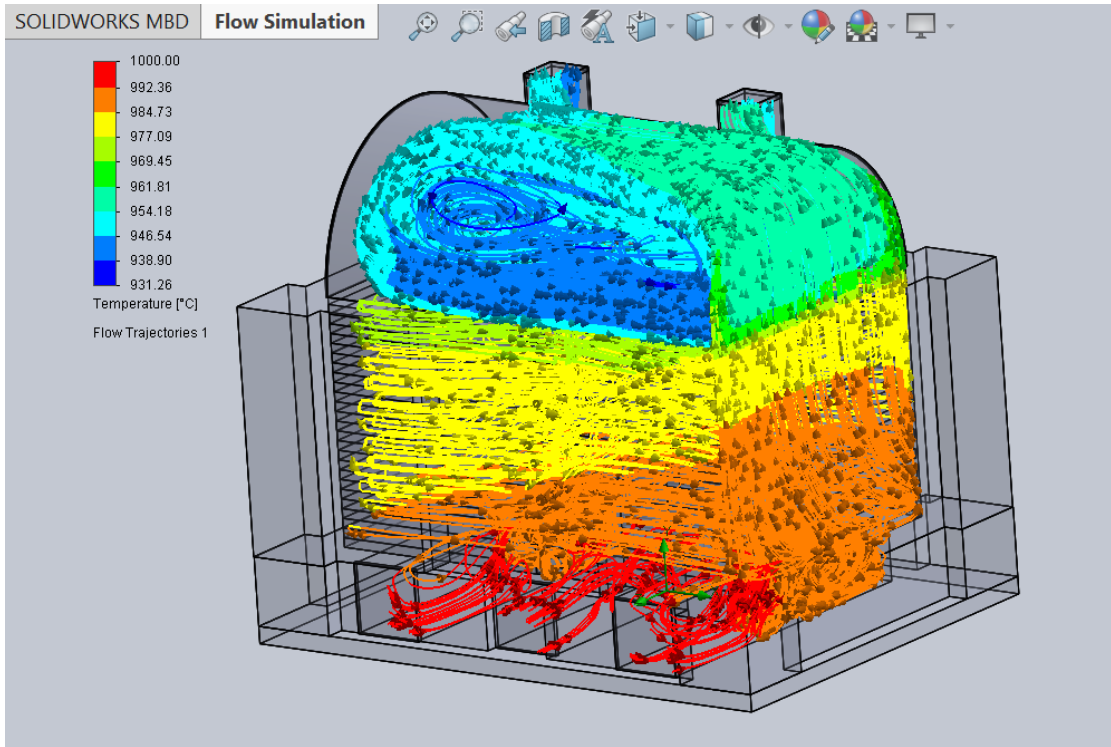


Figura 14: Distribución de temperaturas dentro del horno mejorado.

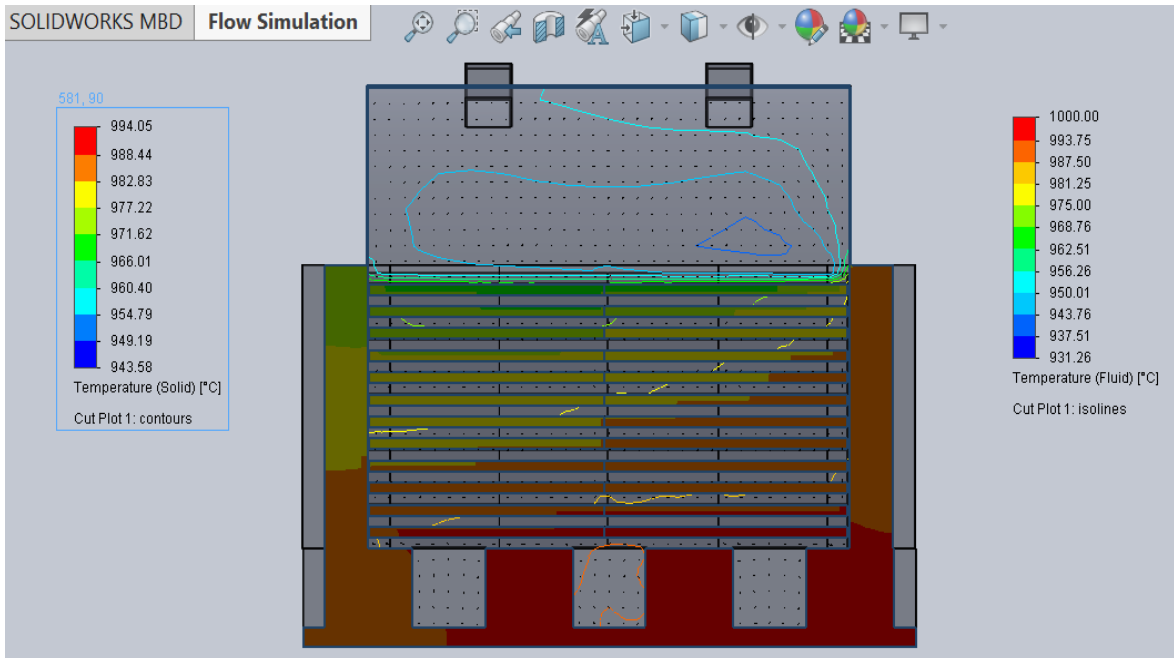


Figura 15: Distribución de temperaturas en los solidos(ladrillos) dentro del horno mejorado.

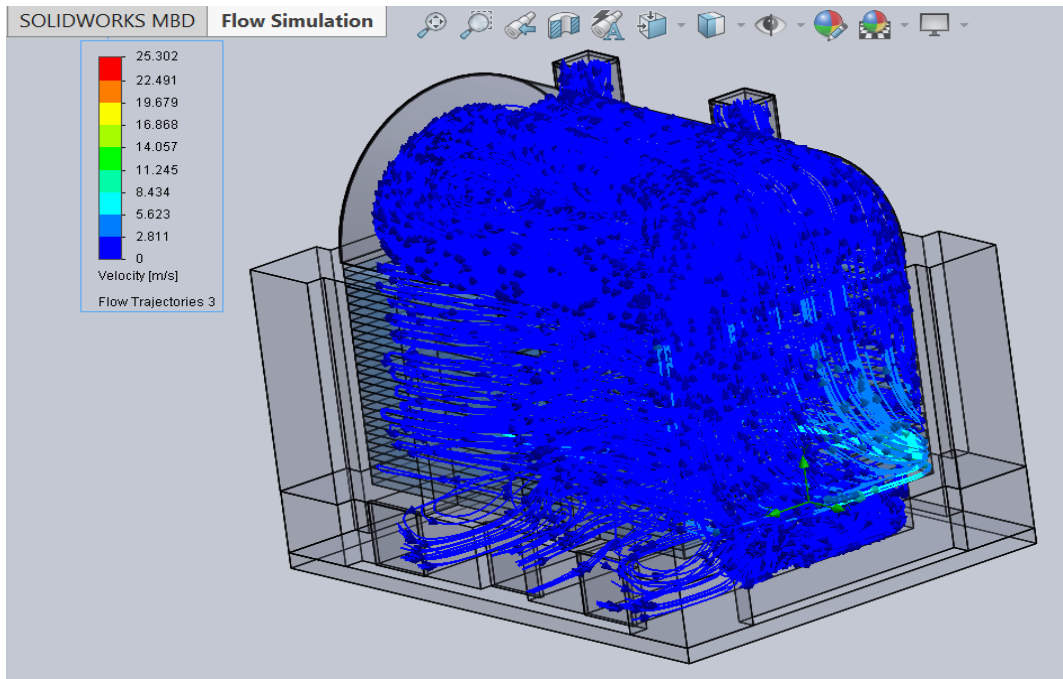


Figura 16: Distribución de velocidades en el interior del horno mejorado.

Por medio del diseño y la simulación del horno actual y horno mejorado (Techo en forma de cúpula), y teniendo como base el flujo másico de aire de 0,1199 kg/s y la temperatura de ingreso de gases igual a 1000 °C (Ver ANEXO 10) se observa una mejor distribución de temperaturas en el interior del horno mejorado, a la vez se logra almacenar por mucho más tiempo los gases calientes en el interior del horno, ya que como muestra la Fig. 12 en el horno actual los gases salen al medio a temperaturas mas elevadas que las que se muestran en el diseño del horno mejorado Fig. 14; homogenizando puntos de temperatura dentro del horno con una variación de temperaturas de $T_{max}=994.05\text{ C}^{\circ}$ y $T_{min}=943.58$ en los sólidos dentro del horno y $T_{max}=1000\text{ C}^{\circ}$ y $T_{min}=931.26$ en el fluido que circula en el interior de dicho horno.

Con esta variación de temperaturas se puede garantizar que el producto final sea de mejor calidad, independientemente de la configuración de los ladrillos en el interior del horno estos se queman de manera homogénea, evitando así pérdidas por productos defectuosos.

Para el diseño se considera un aislante térmico de fibra de cerámica la cual será colocada en el interior del Techo, esto con el objetivo de alargar su tiempo de vida

de dicho techo, ya que tiene que soportar la radiación provocada por el calor originado en el horno. (Ver ANEXO 12)

También se considerará la implementación para el sistema de ventilación de un ventilador Centrífugo el cual será seleccionado de acuerdo al requerimiento de flujo de aire requerido para la combustión y su potencia calorífica. (Ver ANEXO 11)

Ventilador modelo CMA-324-2T



Figura 17: Ventilador modelo CMA-324-2T

Teniendo en cuenta el diseño del horno artesanal mejorado, y el ventilador a implementar, se estima que dicho horno realizará la misma producción de ladrillos (35000) en un tiempo de 10 días (4 días de quema, 6 de enfriamiento), utilizando 2,4 toneladas de carbón; con 24 quemas por año; Hallamos la nueva eficiencia estimada:

$$\epsilon = \frac{Q_{COCCIÓN}}{Q_{suministrado}} \quad \dots(2.1)$$

$$Q_{COCCIÓN} = 1,58 * 10^5 \text{ Kcal/h} \quad \& \quad Q_{suministrado} = Q_{Tperdidas} + Q_{entrada} \dots(2.2)$$

→ $Q_{ent} = 26000 \text{ Kj/Kg} * 2400 \text{ Kg}$; $Q_{ent} = 62,4 * 10^6 \text{ Kj}$; como quema se da en 96 horas: **$Q_{ent} = 650000 \text{ Kj/h}$** (0.239) \approx **155350 Kcal/h**

$$\rightarrow \epsilon = \frac{1,58 * 10^5 \text{ Kcal/h}}{56622.85 + 155350}$$

$$\rightarrow \epsilon = \mathbf{74\%}$$

6. Evaluar económicamente la propuesta de mejora del horno artesanal.

TABLA 16: COSTO REFERENCIAL DE MATERIALES

ITEMS	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	PRECIO UNIT. S/.	PRECIO TOTAL S/.
1	TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO (6m) 100*100*3 mm	6	225	1350
2	TUBO ESTRUCTURAL RECTANGULAR (6m) 150*50*2mm	4	200	800
3	PLANCHA DE ACERO GALVANIZADO 1200*2400*1.5mm	6	110	660
4	MANTA DE FIBRA DE CERÁMICA	80 m	60*m	4800
5	OTROS (TONILLOS, ELCTRODOS, DISCOS DE CORTE, ETC)			250
TOTAL				7860

Fuente: Elaborado por el autor.

TABLA 17: COSTO REFERENCIAL DE HERRAMIENTAS

ITEMS	DESCRIPCIÓN	HORAS	P. UNITARIO S/.	P. TOTAL S/.
1	SOLDADURA	5	15	75
2	AMOLADORA	8	15	120
3	ROLADORA	6 TUBOS	25 S/. TUBO	150
4	ROLADORA	6 PLANCHAS	30 S/. PLANCHA	180
5	TALADRO	10	10	100
6	HERRAMIENTAS MANUALES	10	10	100
TOTAL				725

Fuente: Elaborado por el autor.

TABLA 18: COSTO REFERENCIAL DE MANO DE OBRA

ITEMS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	HORAS/HOMBRE	S/. HORA	P. TOTAL
1	MAESTRO MECÁNICO	1	56	15	840
2	AYUDANTE MECÁNICO	1	56	10	560
TOTAL					1400

Fuente: Elaborado por el autor.

TABLA 19: COSTOS POR MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN

ITEMS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO S/.
1	MANT. DE HORNO GENERAL	1	250
2	MANT. DE TECHO	1	250
3	MANT. DE VENTILADOR	1	200
4	OPERACIÓN DEL HORNO	1	900
TOTAL			S/. 1600
AL AÑO (24 QUEMAS)			S/. 38400

Fuente: Elaborado por el autor.

TABLA 20: COSTOS OPERATIVOS

ITEMS	DESCRIPCIÓN	PRECIO
1	FABRICACIÓN DE LADRILLO CRUDO	S/. 100 millar
2	CARGA Y DESCARGAR DE HORNO	S/. 100 millar
3	COMBUSTIBLE	S/. 50 millar
TOTAL		S/. 250 millar

Fuente: Elaborado por el autor.

El precio actual del millar de ladrillos es de S/. 350, entonces el beneficio bruto por la producción de los ladrillos es de:

$$B. \text{ Bruto} = S/. 350 - S/. 250 = \mathbf{S/. 100 / millar}$$

En 35 millares se tiene un Beneficio Bruto de S/. 3500; al año estima realizar 24 quemas, por lo tanto el Beneficio bruto al año es de **S/. 84000 al año.**

- **Hallando Beneficio Neto:**

$$B_{\text{neto}} = B_{\text{bruto}} - \Sigma \text{de gastos}$$

$$B_{\text{neto}} = 84000 - (7860 + 725 + 1400 + 38400) = 84000 - 48385$$

$$B_{\text{neto}} = S/. 35615 \text{ (año)}$$

Obteniendo estos datos ya podemos calcular el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno) para un periodo de retorno de inversión de menos de 1 año.

- La tasa de interés anual se tomará en cuenta para pequeñas empresas, dicho dato se puede obtener de la página web de la SUPERINTENDENCIA DE BANCA, SEGUROS Y AFP - TASA DE INTERÉS PROMEDIO DEL SISTEMA BANCARIO (VER ANEXO 15)
- Para el análisis de rentabilidad económica de la presente investigación se tomará en cuenta una tasa de interés anual del 26,94 %.

- **Hallando Valor Actual Neto (VAN):**

Bneto = S/. 35615 (año)

Tasa de Interés Anual = 26,94%

Inversión inicial = S/. 9985

$$\text{Valor Actual (VA)} = \frac{B_{\text{bruto}}}{1 + \text{Tasa de Interés A.}} = \frac{35615}{1,2694} = \text{S/. 28056,56}$$

→ Valor Actual Neto (VAN) = VA – Inversión I.

$$\text{Valor Actual Neto (VAN)} = 28056,56 - 9985 = \text{S/. 18071}$$

Valor Actual Neto (VAN) > 0 → El proyecto es Rentable

- **Hallando Tasa Interna de Retorno (TIR):**

Por definición, TIR es la tasa de interés para que el VAN sea 0, por lo tanto despejamos TIR de la fórmula:

$$\text{VAN} = - \text{Inv. Inicial} + \frac{B_{\text{bruto}}}{1 + \text{TIR}}$$

$$\text{TIR} = \frac{B_{\text{bruto}} - \text{Inv. Inicial}}{\text{Inv. Inicial}} = \frac{35615 - 9985}{9985} = \text{2,57 \%}$$

→ **TIR = 2,57 % > Tasa. Int. Anual = 0.2694% → El proyecto es Rentable**

V. DISCUSIÓN

De acuerdo a la Norma Técnica Peruana 331.017 (2003) señala al ladrillo un material de construcción producida con esquistos arcillosos, sustancias terrosas o arcilla parecidas de ocurrencia natural, constituida a través de extrusión, moldeo o prensado y sujeta a un procedimiento con calor a altas temperaturas (quema), y según la entrevista personal realizada el día 16 de junio del 2022, el cual sirvió para determinar parámetros y características de operación del horno artesanal nos dice que se necesitan 21 días para producir 35000 ladrillos (Entrevista personal, 16 de Junio de 2022). Actualmente, de los 35 000 ladrillos que ingresan al horno, un promedio de 1200 ladrillos están vitrificados (recalentados), 1000 no están procesados (amarillos) y 800 están rotos, lo que da como resultado un promedio de 3000 ladrillos totales perdidos (solo durante la etapa de quemado), que representa pérdida de masa del 9 % el cual debe abordarse. Del análisis del horno se obtuvo que el horno artesanal cuenta actualmente con una geometría rectangular, abierto, el cual tiene una producción de 35 millares de ladrillos, con una merma del 9%, los cuales están ubicados de manera estratégica traslapando unos a otros con la intención que estos amarren entre sí con una separación de 1 cm, conteniendo capas de carbón molido entre filas. Cuenta también con una cámara de combustión ubicada en la base del horno con aberturas distribuidas en partes iguales las cuales permiten la salida del aire caliente y gases de combustión, dicha cámara es llenada por briquetas de carbón las cuales son encendidas con la ayuda de petróleo (solo para encender las briquetas) y son apagadas después de 24 horas. Después de ello solo con el flujo de aire caliente y gases de combustión se realiza la cocción de ladrillos. Según Barranzuela Lescano, J.; 2014 nos dice que en relación a la quema de ladrillos, cuando este está a un temple entre 150 - 200°C, el agua se esfuma por completo, cuándo está a 500 °C se queman las materias orgánicas; posterior a ello, al llegar a los 700-800 °C se crea una aleación de múltiples silicatos; a partir de los 800 a 1000 °C su cocción está al 100% (enlace de óxidos de hierro con alúmina y sílice).

Igualmente considerando los sustentos teóricos de modelos matemáticos para transferencia de calor desarrollados por los autores JP Holman, (1999) e Incropera & De Witt, 2006 y teniendo como base las tablas encontradas en la

bibliografía de CENGEL 4ta Ed.; se realizaron los cálculos, determinando que el horno artesanal requiere de un calor útil de $1,58 * 10^5$ Kcal/h y un calor Absorbido por el horno de 260057,26 Kcal/h, con flujos de aire y combustible de 0,1199 Kg/s y $9.09 * 10^{-3}$ Kg/s respectivamente, con estos datos se calculó la eficiencia de dicho horno dando como resultado una eficiencia del 61%.

Teniendo en cuenta dichos datos y acorde a los autores Rivera Garcia Jherson y Rodrigo Arévalo & Cesar Cumbe; quienes en sus investigaciones realizaron propuestas de mejoras para hornos que obran en la quema de ladrillos a la vez analizando deficiencias en el diseño del horno artesanal actual, se elabora una lista de deseos y exigencias requeridas para el rediseño del horno artesanal; luego se plantean propuestas preliminares de mejora para aumentar la eficiencia energética de dicho horno artesanal.

Considerando la definición de Diseño Conceptual extraída del libro DISEÑO CONCEPTUAL DE BASES DE DATOS EN UML del autor JORDI CASAS ROMA quien nos dice que El diseño conceptual es una etapa necesaria en la creación de bases de datos, ya que el esquema conceptual generado es la base desde la cual se creará, modificará y extenderá la base de datos. Un buen diseño conceptual permite crear bases de datos más compactas, entendedoras, simples y extensibles, “El diseño conceptual es una de las partes ineludibles del diseño de un producto. Es la base sobre la que se asentará el resto del desarrollo.”

Se realizó el análisis y selección de la mejor propuesta de mejora para el horno artesanal, teniendo como objetivo principal aumentar la eficiencia de dicho horno.

Una vez seleccionada la propuesta de mejora para el horno artesanal y estando claro el diseño a implementar se realiza el modelado y simulación de dicho diseño en el Software SolidWorks del cual se obtuvo que la distribución de temperaturas en el interior del horno y en los ladrillos es más homogénea, mejorando así la cocción del ladrillo y disminuyendo el tiempo de cocción del mismo; aumentando su eficiencia del horno actual de 61% a 74% con las mejoras realizadas; con el fin de mantener un flujo de aire constante se propuso la implementación de un ventilador centrífugo modelo CMA-324-2T.

Acorde a Aguaza (2012), El análisis costo-beneficio (ACB) Es una metodología para analizar de forma única los costos y beneficios de un proyecto, para poder saber si el proyecto es rentable, donde deben ser cuantificados, y expresados en unidades monetarias, con el fin de poder calcular los beneficios netos del proyecto.

Mediante los resultados obtenidos del análisis económico del presente proyecto se puede establecer que es un proyecto rentable, ya que se obtuvo un VAN de S/. 18071 > 0 y un TIR de 2,57% > 0,2694.

VI. CONCLUSIONES

- Se logró evaluar el diseño, configuración y producción actual del horno con el que se cuenta, así como sus características técnicas y de operación teniendo como resultado un horno rectangular abierto de 7.80m de frontera 5.70m de fondo y 3.60m de alto, con paredes de adobe de espesor 60cm, el cual tiene una producción de 35000 ladrillos en 21 días (7 días de cocción y 14 días de enfriamiento).
- Con los parámetros obtenidos y con la ayuda de modelos matemáticos obtenidos de diferentes bibliografías de transferencia de calor se realizaron los debidos cálculos para determinar la eficiencia energética actual del horno artesanal con el que se cuenta, logrando identificar que el calor necesario para lograr a cocción del ladrillo es de $1,58 * 10^5$ Kcal/h, el calor suministrado al horno es de 223069,29 Kcal/h, el flujo másico de combustible es de $9.09 * 10^{-3}$ Kg/s y el flujo másico de aire es de 0,1199 Kg/s ; obteniendo así la que la eficiencia del horno actualmente es del 61%.
- Teniendo en cuenta las deficiencias con las que cuenta el actual horno artesanal se elaboraron propuestas de solución (Rediseño) para aumentar la eficiencia energética de dicho horno, las cuales fueron: Diseño de un techo, implementar ladrillos refractorios y diseño de ductos en la cámara de combustión.
- Siguiendo la metodología de diseño conceptual se analizó y seleccionó la mejor propuesta de solución óptima para lograr aumentar la eficiencia energética del horno artesanal, la cual es el Diseño de un Techo, con geometría tipo cúpula de Acero ASTM A36 por ser el mas comercial y adaptable al proyecto.

- Con ayuda del software SolidWorks se realizó el diseño y análisis del horno mejorado logrando obtener una mejor distribución de temperaturas en el interior de dicho horno y la gradiente de temperaturas de 50.47 °C, asumiendo una mejor cocción de los ladrillos en el interior del horno y elevando su eficiencia de 61% a 74%.

- Se determinó los parámetros económicos para la implementación de la mejora en el horno artesanal (Techo tipo Cúpula), teniendo como resultado un VAN de S/. 18071 > 0 y un TIR del 257% > 26,94% con estos valores podemos asumir que el proyecto es rentable.

VII. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda realizar un análisis de la distribución de ladrillos en el interior del horno para determinar si es optimizar el horno cambiando la dicha distribución.
- ✓ Se recomienda realizar el análisis térmico del Techo (Acero ASTM A36) para observar el comportamiento térmico en dicho Techo a la temperatura que emana el horno artesanal, a la vez definir un tiempo de vida de dicho techo.
- ✓ Se recomienda realizar un plan de mantenimiento para extender el tiempo de vida del horno artesanal.
- ✓ Se recomienda realizar con la ayuda del software SOLIDWORKS en su versión profesional el análisis y simulación del proceso de cocción de los ladrillos, para poder analizar la producción total del horno artesanal. (35 millares)
- ✓ Se recomienda realizar un análisis detallado para determinar el impacto ambiental que generan los gases que emanan al medio ambiente, producto de la combustión generada en el interior del horno.

REFERENCIAS

- Diseño de investigación, muestreo y métodos de recolección de datos. (2 de Julio 2020). www.escueladotos.online.
- Tipos de investigación. (Marzo de 2017). <https://www.intep.edu.co/>
- Programa Regional de Aire Limpio y el Ministerio de la Producción, 2019
<http://www.digesa.minsa.gob.pe>
- Tasa de Interés Promedio del Sistema Bancario, 2022
<https://www.sbs.gob.pe/>
- Noticias Seco. (15 de marzo de 2013). Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras de América Latina (EELA) para Mitigar el Cambio Climático – Cooperación Suiza en Perú. <https://www.cooperacionsuiza.pe>
- Luján, M. (20 de Julio de 2020). Diseño, Construcción y Evaluación de un Horno (MK3) para la Cocción de Ladrillos Artesanales.[Artículo Científico] Acta Nova. <http://www.scielo.org.bo>
- EELA (2016). Manual de capacitación sector ladrillero en América Latina, https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/Manual_capacitacion_sector_ladrillero.pdf.
- Rubio, E. D. (26 de octubre de 2013). Norma Técnica Peruana - LADRILLO. <https://es.scribd.com/doc/179076991/Norma-Tecnica-Peruana-LADRILLO>
- Ministerio de la Producción (2010), Guía de Buenas Prácticas para Ladrilleras Artesanales, <http://spij.minjus.gob.pe/graficos/Peru/2010/abril/21/RM-102-2010-PRODUCE.pdf>
- Zhang, Y., Li, Q., & Zhou, H. (2016). Theory and Calculation of Heat Transfer in Furnaces. Academic Press.
- Pitts, D., & Sissom, L. E. (2011). Schaum's Outline of Heat Transfer, 2nd Edition (2nd Revised ed.). McGraw-Hill Education.

- Chojolan Duarte O., Cifuentes J. (2015) “Experiencias para mejorar la eficiencia energética de los hornos tradicionales de ladrillo para la cocción de ladrillo, teja, baldosa, de arcilla”. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Abou-Ziyan, H. Z., 2004. Convective heat transfer from different. Applied Thermal Engineering, p. 171–191.
- Cárdenas, B., Aréchiga, U. y Munguía, J., (2012). “Evaluación preliminar del impacto ambiental por la producción artesanal de ladrillo: eficiencia energética y calidad del aire”, MexicoD:F: INE
- Fontalvo, E. y Gutiérrez, E., (2014) “Diseño de un horno para cocción de ladrillos refractarios, en una empresa del sector ladrillero”. Barranquilla: Universidad autónoma del caribe.
- Gutiérrez Serrano, L.; Ramírez Ramírez, L. Ramos Rosas, E. (2016). “Propuesta de automatización y modernización de horno para cocido de ladrillo rojo.” <https://tesis.ipn.mx>
- García, M., (2016). La disminución de la contaminación ambiental en las ladrilleras del estado de Guanajuato. Mexico.
- Holman, J. P. (1995). Transferencia de calor (DÉCIMA REIMPRESIÓN MÉXICO, 1999 ed.). Alianza Editorial.
- Conesa, Juan A.(11 de diciembre de 2013), “Mecanismos de transmisión de calor (conducción, convección, radiación)”. Universidad de Alicante. Departamento de Ingeniería Química. <http://hdl.handle.net/10045/34475>
- Gortari, J. C. (1999). Fundamentos De Transferencia De Calor (1.a ed.). Fondo de Cultura Económica.
- Chojolan Duarte, Oscar David y Cifuentes, Jorge Iván (2016) Experiencias para mejorar la eficiencia energética de los hornos tradicionales de ladrillo para la cocción de ladrillo, teja, baldosa, de arcilla. USAC. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4462/>

Nevers, N., & De Nevers, N. (s. f.). Air Pollution Control Engineering. McGrawHill Education.

Rivera, J. (2021), "Mejoramiento de la eficiencia térmica de un horno artesanal de ladrillos de una microempresa del distrito de Florencia de Mora, Provincia de Trujillo – La Libertad."

Sánchez, C. (24 de enero de 2020). Referencias APA. Normas APA (7ma edición). <https://normas-apa.org/referencias/>

Manuel Arévalo y Julio Cumbe (2021). "Propuesta de mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal en la ciudad de Cuenca, Ecuador – Cámara de cocción y combustión"

ANEXOS

ANEXO 1: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FICHA DE ENTREVISTA

Apellidos y Nombres: Llanos Espinoza Henry Manuel

Edad: 43 años

Fecha: 16/06/2022

Puesto: Operador

1. ¿Cuántas personas laboran dentro de la ladrillera?
Somos 10 personas que laboramos permanentemente en la ladrillera, pero el personal aumenta de acuerdo a los pedidos de ladrillos que tengamos.
2. ¿Cada cuánto tiempo realizan el quemado de los ladrillos?
Se realizan de 8 a 10 veces por año, depende los pedidos.
3. ¿Qué tipo de combustible utilizan para la quema de los ladrillos?
Comúnmente usamos carbón, pero cuando se nos termina usamos retazos de maderas o aserrín que conseguimos en las carpinterías de la zona.
4. ¿Cuántos ladrillos producen en el horno?
Por quema introducimos en el horno 35 millares de ladrillos.
5. ¿Qué tipo de técnicas emplean para determinar que los ladrillos llegaron al punto de cocción óptimo para su producción?
Como esta es una actividad que viene de años atrás sabemos que demora un máximo de 21 días para que los ladrillos ya estén listos, igualmente nos guiamos por el tipo de color de humo que sale del horno, mientras más claro salga es porque ya está casi listo el ladrillo, también nos guiamos del color del ladrillo.
6. ¿Cuál es el ratio de pérdidas que tienen por producción de 35 millares de ladrillos?
De cada quema tenemos un promedio de 1200 ladrillos que se recocinan, 1000 salen crudos y 800 se rompen, esto es solo en el proceso de la quema, porque en la descargar del horno también se pierden ladrillos.
7. ¿Conoces cuáles son los límites de contaminación permisibles para las ladrilleras artesanales?
No tengo conocimiento.

Ficha de Observación

Nombre del proyecto de investigación: Análisis y rediseño para mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal para la quema de ladrillos del distrito de San Pedro de Lloc, Provincia de Pacasmayo – La Libertad.

Lugar: Horno artesanal para la quema de ladrillos, ubicado en el distrito de - San Pedro de Lloc.

INDICADOR	CONTENIDO	DATO
Material del ladrillo.	Mezcla de tierra de chacra y agua.	Según proporción.
Tipo de combustible.	Carbón	De antracita, molido.
Geometría	Rectangular	De tiro invertido.
Contaminación	Emisión de gases de combustión	Al ser un Horno abierto los gases emanan al medio ambiente.
Procesos	7 Procesos para la fabricación del ladrillo.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mezclado del material. ✓ Moldeado del ladrillo. ✓ Secado del ladrillo. ✓ Carga del ladrillo crudo al horno. ✓ Cocción del ladrillo. ✓ Enfriamiento y descargar del ladrillo. ✓ Almacenamiento y comercialización.
Personal empleado	10 empleados	Todos ayudan en los diferentes procesos de fabricación del ladrillo.

ANEXO 2: TABLAS CENGE 4TA EDICIÓN

TABLA A-51

Propiedades de materiales de construcción
(a una temperatura media de 75°F)

Material	Espesor, L	Densidad, lb/ft ³	conductividad térmica, k en	pesos lbm/pie	Valor R (para especifico, c de la lista, L
					Btu-in/h · pie ² ·
Tableros de construcción					
Tcapazo de asbesto-cemento	en	120	—	0.24	0.06
Tcapazo de yeso de revoque	en	50	—	0.26	0.32
Madera contrachapada (abeto Douglas)	en	50	—	—	0,45
	en	34	0.80	0.29	—
	en	34	—	0.29	0.31
	en	34	—	0.29	0.47
	en	34	—	0.29	0.62
Tcapazo y entablado aislado (densidad común)	en	18	—	0.31	1.32
	en	18	—	0.31	2.06
Tcapaz duro (de alta densidad, templado estándar)	—	63	1.00	0.32	—
Tcapaz de aglutinar: densidad media	—	50	0,94	0.31	—
	en	40	—	0.29	0.82
contrapiso de madera	en	—	—	0.33	0,94
Membrana de construcción					
Filtro permeable al vapor	—	—	—	—	0.06
Sello de vapor (2 capas de fieltro de 17.3 lbm/ft ² estropajeado)	—	—	—	—	0.12
Materiales para pisos					
Alfombra y carpeta fibrosa	—	—	—	0.34	2.08
Alfombra y carpeta de caucho	—	—	—	0.33	1.23
Loseta (asfalto, linóleo, vinilo)	—	—	—	0.30	0.05
Materiales para mampostería					
Unidades de mampostería:					
ladrillo común		120	5.0	—	—
Ladrillo para fachada		130	9.0	—	—
Ladrillo de arcilla refractaria		150	9.3	—	—
		120	6.2	0.19	—
		70	2.8	—	—

Propiedades de diversos materiales

(A menos que se indique lo contrario, los valores se dan a 300 K)

Material	Conductividad			Material	Conductividad		
	Densidad, ρ kg/m ³	térmica, k W/m · K	Calor espe- cífico, c_p J/kg · K		Densidad, ρ kg/m ³	térmica, k W/m · K	Calor espe- cífico, c_p J/kg · K
Asfalto	2 115	0.062	920	Hielo			
Baquelita	1 300	1.4	1 465	273 K	920	1.88	2 040
Ladrillo refractario				253 K	922	2.03	1 945
Ladrillo de cromita				173 K	928	3.49	1 460
473 K	3 010	2.3	835	Cuero para suela	998	0.159	—
823 K	—	2.5	—	Lindero	535	0.081	—
1173 K	—	2.0	—		1 180	0.186	—
Arcilla refractaria				Mica	2 900	0.523	—
cocida				Papel	930	0.180	1 340
1600 K				Plásticos			
773 K	2 050	1.0	960	Plexiglas	1 190	0.19	1 465
1073 K	—	1.1	—	Teflón			
1373 K	—	1.1	—	300 K	2 200	0.35	1 050
Arcilla refractaria				400 K	—	0.45	—
cocida				Lexan	1 200	0.19	1 260
1725 K				Nylon	1 145	0.29	—
773 K	2 325	1.3	960	Polipropileno	910	0.12	1 925
1073 K	—	1.4	—	Poliéster	1 395	0.15	1 170
1373 K	—	1.4	—	PVC, vinilo	1 470	0.1	840
Ladrillo de arcilla				Porcelana	2 300	1.5	—
refractaria				Caucho natural	1 150	0.28	—
478 K	2 645	1.0	960	Caucho vulcanizado			
922 K	—	1.5	—	Blando	1 100	0.13	2 010
1478 K	—	1.8	—	Duro	1 190	0.16	—
Magnesita				Arena	1 515	0.2-1.0	800
478 K	—	3.8	1 130	Nieve reciente	100	0.60	—
922 K	—	2.8	—	Nieve, 273 K	500	2.2	—
1478 K	—	1.9	—	Suelo seco	1 500	1.0	1 900
Carne de pollo blanca				Suelo mojado	1 900	2.0	2 200
(74.4% de contenido				Azúcar	1 600	0.58	—
de agua)				Tejido humano			
198 K	—	1.60	—	Piel	—	0.37	—
293 K	—	1.49	—	Capa de grasa	—	0.2	—
293 K	—	1.35	—	Músculo	—	0.41	—
273 K	—	0.48	—	Vaselina	—	0.17	—
293 K	—	0.49	—	Madera, perpendicular			
Arcilla seca	1 550	0.930	—	a la fibra			
Arcilla mojada	1 495	1.675	—	De balsa	140	0.055	—
Carbón mineral,				Abeto	415	0.11	2 720
antracita	1 350	0.26	1 260	Roble	545	0.17	2 385
Concreto (mezcla				Pino blanco	435	0.11	—
con piedra)	2 300	1.4	880	Pino amarillo	640	0.15	2 805
Corcho	86	0.048	2 030	Madera, radial			
Algodón	80	0.06	1 300	Roble	545	0.19	2 385
Grasa	—	0.17	—	Abeto	420	0.14	2 720
Vidrio				Madera para barcos	145	0.05	—
De ventana	2 800	0.7	750				
Pyrex	2 225	1-1.4	835				
Crown	2 500	1.05	—				
Al plomo	3 400	0.85	—				

Fuente: Los datos se recopilaron de diversas fuentes.

Algunas constantes físicas

Constante universal de los gases	$R_u = 8.31447 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$ $= 8.31447 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K}$ $= 0.0831447 \text{ bar} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K}$ $= 82.05 \text{ L} \cdot \text{atm/kmol} \cdot \text{K}$ $= 1.9858 \text{ Btu/lbmol} \cdot \text{R}$ $= 1\,545.35 \text{ ft} \cdot \text{lbf/lbmol} \cdot \text{R}$ $= 10.73 \text{ psia} \cdot \text{ft}^3/\text{lbmol} \cdot \text{R}$
Aceleración estándar de la gravedad	$g = 9.80665 \text{ m/s}^2$ $= 32.174 \text{ ft/s}^2$
Presión atmosférica estándar	$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa}$ $= 1.01325 \text{ bar}$ $= 14.696 \text{ psia}$ $= 760 \text{ mmHg (0}^\circ\text{C)}$ $= 29.9213 \text{ inHg (32}^\circ\text{F)}$ $= 10.3323 \text{ mH}_2\text{O (4}^\circ\text{C)}$
Constante de Stefan-Boltzmann	$\sigma = 5.6704 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ $= 0.1714 \times 10^{-8} \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{R}^4$
Constante de Boltzmann	$k = 1.380650 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Velocidad de la luz en vacío	$c = 2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$ $= 9.836 \times 10^8 \text{ ft/s}$
Velocidad del sonido en aire seco a 0°C y 1 atm	$C = 331.36 \text{ m/s}$ $= 1\,089 \text{ ft/s}$
Calor de fusión del agua a 1 atm	$h_f = 333.7 \text{ kJ/kg}$ $= 143.5 \text{ Btu/lbm}$
Calor de vaporización del agua a 1 atm	$h_{fg} = 2\,257.1 \text{ kJ/kg}$ $= 970.4 \text{ Btu/lbm}$

Emisividades de las superficies (conclusión)

b) No metales

Material	Temperatura, K	Emisividad, ϵ	Material	Temperatura, K	Emisividad, ϵ
Alúmina	800-1 400	0.65-0.45	Papel blanco	300	0.90
Aluminio, óxido de	600-1 500	0.69-0.41	Revoque blanco	300	0.93
Asbesto	300	0.96	Porcelana vidriada	300	0.92
Asfalto, pavimento de	300	0.85-0.93	Cuarzo, áspero, vidrio	300	0.93
Ladrillo			Caucho		
Común	300	0.93-0.96	Duro	300	0.93
De arcilla refractaria	1 200	0.75	Suave	300	0.86
Carbono, filamento de	2 000	0.53	Arena	300	0.90
Tela	300	0.75-0.90	Silicio, carburo de	600-1 500	0.87-0.85
Concreto	300	0.88-0.94	Piel humana	300	0.95
Vidrio			Nieve	273	0.80-0.90
De ventana	300	0.90-0.95	Suelo, tierra	300	0.93-0.96
Pyrex	300-1 200	0.82-0.62	Hollín	300-500	0.95
Pyroceram	300-1 500	0.85-0.57	Teflón	300-500	0.85-0.92
Hielo	273	0.95-0.99	Agua profunda	273-373	0.95-0.96
Magnesio, óxido de	400-800	0.69-0.55	Madera		
Mampostería	300	0.80	Haya	300	0.94
Pinturas			Roble	300	0.90
De aluminio	300	0.40-0.50			
Negra, laca, lustrosa	300	0.88			
De aceite, todos los colores	300	0.92-0.96			
De base (primer) roja	300	0.93			
Acrílica blanca	300	0.90			
Esmalte blanco	300	0.90			

Material	Emisividad	Material	Emisividad
Madera	0.85	Papel negro	0.86
Agua	0.96	Policarbonato	0.8
Ladrillo	0.75	Hormigón	0.97
Acero inoxidable	0.14	Óxido de cobre	0.78
Cinta	0.96	Hierro fundido	0.81
Placa de aluminio	0.09	Óxido	0.8
Placa de cobre	0.06	Yeso	0.75
Aluminio negro	0.95	Pintura	0.9
Piel humana	0.98	Goma	0.95
Asfalto	0.96	Tierra	0.93
PVC	0.93		

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T, °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k, W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s ²	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158 10 ⁻⁶	8.636 10 ⁻⁶	3.013 10 ⁻⁶	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036 10 ⁻⁶	1.189 10 ⁻⁶	5.837 10 ⁻⁶	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252 10 ⁻⁵	1.474 10 ⁻⁵	9.319 10 ⁻⁶	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356 10 ⁻⁵	1.527 10 ⁻⁵	1.008 10 ⁻⁵	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465 10 ⁻⁵	1.579 10 ⁻⁵	1.087 10 ⁻⁵	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578 10 ⁻⁵	1.630 10 ⁻⁵	1.169 10 ⁻⁵	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696 10 ⁻⁵	1.680 10 ⁻⁵	1.252 10 ⁻⁵	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818 10 ⁻⁵	1.729 10 ⁻⁵	1.338 10 ⁻⁵	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880 10 ⁻⁵	1.754 10 ⁻⁵	1.382 10 ⁻⁵	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944 10 ⁻⁵	1.778 10 ⁻⁵	1.426 10 ⁻⁵	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009 10 ⁻⁵	1.802 10 ⁻⁵	1.470 10 ⁻⁵	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074 10 ⁻⁵	1.825 10 ⁻⁵	1.516 10 ⁻⁵	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141 10 ⁻⁵	1.849 10 ⁻⁵	1.562 10 ⁻⁵	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208 10 ⁻⁵	1.872 10 ⁻⁵	1.608 10 ⁻⁵	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277 10 ⁻⁵	1.895 10 ⁻⁵	1.655 10 ⁻⁵	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346 10 ⁻⁵	1.918 10 ⁻⁵	1.702 10 ⁻⁵	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416 10 ⁻⁵	1.941 10 ⁻⁵	1.750 10 ⁻⁵	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487 10 ⁻⁵	1.963 10 ⁻⁵	1.798 10 ⁻⁵	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632 10 ⁻⁵	2.008 10 ⁻⁵	1.896 10 ⁻⁵	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780 10 ⁻⁵	2.052 10 ⁻⁵	1.995 10 ⁻⁵	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931 10 ⁻⁵	2.096 10 ⁻⁵	2.097 10 ⁻⁵	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086 10 ⁻⁵	2.139 10 ⁻⁵	2.201 10 ⁻⁵	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243 10 ⁻⁵	2.181 10 ⁻⁵	2.306 10 ⁻⁵	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565 10 ⁻⁵	2.264 10 ⁻⁵	2.522 10 ⁻⁵	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898 10 ⁻⁵	2.345 10 ⁻⁵	2.745 10 ⁻⁵	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241 10 ⁻⁵	2.420 10 ⁻⁵	2.975 10 ⁻⁵	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593 10 ⁻⁵	2.504 10 ⁻⁵	3.212 10 ⁻⁵	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954 10 ⁻⁵	2.577 10 ⁻⁵	3.455 10 ⁻⁵	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890 10 ⁻⁵	2.760 10 ⁻⁵	4.091 10 ⁻⁵	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871 10 ⁻⁵	2.934 10 ⁻⁵	4.765 10 ⁻⁵	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892 10 ⁻⁵	3.101 10 ⁻⁵	5.475 10 ⁻⁵	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951 10 ⁻⁵	3.261 10 ⁻⁵	6.219 10 ⁻⁵	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004 10 ⁻⁴	3.415 10 ⁻⁵	6.997 10 ⁻⁵	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117 10 ⁻⁴	3.563 10 ⁻⁵	7.806 10 ⁻⁵	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352 10 ⁻⁴	3.846 10 ⁻⁵	9.515 10 ⁻⁵	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598 10 ⁻⁴	4.111 10 ⁻⁵	1.133 10 ⁻⁴	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855 10 ⁻⁴	4.362 10 ⁻⁵	1.326 10 ⁻⁴	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122 10 ⁻⁴	4.600 10 ⁻⁵	1.529 10 ⁻⁴	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398 10 ⁻⁴	4.826 10 ⁻⁵	1.741 10 ⁻⁴	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908 10 ⁻⁴	5.817 10 ⁻⁵	2.922 10 ⁻⁴	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664 10 ⁻⁴	6.630 10 ⁻⁵	4.270 10 ⁻⁴	0.7539

Note: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k, μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , ν y α a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P.

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley.

ANEXO 3: IMÁGENES DEL HORNO ARTESANAL

HORNO ARTESANAL



LLENADO DEL HORNO



FRONTAL DEL HORNO



CÁMARA DE COMBUSTIÓN



BRIQUETAS DE CARBÓN



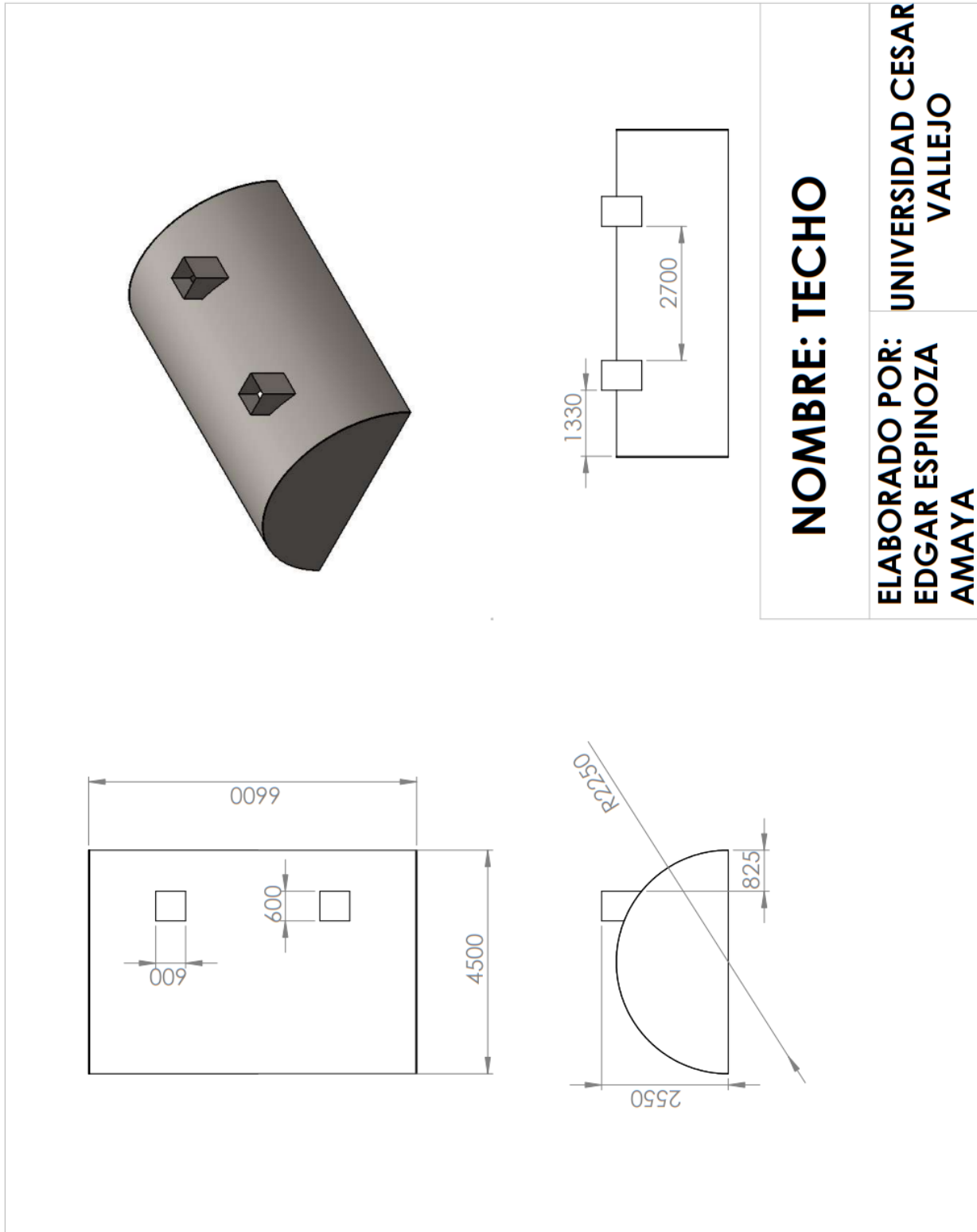
MOLDE DE BRIQUETA DE CARBÓN



ENCENDIDO DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN



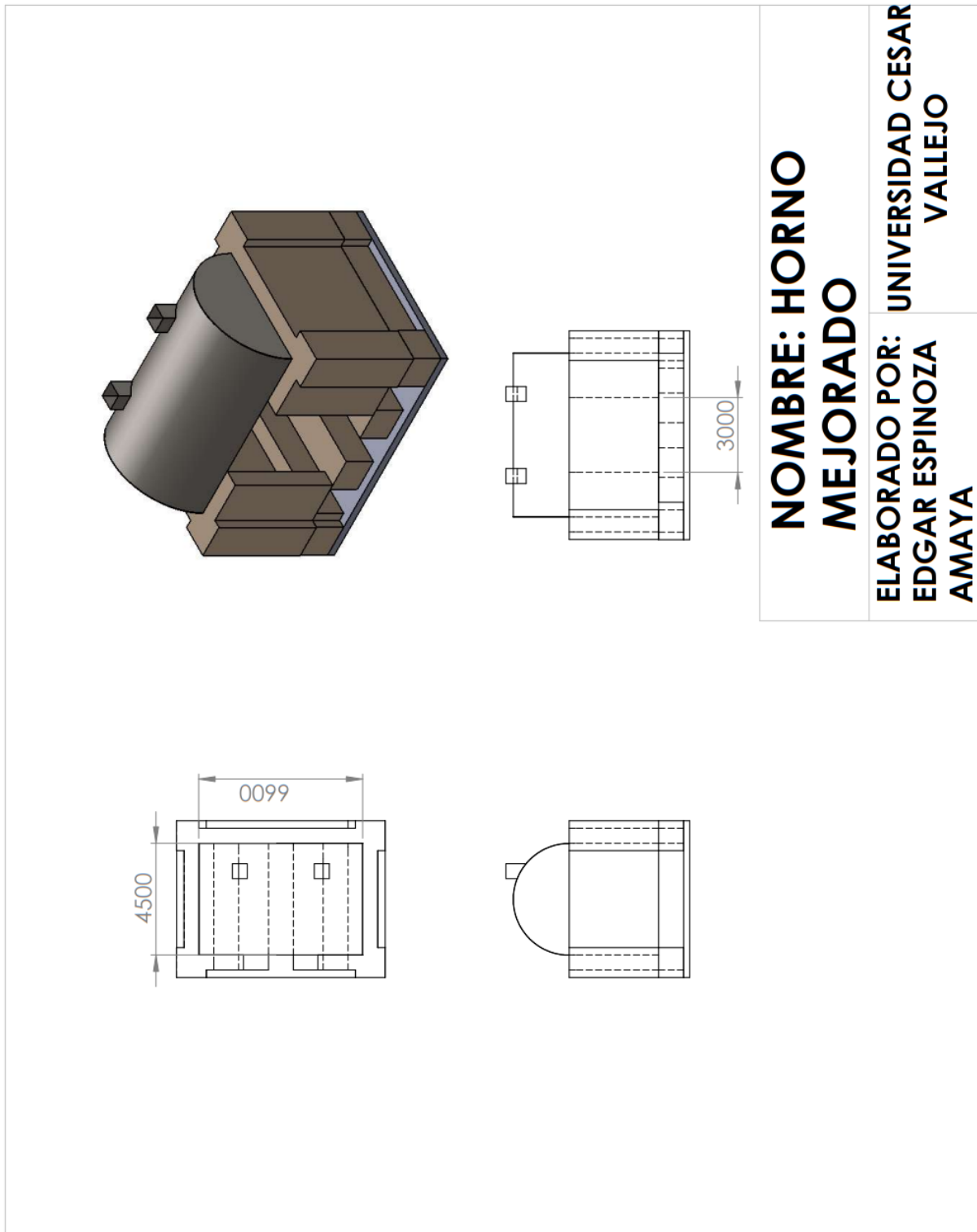
ANEXO 4: PLANO DE TECHO TIPO CÚPULA



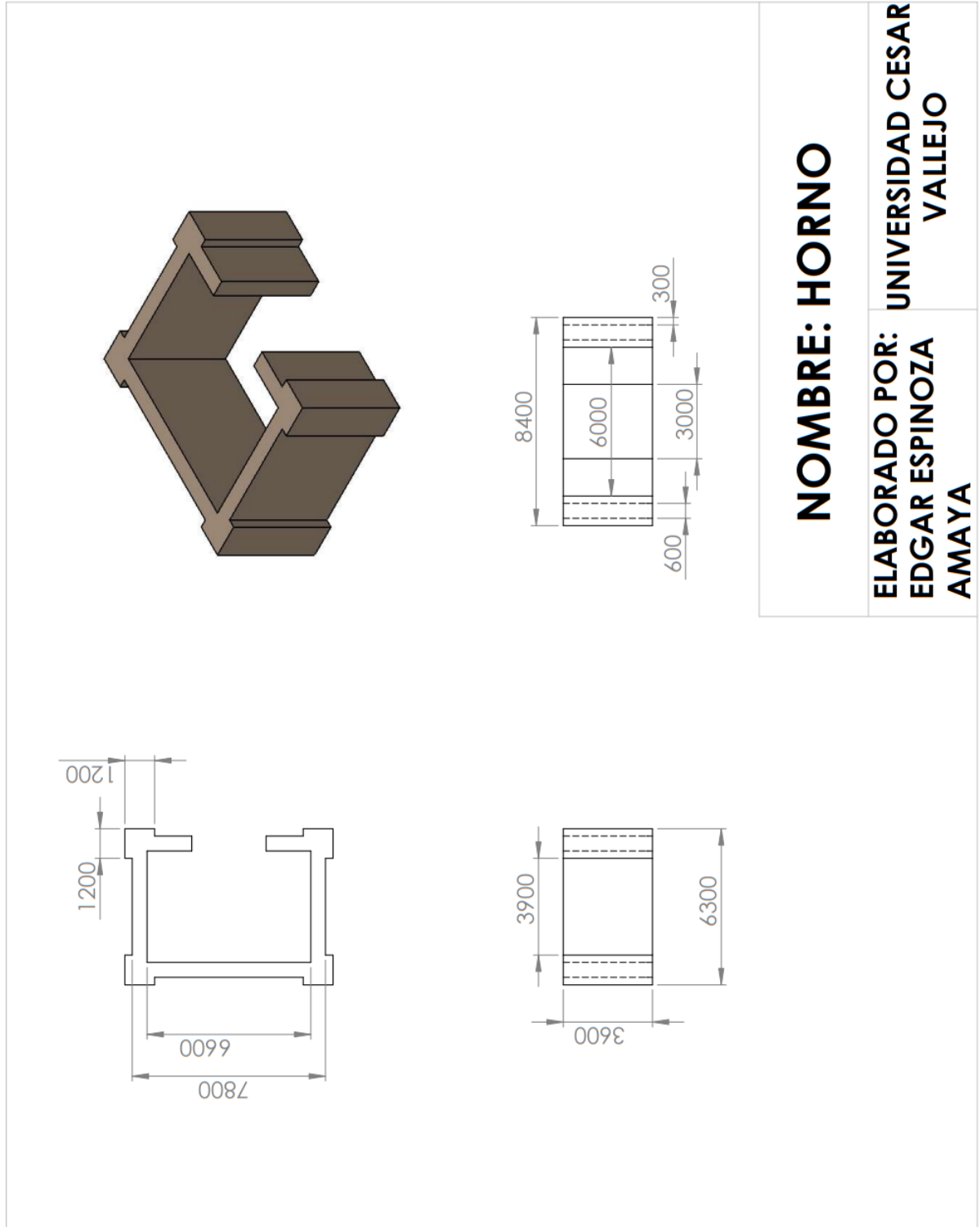
NOMBRE: TECHO

ELABORADO POR: EDGAR ESPINOZA AMAYA	UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
----------------------------------------------------	--------------------------------------

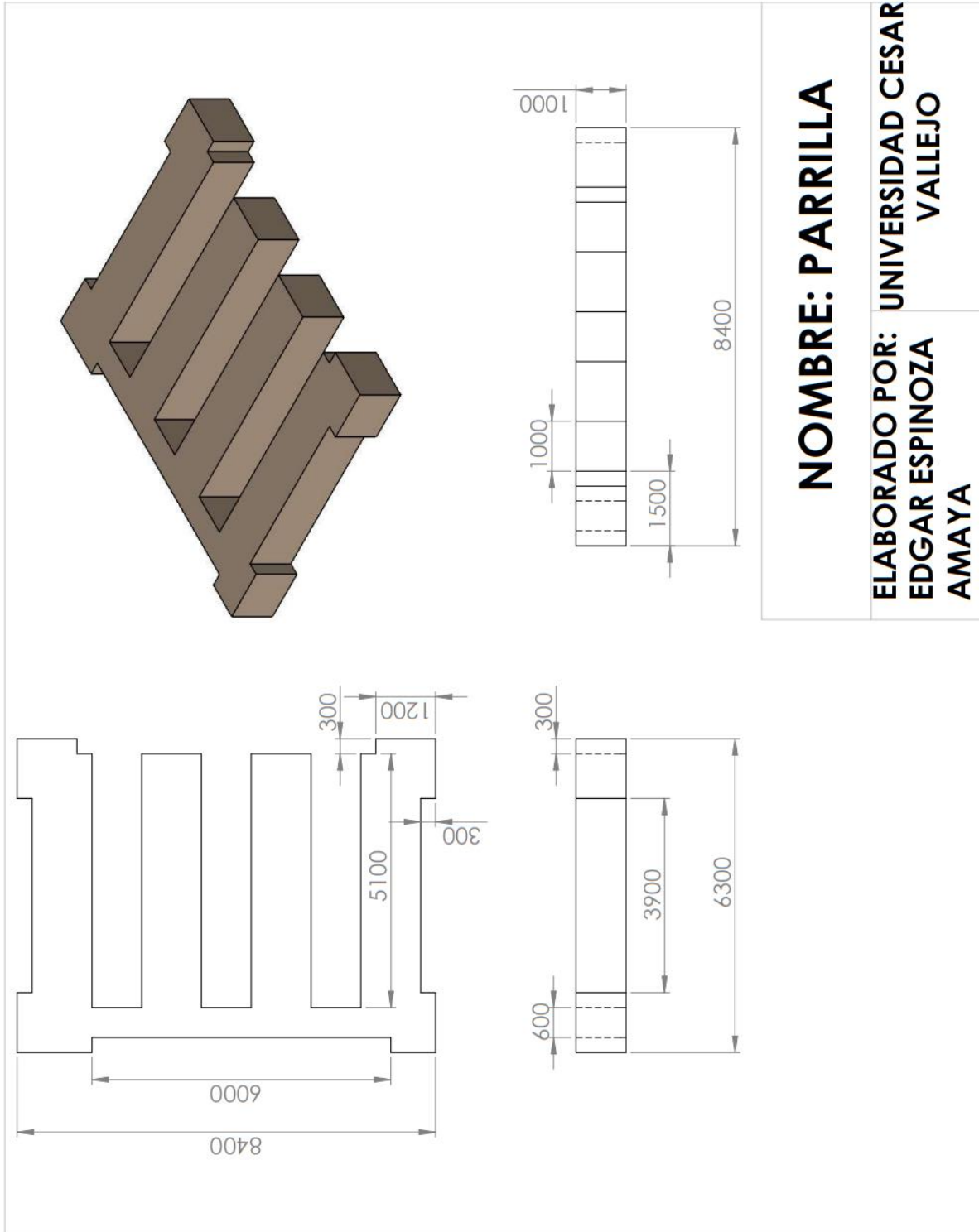
ANEXO 5: PLANO DE HORNO MEJORADO



ANEXO 6: PLANO DE PAREDES DEL HORNO



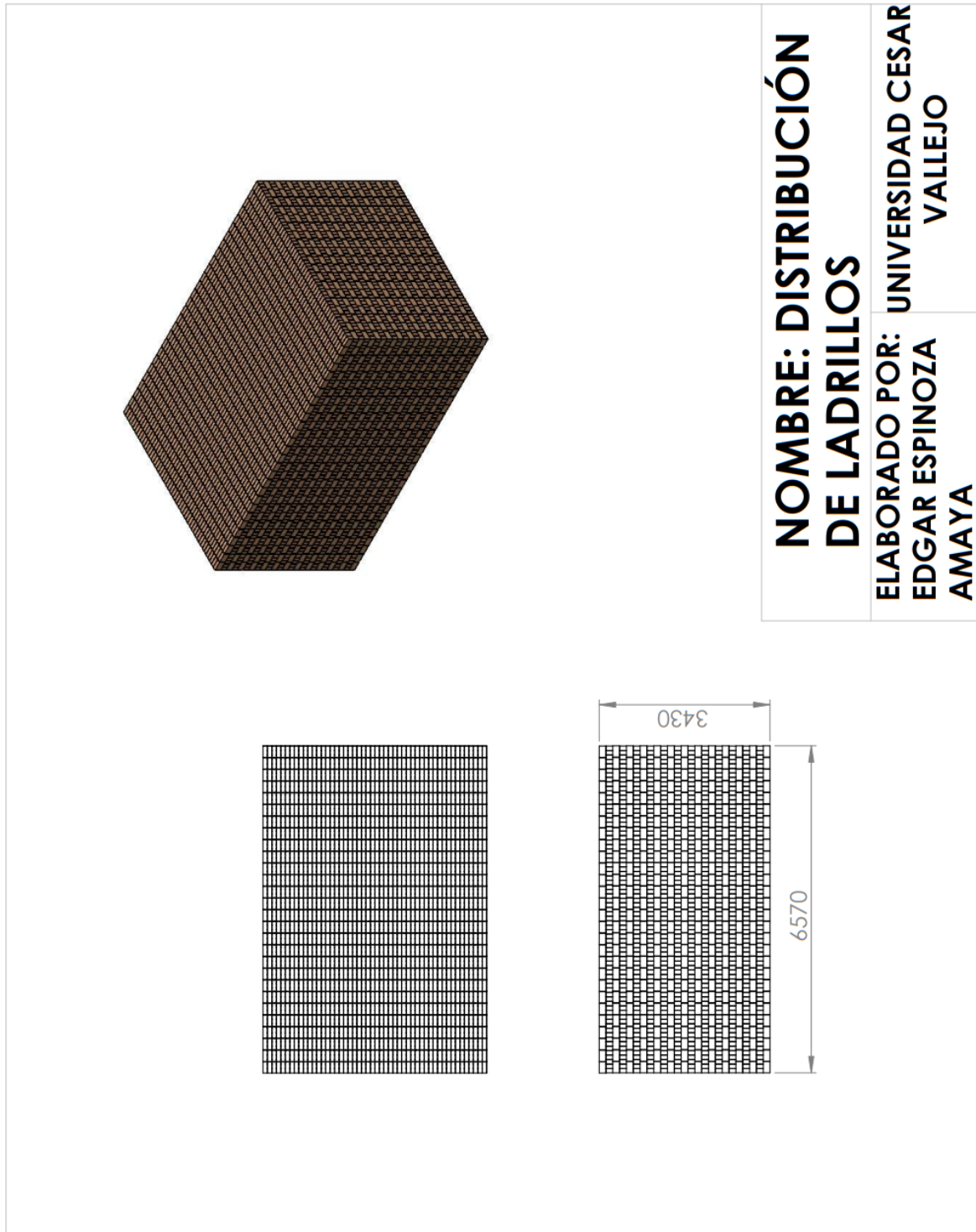
ANEXO 7: PLANO DE PARRILLA DEL HORNO



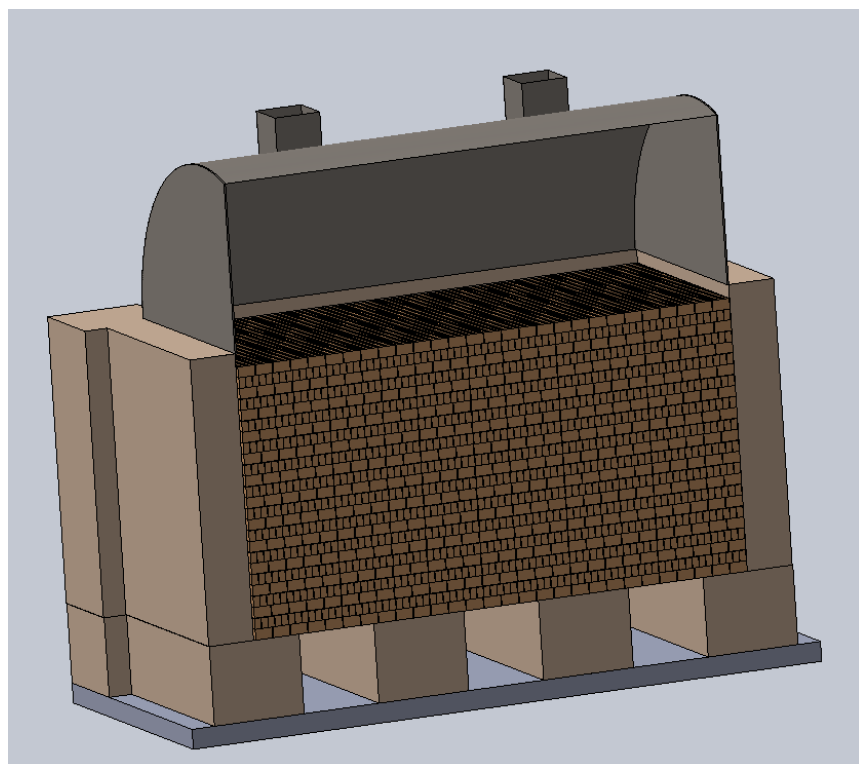
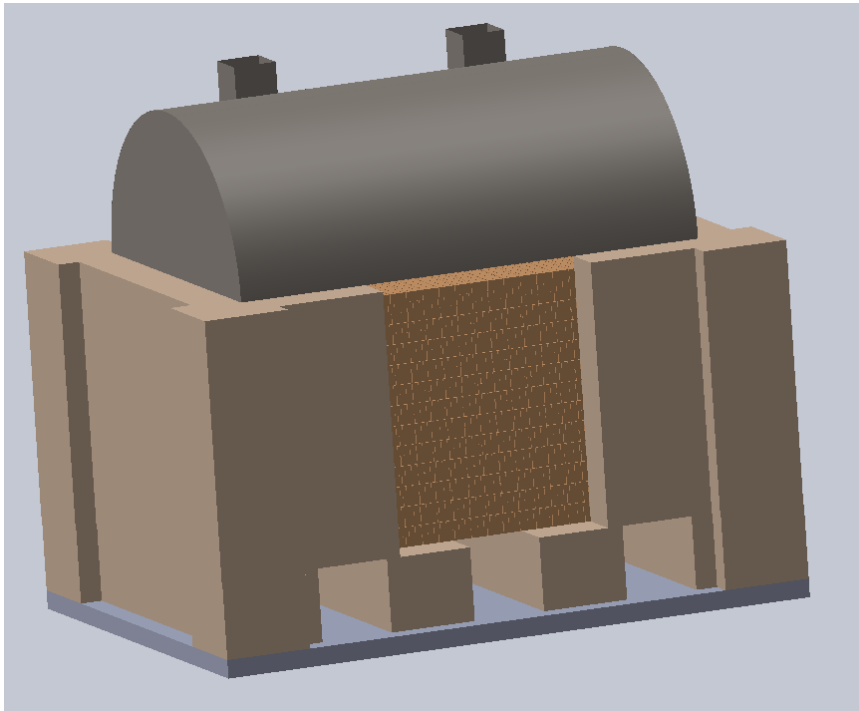
NOMBRE: PARRILLA

ELABORADO POR: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
EDGAR ESPINOZA
AMAYA

ANEXO 8: PLANO DISTRIBUCIÓN DE LADRILLOS



ANEXO 9: DISEÑO DE HORNO MEJORADO



ANEXO 10: TABLA DE TEMPERATURAS EN EL CICLO DE CALENTAMIENTO EN UN HORNO ARTESANAL.

Quema del Ladrillo y Teja

Tiempo	R1	R2	R3	R4	R5
min	°C	°C	°C	°C	°C
0	16,4	16,6993	16,616	15,9421	17,3811
20	19,5	17,3609	17,1409	22,8587	29,122
40	119,4	38,4281	-----	73,3339	106,938
60	201	67,7381	42,2026	115,935	249,578
80	270,6	106,837	66,6867	175,436	458,45
100	345,5	153,427	94,0181	246,225	540,573
120	415,4	206,447	110,455	289,126	518,828
140	466	256,813	127,605	318,786	605,097
160	458,2	285,122	151,071	393,691	694,735
180	452,3	301,496	177,454	394,935	724,775
200	479,6	329,653	205,338	446,183	801,988
220	490,8	354,552	229,359	478,654	801,512
240	518,6	386,842	260,435	494,429	869,336
260	505,6	399,747	291,763	533,317	902,841
280	515,7	423,583	319,951	537,365	873,315
300	504,2	437,287	347,355	530,13	867,537
320	497,4	450,283	375,029	605,325	851,085
340	531,3	480,991	400,714	619,358	857,532
360	572,1	506,419	421,968	629,556	897,569
380	554,9	515,569	435,096	662,395	874,961
400	555,5	526,538	448,898	667,128	827,346
420	608,4	553,822	452,745	622,872	826,651
440	580,7	553,571	462,407	641,501	876,819
460	585,6	560,792	480,445	634,067	934,892
480	580,7	567,111	512	681,728	974,081
500	595,6	570,599	563,033	681,016	1004,14
520	607,7	585,375	578,667	697,985	898,247
540	657	604,582	582,162	705,784	940,804
560	645,3	610,828	597,426	719,749	953,479
580	713,4	662,248	612,233	712,537	985,073

ANEXO 11: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS E VENTILADOR CENTRÍFUGO CMA

VENTILADORES CENTRÍFUGOS Y EXTRACTORES EN LÍNEA PARA CONDUCTOS

CMA

Ventiladores centrífugos de media presión y simple aspiración con envolvente y turbina en fundición de aluminio



Ventilador:

- Envolvente en fundición de aluminio
- Turbina en fundición de aluminio
- Modelos 324, 325 y 426 turbina en poliamida, modelo 531-2T-3 turbina en chapa de acero

Motor:

- Motores de eficiencia IE3 para potencias iguales o superiores a 0,75kW, excepto monofásicos, 2 velocidades y 8 polos
- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP55, excepto modelos monofásicos protección IP54
- Monofásicos 230V-50Hz y trifásicos 230/400V-50Hz
- Temperatura máxima del aire a transportar: -20°C + 120°C, máximo +70°C los modelos con turbina de poliamida

Acabado:

- Anticorrosivo en resina de poliéster polimerizada a 190 °C, previo desengrase con tratamiento nanotecnológico libre de fosfatos.

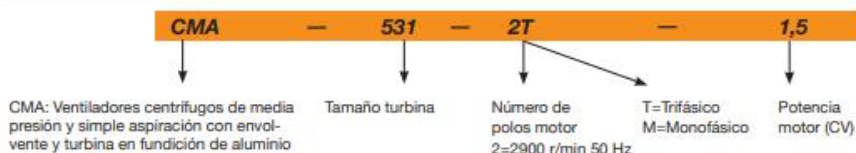
Bajo demanda:

- Bobinados especiales para diferentes tensiones
- Turbinas en fundición de aluminio para los modelos 324, 325 y 426
- Ventilador preparado para transportar aire hasta 250°C
- Certificación ATEX Categoría 2 (ver serie CMA/ATEX)



Posibilidad de diferentes posiciones de impulsión

Código de pedido



Características técnicas

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)		Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m ³ /h)	Nivel presión sonora (dB (A))	Peso aprox. (Kg)	According ErP
		230V	400V					
CMA-218-2T	2670	0,64	0,37	0,09	265	63	6	Excluded
CMA-218-2M	2760	0,79		0,09	265	63	6	Excluded
CMA-324-2T	2750	1,21	0,70	0,18	440	70	9	2015
CMA-324-2M	2780	1,42		0,18	440	70	9	2015
CMA-325-2T	2710	1,29	0,75	0,25	600	73	11	2015
CMA-325-2M	2780	1,84		0,25	600	73	11	2015
CMA-426-2T	2710	1,92	1,11	0,37	850	75	13	2015
CMA-426-2M	2780	2,53		0,37	850	75	13	2015
CMA-527-2T	2760	2,57	1,49	0,55	1000	80	15	2015
CMA-527-2M	2810	3,49		0,55	1000	80	15	2015
CMA-528-2T-1 IE3	2825	2,80	1,62	0,75	1250	82	29	2015
CMA-528-2M-1	2810	4,50		0,75	1250	82	24	2015
CMA-528-2T-1.5 IE3	2830	4,03	2,34	1,10	1750	83	27	2015
CMA-528-2M-1.5	2820	6,51		1,10	1750	83	26	2015
CMA-531-2T-1.5 IE3	2830	4,03	2,34	1,10	1790	84	30	2015
CMA-531-2M-1.5	2820	6,51		1,10	1790	84	29	2015
CMA-531-2T-2 IE3	2875	5,34	3,07	1,50	2000	85	35	2015
CMA-531-2M-2	2810	8,50		1,50	2000	85	31	2015
CMA-531-2T-3 IE3	2910	7,32	4,21	2,20	2400	86	35	2015
CMA-540-2T IE3	2875	5,34	3,07	1,50	2600	85	42	2015
CMA-545-2T-3 IE3	2910	7,32	4,21	2,20	2630	86	59	2015
CMA-545-2T-4 IE3	2910	10,00	5,77	3,00	3550	88	68	2015

ANEXO 12: FICHA TÉCNICA DE LA FIBRA DE CERÁMICA

TECHNICAL FEATURES

LOW THERMAL CONDUCTIVITY

HIGH CHEMICAL STABILITY

GOOD HEAT STABILITY AND SHOCKPROOF

HGH TENSION STRENGTH

GOOD SOUND INSULATION

APLICATIONS:

INDUSTRIAL KILN AND HEATING FURNACE AND HIGH TEMPERATURE PIPE LINER

CHEMICAL INDUSTRY, HIGH TEMPERATURE REACTION AND HEATING EQUIPMENT LINER



GLASS KILN INSULATION THERMAL, KILN DOOR AND ROOF INSULATION THERMAL

ALLUMINUM SILICATE SWINGING FIBER CARPET					
Type	General type	Standard type	High pure type	High aluminum type	Zirconium type
Model	HY-401	HY-402	HY-403	HY-404	HY-405
Classified temp. °C	1260	1260	1260	1400	1400
Working temp. °C	< 1000	1000	1100	1260	1360
COLOUR	WHITE	PURE WHITE	PURE WHITE	PURE WHITE	PURE WHITE
Bulk Density Kg/m3	96, 128, 160	96, 128, 160	96, 128, 160	128, 160	128, 160
Permanent line contractility% (24hours, 128kg/m3)	-4 1000°C	-3 1000°C	-3 1100°C	-3 1260°C	-3 1360°C
Conduct heat data under each temp. (128kg/m3)	0.09 (400°C) 0.176 (800°C)	0.09 (400°C) 0.176 (800°C) 0.22 (1000°C)	0.09 (400°C) 0.176 (800°C) 0.22 (1000°C)	0.132 (600°C) 0.22 (1000°C)	0.176 (800°C) 0.22 (1000°C)
Tensile strength Mpa (128kg/m3)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Al ₂ O ₃	44	46	47-49	52-55	32-33
Al ₂ O ₃ +SiO ₂	96	97	99	99	.
ZrO ₂	-	-	-	-	17-18
Fe ₂ O ₃	< 1.2	< 1.0	0.2	0.2	0.2
Na ₂ O+K ₂ O	≤0.5	≤0.5	0.2	0.2	0.2

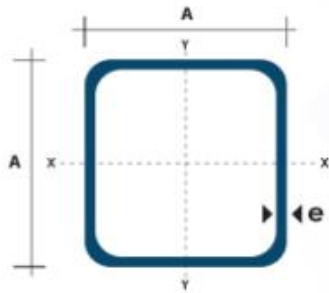
ANEXO 13: FICHA TÉCNICA DE TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o Galvanizado
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 20mm a 100mm
Espesores:	Desde 1.20mm a 5.00mm

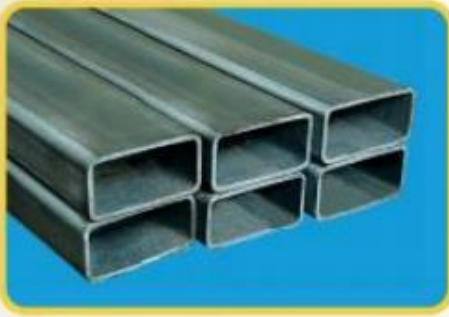




Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	4,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,96	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94

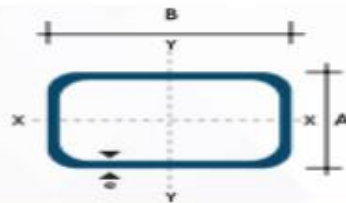
ANEXO 14: FICHA TÉCNICA DE TUBO ESTRUCTURAL RECTANGULAR

TUBO ESTRUCTURAL RECTANGULAR



Especificaciones Generales:

Norma	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o galvanizado
Largo normal:	6.00 m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 20mm x 40mm a 50mm x 150mm
Espesores:	Desde 1,20mm a 3,00mm



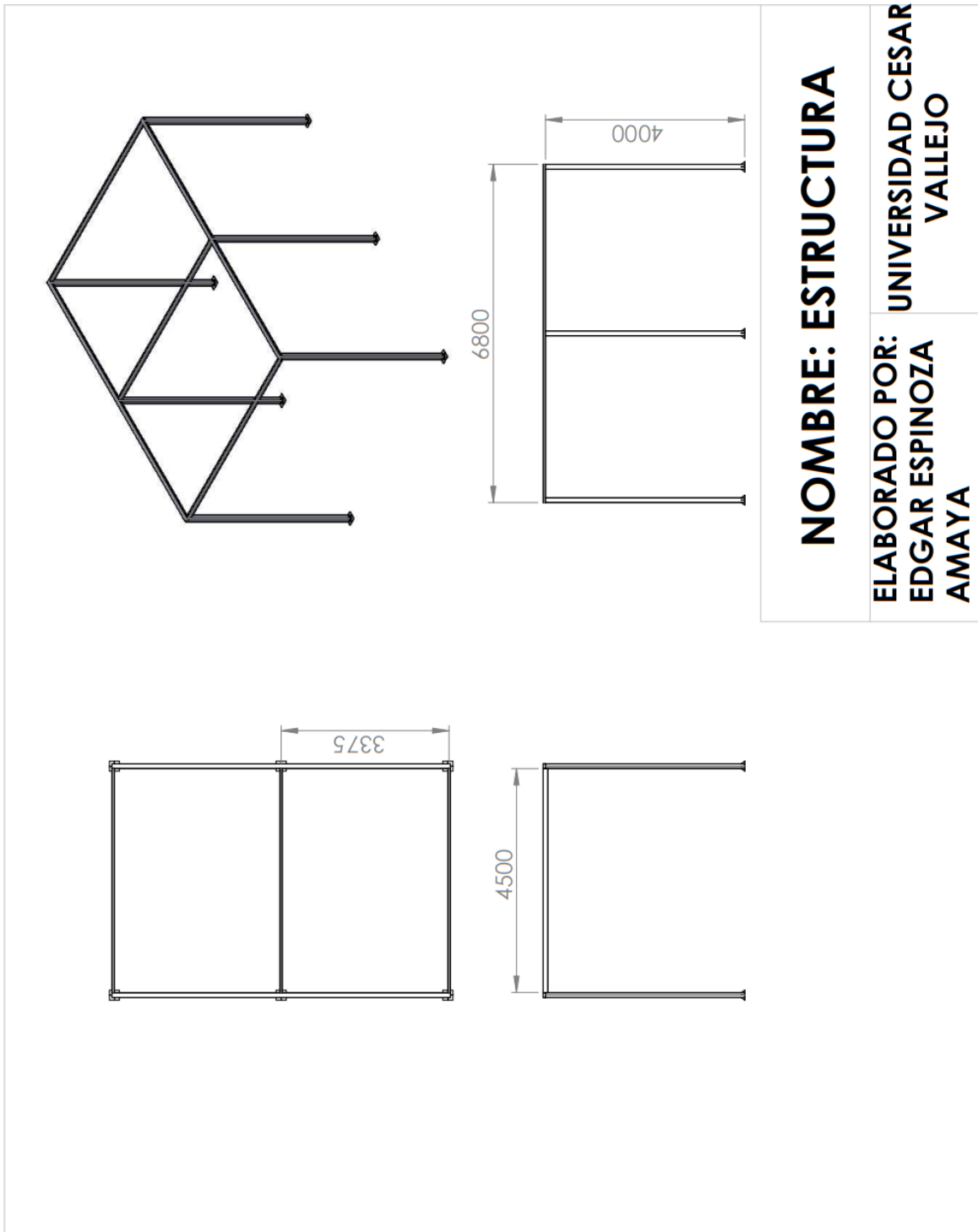
Dimensiones				Área	Ejes Y-Y			Ejes X-X		
A mm	B mm	Espesor (e) mm	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	40	1,2	1,09	1,32	2,61	1,30	1,12	0,88	0,88	0,63
20	40	1,5	1,35	1,65	3,26	1,63	1,40	1,09	1,09	0,81
20	40	2,0	1,78	2,14	4,04	2,02	1,37	1,33	1,33	0,79
25	50	1,5	1,71	2,10	6,39	2,56	1,74	2,19	1,75	1,02
25	50	2,0	2,25	2,74	8,37	3,35	1,75	2,80	2,24	1,01
25	50	3,0	3,30	4,14	12,56	5,02	1,74	3,99	3,19	0,99
30	50	1,5	1,88	2,25	7,27	2,91	1,80	3,32	2,21	1,21
30	50	2,0	2,41	2,94	9,52	3,81	1,80	4,28	2,85	1,21
30	50	3,0	3,30	4,21	12,78	5,11	1,74	5,66	3,77	1,16
30	70	2,0	3,03	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,48	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	60	1,5	2,29	2,91	14,90	4,97	2,26	7,94	3,97	1,65
40	60	2,0	3,03	3,74	18,08	6,13	2,22	9,81	4,90	1,62
40	60	3,0	4,48	5,41	25,31	8,44	2,16	13,37	6,89	1,57
30	70	1,5	2,34	2,91	18,08	5,17	2,49	4,76	3,17	1,28
30	70	2,0	2,93	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,25	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	80	1,5	2,76	3,74	31,75	7,94	2,91	10,77	5,39	1,70
40	80	2,0	3,66	4,54	37,32	9,33	2,87	12,70	6,36	1,67
40	80	3,0	5,42	6,61	52,16	13,04	2,81	17,49	8,75	1,63
50	100	2,0	4,52	5,74	74,94	14,99	3,81	25,65	10,26	2,11
50	100	3,0	6,71	8,41	106,34	21,27	3,56	35,07	14,30	2,07
50	150	2,0	6,17	7,74	207,45	27,66	5,18	37,17	14,87	2,19
50	150	3,0	8,17	11,41	298,35	39,78	5,11	52,54	21,02	2,15

ANEXO 15: TASA DE INTERÉS PROMEDIO DEL SISTEMA BANCARIO (SUPERINTENDENCIA DE BANCA, SEGUROS Y AFP)

TASA DE INTERÉS PROMEDIO DEL SISTEMA BANCARIO		Tasas Activas Anuales de las Operaciones en Moneda Nacional Realizadas en los Últimos 30 Días Útiles Por Tipo de Crédito al 07/12/2022															Promedio		
		BBVA	Comercio	Credito	Pichincha	BIF	Scotiabank	Citibank	Interbank	Mibanco	GNB	Falabella	Santander	Ripley	Alfin	ICBC		Bank of China	Bank of China
Corporativos	Descuentos	s.i.	11.20	8.61	10.02	8.93	8.40	8.20	8.70	-	7.91	-	12.77	-	9.82	s.i.	-	-	8.76
	Préstamos hasta 30 días	s.i.	11.20	9.16	11.56	5.84	9.81	-	9.35	-	-	-	12.42	-	-	-	-	-	10.09
	Préstamos de 31 a 90 días	s.i.	-	8.23	9.05	9.19	8.01	8.20	8.31	-	7.82	-	13.25	-	-	-	s.i.	-	8.47
	Préstamos de 91 a 180 días	s.i.	-	8.84	9.77	9.00	8.81	-	9.46	-	8.86	-	13.32	-	9.78	-	-	-	8.94
	Préstamos de 181 a 360 días	s.i.	-	9.42	-	9.20	9.08	-	8.78	-	8.50	-	12.06	-	9.93	-	s.i.	-	9.37
	Préstamos a más de 360 días	s.i.	-	8.43	-	8.56	8.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.44
	Grandes Empresas	s.i.	11.01	10.24	10.73	10.03	9.32	10.11	10.80	9.66	-	10.46	-	11.95	-	10.73	-	-	8.44
	Préstamos hasta 30 días	s.i.	10.75	10.60	11.26	9.58	9.74	-	10.87	-	11.31	-	12.40	-	-	-	s.i.	-	10.94
	Préstamos de 31 a 90 días	s.i.	-	10.46	11.73	9.54	11.52	8.33	11.21	-	-	-	12.81	-	-	-	-	-	10.34
	Préstamos de 91 a 180 días	s.i.	11.00	9.81	10.34	10.21	9.55	9.77	10.54	-	13.30	-	12.11	-	-	-	s.i.	-	10.09
Préstamos de 181 a 360 días	s.i.	11.16	10.46	9.86	10.56	9.56	-	10.79	-	9.75	-	12.79	-	10.73	-	-	-	10.44	
Préstamos a más de 360 días	s.i.	-	9.86	12.45	10.18	8.84	-	10.08	-	-	-	10.63	-	-	-	s.i.	-	9.83	
Medianas Empresas	s.i.	-	10.56	-	9.76	7.22	11.15	11.18	-	-	-	16.87	-	-	-	-	-	10.12	
Descuentos	s.i.	11.55	14.78	11.66	12.28	13.34	10.67	13.62	17.00	16.30	-	10.66	-	-	-	s.i.	-	14.06	
Préstamos hasta 30 días	s.i.	11.62	13.49	12.58	11.54	12.10	-	11.82	-	11.82	-	11.72	-	-	-	-	-	12.98	
Préstamos de 31 a 90 días	s.i.	9.00	14.22	10.84	9.05	12.28	-	10.42	-	-	-	-	-	-	-	s.i.	-	13.45	
Préstamos de 91 a 180 días	s.i.	11.68	12.43	10.65	12.06	12.80	-	13.06	33.34	18.53	-	12.31	-	-	-	-	-	12.70	
Préstamos de 181 a 360 días	s.i.	12.08	13.14	11.91	13.58	12.47	-	12.47	21.16	11.86	-	14.14	-	-	-	s.i.	-	13.40	
Préstamos a más de 360 días	s.i.	-	17.83	14.27	11.58	14.27	10.67	10.13	18.78	-	-	9.25	-	-	-	-	-	13.23	
Pequeñas Empresas	s.i.	5.00	23.22	21.08	13.44	17.39	-	22.35	23.56	-	-	10.65	-	-	-	-	-	15.52	
Descuentos	s.i.	-	18.50	-	12.15	15.50	-	13.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.16	
Préstamos hasta 30 días	s.i.	-	17.54	34.20	-	16.56	-	14.00	35.11	-	-	-	-	-	-	s.i.	-	18.11	
Préstamos de 31 a 90 días	s.i.	-	15.27	22.58	16.36	13.78	-	14.00	38.06	-	-	-	-	-	-	s.i.	-	20.39	
Préstamos de 91 a 180 días	s.i.	5.00	14.32	19.05	15.86	15.82	-	21.15	31.35	-	-	-	-	-	-	-	-	25.45	
Préstamos de 181 a 360 días	s.i.	-	18.31	21.32	-	18.59	-	28.59	27.94	-	-	-	-	-	-	s.i.	-	26.94	
Préstamos a más de 360 días	s.i.	-	23.59	21.09	11.67	17.52	-	22.27	21.58	-	-	-	-	-	-	-	-	21.38	
Microempresas	s.i.	-	28.76	22.68	16.70	16.10	-	20.92	38.81	-	-	25.50	-	-	-	-	-	35.25	
Tarjetas de Crédito	s.i.	-	29.15	46.57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32.61	
Descuentos	s.i.	-	21.13	9.96	-	13.50	-	11.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.05	
Préstamos Revolventes	s.i.	-	-	-	16.70	-	-	9.32	43.37	-	-	-	-	-	-	-	-	42.59	
Préstamos a cuota fija hasta 30 días	s.i.	-	9.87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.99	
Préstamos a cuota fija de 31 a 90 días	s.i.	-	12.73	28.14	-	27.15	-	-	57.53	-	-	-	-	-	-	-	-	23.01	
Préstamos a cuota fija de 91 a 180 días	s.i.	-	16.79	28.68	-	-	-	30.00	59.89	-	-	-	-	-	-	-	-	57.14	
Préstamos a cuota fija de 181 a 360 días	s.i.	-	13.00	29.20	-	20.00	-	30.00	47.97	-	-	25.50	-	-	-	-	-	44.79	
Préstamos a cuota fija a más de 360 días	s.i.	-	31.18	27.25	-	16.02	-	23.05	29.19	-	-	-	-	-	-	-	-	28.96	
Consumo	s.i.	14.37	43.36	39.67	27.52	37.14	-	54.75	49.00	27.44	68.84	-	64.95	68.11	-	-	-	48.69	
Tarjetas de Crédito	s.i.	26.63	53.37	43.46	50.44	41.58	-	63.26	-	33.08	74.92	-	75.56	-	-	-	-	58.39	
Préstamos Revolventes	s.i.	-	-	-	2.00	-	-	-	54.44	-	-	-	-	-	-	-	-	17.24	
Préstamos no Revolventes para automóviles	s.i.	-	11.31	-	13.92	10.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.95	
Préstamos no Revolventes para libre disponibilidad hasta 360 días	s.i.	29.14	70.26	35.96	8.93	34.54	-	29.73	68.27	-	34.81	-	24.02	23.83	-	-	-	52.07	
Préstamos no Revolventes para libre disponibilidad a más de 360 días	s.i.	14.27	20.22	33.38	15.26	22.26	-	22.03	37.53	11.47	32.22	-	26.89	68.16	-	-	-	23.61	
Créditos pignoratícios	-	41.87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41.87	
Hipotecarios	s.i.	9.55	9.72	9.58	10.57	10.07	-	9.75	15.47	8.51	-	-	-	-	-	-	-	9.92	
Préstamos hipotecarios para vivienda	s.i.	9.55	9.72	9.58	10.57	10.07	-	9.75	15.47	8.51	-	-	-	-	-	-	-	9.92	

Nota: Cuadro elaborado sobre la base de la información remitida diariamente por las Empresas Bancarias a través del Reporte N°6. Las tasas de interés tienen carácter referencial. Las definiciones de los tipos de crédito se encuentran en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación del Deudor y la Exigencia de Provisiones, aprobado mediante Resolución SBS N° 11356-2008 (Ver definiciones).

ANEXO 16: ESTRUCTURA PARA IMPLEMENTACIÓN DE TECHO EN FORMA DE CÚPULA.





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, LUIS ALBERTO JULCA VERASTEGUI, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Análisis y rediseño para mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal para la quema de ladrillos en el distrito de San Pedro de Lloc, Provincia de Pacasmayo – La Libertad.", cuyo autor es ESPINOZA AMAYA EDGAR MIGUEL, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 21.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 25 de Noviembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
LUIS ALBERTO JULCA VERASTEGUI DNI: 19336932 ORCID: 0000-0001-5158-2686	Firmado electrónicamente por: JULCAL el 19-12- 2022 16:11:09

Código documento Trilce: TRI - 0454456